

José Cegarra Sánchez

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

José Cegarra Sánchez

Dr. Ing. F.S.D.C. y F.T.I.

Profesor Emérito de la Universitat Politècnica de Catalunya
Académico de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona



© José Cegarra Sánchez, 2004

Reservados todos los derechos.

«No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico por fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.»

Ediciones Díaz de Santos
Doña Juana I de Castilla, 22
28027 Madrid

Internet: <http://www.diazdesantos.es>
E-Mail: ediciones@diazdesantos.es

ISBN: 84-7978-624-8
Depósito legal: M. 12.963-2004

Diseño de cubierta: Ángel Calvete
Fotocomposición: FER, S. A.
Impresión: Edigrafos, S. A.
Encuadernación: Rústica-hilo, S. L.

*A la memoria de mis padres.
Con todo el cariño hacia mi esposa.*

Contenido

	<i>Págs.</i>
Prólogo	XV
CAPÍTULO 1. LA CIENCIA	
1.1 Definición y tipos	1
1.2 Ciencias fácticas: características	5
1.2.1 El conocimiento científico es fáctico	6
1.2.2 El conocimiento científico trasciende los hechos	7
1.2.3 El conocimiento científico es legal	7
1.2.4 El conocimiento científico es claro y preciso	8
1.2.5 El conocimiento científico es sistemático	9
1.2.6 El conocimiento científico es metódico	10
1.2.7 El conocimiento científico es verificable	11
1.2.8 El conocimiento científico requiere análisis y especializa- ción	11
1.2.9 El conocimiento científico es comunicable	11
1.2.10 El conocimiento científico es explicativo	12
1.2.11 El conocimiento científico es predictivo	12
1.2.12 El conocimiento científico tiende a ser generalista	13
1.2.13 El conocimiento científico es útil	13
1.3 Ciencia básica y aplicada	13
1.4 Determinismo o indeterminismo científico	14
1.5 La ética de la ciencia	16
CAPÍTULO 2. LA TECNOLOGÍA	
2.1 Definición y tipos	19
2.1.1 Tecnologías artesanales	20

2.1.2 Tecnologías tradicionales	20
2.1.3 Tecnologías de base científica	21
2.1.4 Tecnologías evolutivas	21
2.1.5 Tecnologías no evolutivas	24
2.2 Causas del origen o evolución de las tecnologías	26
2.2.1 Factores intelectuales-psíquicos	27
2.2.2 Factores externos	28
2.3 La ética de la tecnología	37

CAPÍTULO 3. LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

3.1 Definición y tipos	41
3.2 La investigación científica	46
3.2.1 Obtención de conocimientos particulares	46
3.2.2 Formulación de leyes experimentales	48
3.2.3 Construcción de modelos experimentales	48
3.2.4 Propuestas de teorías-marco	49
3.2.5 Construcción de sistemas teóricos	49
3.3 La investigación tecnológica	50
3.4 La innovación tecnológica	52
3.4.1 Satisfacer una necesidad manifestada o latente en el mercado	53
3.4.2 Estar resuelta tecnológicamente	54
3.4.3 Ser inofensiva para el medio ambiente	54
3.4.4 Ser rentable desde el punto de vista financiero	54
3.4.5 Otros aspectos de la innovación tecnológica	54

CAPÍTULO 4. EL INVESTIGADOR Y SUS CARACTERÍSTICAS

4.1 El investigador y sus tipos	57
4.2 Pensamiento creador	58
4.2.1 Aptitudes creativas	59
4.2.2 Rasgos del pensador creativo	60
4.3 Pensamiento no creativo o lógico	65
4.3.1 Observación	66
4.3.2 Reflexión	66
4.3.3 Memorización	66
4.3.4 Razonamiento	67
4.3.5 Juicio crítico	67
4.4 Objetividad	68
4.5 Otras cualidades	68
4.5.1 Capacidad ordenadora jerarquizada	68
4.5.2 Conocimiento de idiomas	69
4.5.3 Conocimiento de las técnicas de documentación	70
4.5.4 Comunicación	70

4.6 Aspectos éticos del investigador	70
4.6.1 Honestidad	71
4.6.2 Admisión del error	72
4.6.3 Lealtad	72
4.6.4 Humildad	72
4.7 El grupo investigador	73
4.7.1 El perfil de conocimiento del grupo	73
4.7.2 Aptitudes del jefe del grupo	74
4.7.3 Formación y problemas del grupo de investigación	75

CAPÍTULO 5. LOS MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1 Introducción	81
5.1.1 El método hipotético-deductivo	82
5.1.2 El método inductivo	83
5.2 Los métodos de investigación	84
5.2.1 La investigación teórica	84
5.2.2 La investigación experimental	85
5.2.3 La investigación combinatoria	88
5.2.4 La investigación por observación de la naturaleza	89
5.2.5 La investigación sociológica	91

CAPÍTULO 6. UN MÉTODO GENERAL DE INVESTIGACIÓN

6.1 Introducción	95
6.2 Planteamiento del objetivo	96
6.2.1 Consideraciones generales acerca de la motivación	96
6.2.2 Planteamiento del objetivo	98
6.3 Reunión de los datos conocidos	100
6.3.1 Fase previa	100
6.3.2 Recopilación y revisión bibliográfica	101
6.4 Organización de los datos	102
6.4.1 Lecturas del resumen y conclusiones	102
6.4.2 Lista de los aspectos más importantes	103
6.4.3 Técnica de recopilación de la información	105
6.5 Propuesta de solución	107
6.5.1 Consideraciones generales	107
6.5.2 Planificación de la secuencia experimental	108
6.5.3 Planificación de los medios a utilizar	110
6.6 Prueba de la solución propuesta	113
6.6.1 La organización del trabajo	113
6.6.2 El plan de trabajo	114
6.6.3 El investigador	116
6.6.4 El Diario de experiencias	118

6.6.5 Análisis y discusión de los resultados	122
6.7 Presentación de los resultados	123

CAPÍTULO 7. LA INVESTIGACIÓN EN LA INDUSTRIA

7.1 Introducción	125
7.2 Generación de la idea	128
7.2.1 Reconocimiento y formulación de la idea	128
7.3 Evaluación de la idea	134
7.3.1 El Método	136
7.4 Ejecución del proyecto	145
7.5 Finalización del desarrollo	147
7.6 Etapa de transición	149

CAPÍTULO 8. LA CREATIVIDAD EN LA INVESTIGACIÓN

8.1 Introducción	153
8.2 Tipos de pensamiento creativo	154
8.2.1 Imaginación o pensamiento creativo deliberado	154
8.2.2 Iluminación	156
8.2.3 Inspiración	158
8.3 Consideraciones generales sobre los métodos creativos	160
8.3.1 El proceso del descubrimiento se puede reproducir voluntariamente	161
8.3.2 El proceso del descubrimiento es el mismo en todas las disciplinas	161
8.3.3 El descubrimiento se efectúa en el subconsciente	161
8.3.4 Para hacer trabajar el subconsciente es necesario liberar el espíritu de sus inhibiciones	161
8.3.5 El descubrimiento se hace en un clima de esparcimiento, placer y pasión	162
8.3.6 Las ideas para el descubrimiento no son emitidas, necesariamente, por expertos	162
8.3.7 El descubrimiento nace de la bisociación	163
8.3.8 El grupo pluridisciplinario es la unidad operativa de investigación	163
8.4 Métodos para mejorar la creatividad del investigador o del grupo	164
8.4.1 Aquéllas que tienen por objeto mejorar el conocimiento del mundo exterior	165
8.4.2 Aquéllas que tienen por objeto mejorar nuestra capacidad para juzgar y transformar el mundo exterior	165
8.4.3 La trituration	167
8.4.4 La analogía	168
8.5 Técnicas individuales de creatividad	170

8.5.1	Análisis morfológico	170
8.5.2	Listas de atributos	171
8.5.3	Diagramas de planificación de la investigación	173
8.5.4	Métodos para definir y redefinir los problemas	174
8.6	La creatividad en grupo	174
8.6.1	Criterios para seleccionar los miembros del grupo	174
8.6.2	La formación del grupo	177
8.6.3	Definición del objetivo	178
8.6.4	Elección de una técnica de creatividad	179
8.6.5	Consideraciones generales sobre la sesión de trabajo	180
8.7	Brainstorming	182
8.8	Sinéctica	183
8.8.1	Fase 1.- Comportamiento personal en reuniones convencionales	184
8.8.2	Fase 2.- Un líder experto actúa como moderador de un grupo de trabajo	185
8.8.3	Fase 3.- Reuniones formales de sinéctica: métodos analógicos y metafóricos	186

CAPÍTULO 9. LA DIFUSIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

9.1	Introducción	189
9.2	Tipos de publicaciones	191
9.3	Estructura de una publicación científica o técnica	192
9.3.1	Título y palabras clave	192
9.3.2	Autores	193
9.3.3	Resumen	195
9.3.4	Introducción	196
9.3.5	Experimental	197
9.3.6	Resultados	199
9.3.7	Discusión	203
9.3.8	Conclusiones	205
9.3.9	Agradecimientos	206
9.3.10	Citas bibliográficas	206
9.4	Informes	209
9.4.1	Informes de situación	209
9.4.2	Informes finales	212
9.5	Otras publicaciones de difusión del conocimiento científico y técnico	213
9.5.1	De resúmenes	213
9.5.2	Publicaciones de revisión	215
9.5.3	Otros tipos de publicaciones	216
9.6	Patentes	216
9.6.1	Tipos y modalidades de concesión	216
9.6.2	Partes de una patente	218
9.7	Presentación oral	219

9.7.1 Organización de la exposición	219
9.7.2 Otros aspectos a tener en cuenta	221

CAPÍTULO 10. LA COMUNICACIÓN EN LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

10.1 Introducción	225
10.2 El sistema de comunicación	226
10.3 La comunicación con el exterior de la empresa	228
10.3.1 Proyectos de investigación aplicada	229
10.3.2 Proyectos de desarrollo	229
10.3.3 Proyectos de servicio técnico	230
10.4 La comunicación en el interior de la empresa	232
10.4.1 Una sola empresa	232
10.4.2 Varias empresas de la misma área tecnológica	235
10.5 Problemas en la comunicación de la innovación tecnológica	238

CAPÍTULO 11. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA INVESTIGACIÓN

11.1 Introducción	241
11.2 Evaluación de la eficiencia en I+D	243
11.2.1 Evaluación de la eficiencia de I+D en la Universidad	243
11.2.2 Evaluación de la eficiencia de I+D en la Empresa	245
11.3 Evaluación de la eficiencia en la innovación tecnológica	247
11.3.1 Evaluación de la eficiencia	247

CAPÍTULO 12. CONTROL DE LOS PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

12.1 Introducción	253
12.2 Aspectos que se revisan en el control de proyectos de I+D	254
12.2.1 La revisión científica o técnica	254
12.2.2 La revisión del potencial humano y del equipo material	254
12.2.3 La revisión del tiempo de terminación y del coste	254
12.3 Sistemas de control de proyectos de I+D	254
12.3.1 Proyectos donde se conocen las etapas a seguir	255
12.3.2 Proyectos con poca definición de las etapas a seguir	258
12.4 Cancelación de proyectos	258
12.4.1 Proyectos desacertados	259
12.4.2 Proyectos acertados	259

CAPÍTULO 13. ESTRUCTURAS DE INVESTIGACIÓN Y DE INNOVACIÓN

13.1 Introducción	261
13.2 Estructura investigadora en la Universidad	262

13.3 Estructura Investigadora del sector público	264
13.3.1 Centros de investigación públicos	264
13.3.2 Estructura orgánica del personal	265
13.3.3 Estructuras fijas	267
13.3.4 Estructuras móviles	268
13.4 Estructuras investigadoras en las empresas	268
13.4.1 Funcionales	269
13.4.2 Por proyectos	270
13.4.3 Estructura matricial	272

CAPÍTULO 14. ACTUALIDAD Y PERSPECTIVA CIENTÍFICA

14.1 Introducción	275
14.1.1 Conocimientos actuales y perspectivas científicas	276
14.2 El mundo de microcosmos: un siglo de física de partículas . .	276
14.2.1 Hace cien años	277
14.2.2 La exploración experimental de pequeñas distancias. Aceleradores y rayos cósmicos	278
14.2.3 Detectores	279
14.2.4 Partículas e interacciones I: Interacciones	279
14.2.5 Partículas e interacciones II: Electrones, neutrinos y quarks. Familias de partículas	280
14.2.6 Perspectivas para el siglo XXI	281
14.3 El Mundo de la química	283
14.3.1 Los fundamentos de la química	283
14.3.2 Química orgánica	284
14.3.3 Química inorgánica	285
14.3.4 Química física	286
14.3.5 Química y medicina	287
14.3.6 Química de los materiales	288
14.4 Funciones básicas y envejecimiento	289
14.4.1 Envejecimiento y telómeros	289
14.4.2 Genes, evolución y envejecimiento	290
14.4.3 Teorías del envejecimiento	291
14.4.4 Perspectivas	293
14.5 El cerebro un universo a explorar	295
14.5.1 Los elementos del cerebro: células nerviosas y circuitos neuronales	295
14.5.2 Neurotransmisores e intercambio de señales entre neu- ronas	297
14.5.3 El cerebro: desarrollo, funciones cognitivas, emociones, aprendizaje, memoria y alteraciones	298
14.5.4 Enfermedades neurológicas y mentales	302
14.6 Biotecnología	304
14.6.1 Historia	304

14.6.2 Aplicaciones de la biotecnología	306
14.6.3 El Proyecto Genoma Humano	309
14.6.4 Biotecnología militar	310

CAPÍTULO 15. ACTUALIDAD Y PREVISIÓN TECNOLÓGICA

15.1 La sociedad de la información	313
15.1.1 Tecnologías utilizadas	313
15.1.2 Los servicios de la sociedad de la información	317
15.1.3 La economía de la sociedad de la información	318
15.2 Los transportes	318
15.2.1 Consideraciones económico-sociales	319
15.2.2 Las políticas de la UE incentivan el transporte motorizado	320
15.2.3 La contestación social y el cambio de rumbo hacia la sostenibilidad	322
15.3 Los materiales	323
15.3.1 Materiales naturales	323
15.3.2 Materiales artificiales	324
15.4 La arquitectura y su construcción	332
15.4.1 La arquitectura en la “edad del espectáculo”	332
15.4.2 Las construcciones de la arquitectura	336
15.4.3 La construcción convencional	337
15.4.4 La tradición revisada	338
15.4.5 La alta construcción	338
15.4.6 Las anticonstrucciones	339
15.4.7 Perspectivas	340
15.5 Vigilancia o inteligencia tecnológica	341
15.5.1 La estructura de la vigilancia en la empresa	342
15.5.2 Organización de la vigilancia	343
15.5.3 Fuentes de información	343
15.5.4 Los mapas tecnológicos	344
15.6 Prospectiva tecnológica	346
15.6.1 Tipos de previsión tecnológica	346
15.6.2 Métodos utilizados en la previsión tecnológica	347

ÍNDICE ANALÍTICO	353
-----------------------------------	------------

Prólogo

Bajo la presentación de un manual generalista, sobre las metodologías que se utilizan en la investigación fundamental y en la investigación aplicada, el profesor Cegarra nos regala con un libro que, aparte de desarrollar con rigor los aspectos esenciales de la I+D+I analiza con énfasis especial los factores clave del éxito en los procesos de desarrollo tecnológico que tienen como resultado una aplicación comercial o industrial.

A la luz de la historia, parece claro que una mayoría de los desarrollos industriales de productos o aplicaciones que han conducido a conseguir ventajas competitivas de larga duración, han tenido, como punto de partida, procesos de investigación científica o tecnológica de carácter fundamental. No obstante, estos procesos suelen ser considerados por muchas empresas como actividades más bien académicas que no deben ser tenidas en cuenta a la hora de establecer los objetivos prioritarios de sus inversiones estratégicas. Estas circunstancias se explican por el análisis del riesgo asociado a la dificultad de obtener un éxito técnico en los procesos de desarrollo de carácter básico y, sobre todo, al largo periodo de maduración de las inversiones aplicadas a este tipo de proyectos. Desde luego, las empresas con mayor capacidad para sobrevivir en el futuro serán aquellas capaces de invertir a partir de la definición de estrategias que incluyan la asunción de los riesgos mencionados.

En todo caso, un éxito en investigación fundamental, no garantiza el éxito tecnológico y, mucho menos, el éxito comercial. Aparte de factores exógenos diversos, que pueden condicionar o impedir la consecución del éxito en tecnología, el aspecto más decisivo es la disponibilidad de personas capacitadas (e integradas en procesos de desarrollo consistentes y con objetivos bien definidos) dando por hecho que existan recursos materiales y financieros suficientes.

En este orden de ideas, incide el profesor Cegarra cuando destaca la importancia del trabajo en equipo, de los tipos de organización que permiten obtener la máxima eficiencia de esos equipos y, sobre todo, del valor estratégico que puede representar para las empresas invertir en las personas. En efecto, el periodo de formación de una persona con conocimientos tecnológicos y cientí-

ficos profundos es muy largo, pero merece la pena esa inversión cuando se pretenden alcanzar metas empresariales ambiciosas.

El conocimiento detallado de los problemas asociados al arte de convertir el conocimiento científico en desarrollos comerciales, lleva al autor a plantear, con notable acierto, una disección de los aspectos más importantes a tener en cuenta para soslayar las dificultades que usualmente se presentan: metodología, organización, planificación y control y, muy importante, la comunicación. Aunque la comunicación externa es esencial y hoy los logros en tecnología se utilizan como herramienta de «marketing» en muchas empresas, la comunicación interna, dentro de las estructuras organizativas de I+D+I y también con el resto de la organización empresarial, resulta determinante a la hora de alcanzar eficientemente los objetivos deseados. Las nuevas tecnologías en Internet ofrecen, en este sentido, un campo de actuación con muchas oportunidades que están todavía por ser exploradas a fondo.

La integración de las estructuras de I+D+I dentro de las organizaciones empresariales no es sencilla. Los tecnólogos no siempre son bien comprendidos y las urgencias financieras, o las del marketing, determinan una selección de prioridades que puede adolecer de estar centrada en visiones de corto plazo. Nos dice el profesor Cegarra que, en ese entorno, el conocimiento, el magisterio, el compromiso con la calidad y un perfil humanista caracterizado por rasgos como la ética, la honestidad y la humildad, son las bases desde las que las personas dedicadas a la investigación, el desarrollo y la innovación, podrían realizar sus cometidos con mayor facilidad e influir, con su autoridad intelectual, en las decisiones empresariales.

Aparte del interés que tiene este manual por su contenido eminentemente práctico —y que se fundamenta en la amplia experiencia docente, investigadora y empresarial del autor— es menester destacar la calidad y el despliegue de la extensa bibliografía que contiene y también el valor, divulgativo y didáctico, de sus dos últimos capítulos, que analizan el estado de las cuestiones científicas y su probable evolución.

A partir de mi propia experiencia como lector de este libro, que considero interesante y ameno, recomiendo su lectura tanto a los profesionales del mundo universitario como del empresarial, porque podrán disfrutar de su escogido contenido y, al mismo tiempo, incrementarán su capital de conocimientos sobre los aspectos más relevantes de la investigación y la tecnología. Felicito al profesor Cegarra por haberlo escrito y le agradezco el honor que me ha otorgado al elegirme como autor de este prólogo.

JACOBO HERNÁNDEZ ESPINOSA
Director de la Unidad de Negocio Lubricantes
y Especialidades de Repsol YPF

La Ciencia

1.1. Definición y tipos

Denominamos ciencia al conjunto del conocimiento cierto de las cosas por sus principios y causas; por consiguiente, sólo es científico, *en principio*, el conocimiento *verdadero*. Sin embargo, en algunas ciencias, este puede ser modificado *a posteriori* a medida que se profundiza y expansiona el conocimiento, de tal modo que la «verdad» es parcial, incierta y corregible. En cualquier caso, el objetivo de la ciencia es la búsqueda de la verdad. También puede considerarse la ciencia como un cuerpo de doctrina metódicamente formado y ordenado, que constituye una rama particular del saber humano.

En la historia de la ciencia puede apreciarse cómo el concepto de esta ha evolucionado a través del tiempo. Se pueden distinguir tres concepciones sucesivas ⁽¹⁾.

La ciencia clásica, griega y medieval era un complemento de la filosofía de la naturaleza. Sus conceptos científicos y su certeza provienen de la filosofía natural, que es básicamente el sistema aristotélico. En este sistema, las ideas no son *a priori* y para hacer ciencia era necesario introducirse dentro del fenómeno, con observaciones repetidas y una experiencia intensa. El filósofo dice cómo es el mundo y el matemático hace modelos astronómicos muy complicados para explicar el aspecto del cielo a la noche.

La segunda concepción es la de *la ciencia experimental moderna* de la revolución científica del siglo XVII, que tiene sus inicios con Galileo y Newton. Al primero cabe atribuirle el mérito de emplear el razonamiento y la experimentación para abordar un reto científico. Al segundo es atribuible el origen de una física que es aplicable a todo el universo. Ambos dan origen a la denominada *Revolución Científica*. El gran descubrimiento del siglo XVII es que el fundamento de la ciencia no proviene de esquemas filosóficos, sino del método experimental, con artes mecánicas y aparatos, tal como lo indicaba Francis Bacon. Mediante la ciencia, la naturaleza descubre secretos que normalmente

no muestra. Los aparatos permiten medir y las matemáticas relacionan estas medidas con las denominadas leyes de la naturaleza. Creían ingenuamente que los conceptos científicos que necesitaban, como por ejemplo, las magnitudes que medían, se encontraban en la naturaleza y que sólo era necesario descubrirlas. Creían que los principios eran definitivos porque se obtenían por métodos inductivos, también indiscutibles. Ello lleva a la idea de una ciencia irrefutable e invariable, que puede dar lugar a nuevos hechos de los que se podrán efectuar nuevas deducciones, lo cual permite un crecimiento acumulativo de la ciencia, pero las bases son invariables. Pronto se vio lo equivoco de este planteamiento, al aceptar que la experimentación exigía un marco conceptual previo.

En el siglo XVIII la ciencia viene dominada por la idea del orden, preparando el clima que llevará a la revolución industrial, primero en Inglaterra y después a toda Europa. Mediante la revolución industrial el progreso de la ciencia influye en el bienestar de la población. Si anteriormente los científicos pertenecían al estamento religioso o a las clases con cierto bienestar, posteriormente aparece la figura del científico asalariado y la palabra *confort* tiene su origen en esta época, considerándose la ciencia como benefactora de la humanidad ⁽¹⁾.

El sentimiento de aceptación de la ciencia aumenta en el siglo XIX a través de racionalismo, derivado de la Ilustración. Los científicos se profesionalizan y cada vez es más frecuente el trabajo en equipo. Se inicia la idea de predecir el futuro del conocimiento científico, siendo Laplace uno de sus impulsores con su teoría sobre el *determinismo científico*.

La tercera concepción inspirada por las revoluciones científicas sucesivas anteriores, ha sido posible captarla desde la perspectiva actual del siglo XX. M. G. Doncel la denomina *ciencias empíricoformales progresivas* ⁽²⁾ y también «*ciencia Kuhniana*» ⁽³⁾. Esta concepción se origina como consecuencia de la introducción a principios del siglo XX de la física relativista de Albert Einstein y de la física cuántica, que son verdaderas revoluciones conceptuales de la ciencia. La revolución está en el hecho de que el cuadro conceptual básico cambia radicalmente, porque el cuadro anterior ha entrado en crisis. Estos nuevos cuadros no se extraen sin más de la naturaleza, sino, como dice Einstein, «*son creaciones libres del entendimiento humano*» en su estructura matemática.

Thomas Kuhn en 1962 y con su obra *La estructura de las revoluciones Científicas* ha sido el que ha impuesto esta nueva orientación histórica de la ciencia, al dar un cierto carácter sociológico a su epistemología. Para ello, introduce lo que él denomina el «*paradigma*», conjunto de compromisos que acepta o modifica la comunidad internacional de los científicos de la especialidad y en el que depositan su confianza. Estos compromisos se podrían clasificar en tres categorías ⁽¹⁾:

— Compromisos metodológicos que necesita el científico para hacer ciencia.

- Compromisos comunitarios en donde aglutina una microsociedad de científicos, de pocos miles de personas, que son los únicos capaces de intervenir en las decisiones que afectan al paradigma, valiéndose para ello de su actividad docente.
- Compromisos metafísicos y de valores que no son de orden ético, sino de utilidad científica que hacen al cuadro científico más útil para construir la ciencia.

En cualquier concepción de ciencia hay dos aspectos importantes. En la ciencia clásica, esta procede del método *apodictico*, o sea, deducido de unos principios que se obtienen utilizando métodos dialécticos basados en opiniones comunes, fundamentadas en muchos aspectos de observaciones y experiencias. Sólo así pueden llegar a encontrar ciertos principios. En la ciencia empíricoformal progresiva el trabajo de establecer un nuevo cuadro conceptual no es estrictamente «racional», sino humanamente «razonable»; el trabajo de poner unas bases razonables y de desarrollarlas racionalmente de forma analógica es de carácter humano, pero contingente.

La diversidad de las ciencias se pone de manifiesto cuando atendemos al objeto de su interés y a los métodos empleados para adquirir el conocimiento. La diferencia primera y más notable es la que se presenta entre «*ciencias formales*» y «*ciencias empíricas o fácticas*». Las primeras estudian las ideas y las segundas los hechos.

Así, la lógica y la matemática son ciencias formales; son racionales, sistemáticas y verificables, pero no nos dan información sobre la realidad, es decir, no se ocupan de los hechos, por lo que no pueden utilizar los contactos con la realidad para contrastar sus fórmulas. Se denominan «formales» porque su objeto no son las cosas ni los procesos sino las «formas» en las que se pueden contener un ilimitado número de contenidos tanto fácticos como empíricos. Por ejemplo, los números no existen fuera de nuestros cerebros a nivel conceptual y sin embargo, los empleamos como herramientas para cuantificar los objetos materiales discontinuos, así encontramos 5 hombres, 10 ordenadores, pero nunca hemos visto los números 5 y 10. Es decir, establecemos *correspondencias* entre esas «formas» y las cosas reales, a diferentes niveles. De esta forma es como la física, la química, la economía y otras ciencias recurren a las matemáticas como una herramienta para efectuar de una manera más precisa las relaciones existentes entre los hechos y entre los diversos aspectos de estos ⁽³⁾.

La lógica científica se ocupa del complejo mundo de nuestras ideas, juicios, razonamientos, procesos de distinción, abstracción, concreción, relación, en la medida en que con estas operaciones mentales conocemos las cosas o nos aproximamos a su conocimiento. Su objeto, por tanto, son «*los actos del pensamiento en cuanto este se ordena a conocer la realidad de las cosas o sus relaciones lógicas*». Entre los diferentes aspectos que abarca la lógica científica de la razón, la *lógica formal* analiza las diversas formas que pueden adoptar las operaciones lógicas, en especial el *raciocinio*, con una relativa independen-

cia de sus contenidos concretos. Por tanto, el significado fáctico o empírico que se le asigna a los objetos formales no es una propiedad intrínseca de los mismos. Por ejemplo, la lógica formal considera cómo el raciocinio condicional, para ser riguroso, debe acomodarse al esquema «*si es A, es B; es A, luego es B*», así, «*si José respira, está vivo; respira, luego está vivo*». Se observa aquí la coherencia entre verdad formal y verdad material. Por lo tanto, la lógica formal no prescinde de la verdad, ya que las leyes lógicas, por muy abstractas que sean, son *siempre* y universalmente verdaderas, no entrando en conflicto con la realidad ⁽⁴⁾. Además, la lógica se interesa por la estructura de las ideas formales y fácticas. En el primer caso, la lógica es insuficiente para hallar valores verificables, mientras que en el segundo, la lógica y/o la matemática se bastan para validar o invalidar cualquier idea de esta naturaleza, con la condición de que se les superpongan reglas de correspondencia adecuadas. La ciencia formal es *autosuficiente* por lo que se refiere al contenido y al método y por ello es capaz de conseguir la «verdad formal» completa, *relativa a su sistema*, en el sentido de que una proposición que es válida en una teoría, puede no serlo en otra. Así, por ejemplo, matemáticamente $X = X$, pero en lenguaje digital de los ordenadores $X = X + 1$, o para contar las horas del día vale la proposición $24 + 1 = 1$.

Las ciencias formales se valen de la lógica para la demostración rigurosa de sus teoremas y por consiguiente no recurren a la experiencia, siendo suficiente para su demostración el conjunto de postulados, definiciones, reglas de inferencia deductiva y de formación de las expresiones dotadas de significado. La demostración de los teoremas no es sino una deducción, o sea, es una operación meramente teórica, aun cuando, en algunas ocasiones, los teoremas, pero no su deducción, tengan su origen en campos extramatemáticos. Por ejemplo, cualquier demostración rigurosa del *Teorema de Pitágoras* prescinde de las mediciones y emplea figuras como ayuda al proceso deductivo, sin hacer referencia a tal o cual esfera de su aplicación, aunque el teorema haya sido el resultado de un proceso inductivo conectado a operaciones prácticas de la medición de tierras.

Las ciencias factuales o empírico-formales, por ejemplo la física y la química, son ciencias factuales ya que se refieren a hechos que ocurren en el mundo y tienen que valerse de la observación y/o la experimentación para contrastar sus hipótesis y verificar sus fórmulas. Por consiguiente, necesitan *de la racionalidad* de la lógica formal para sus enunciados, pero ello no es garantía de que se obtenga la verdad y por ello se les exige su *verificación experimental* mediante métodos apropiados a cada caso. El hecho de que la experimentación verifique la veracidad del enunciado no garantiza que la hipótesis comprobada sea la *única verdadera*, pues existe la posibilidad que estudios posteriores puedan dar mejores aproximaciones al problema específico escogido, tal como demuestra la historia de la ciencia. Si el enunciado es *universal*, la experimentación es difícil que pueda llegar a verificarlo (*Falsación de Popper*).

Así, hasta principios del siglo xx toda la química se desarrollaba bajo el principio de la indivisibilidad del átomo, y las moléculas eran conocidas

como modelos poliatómicos, permitiendo la comprensión de sus diversas propiedades. El descubrimiento de la radiactividad hace posible penetrar en el interior del átomo y Rutherford y Soddy plantean un nuevo principio *«el átomo químico no ha de ser mirado como unidad impenetrable e inaccesible, sino como una estructura extraordinariamente compleja, y las fuerzas que determinan las relaciones de sus partes componentes son incomparablemente mayores que las que se producen en la combinación química de sus átomos»*. Por su parte, Thomson y Wilson estudian la conducción de la electricidad a través de gases en tubos de Crookes, llegando a la conclusión de que *«tanto la corriente positiva como la negativa, son conducidas por pequeñas partículas de igual carga pero de masas completamente diferentes»* con lo que se diferencian en el átomo los electrones y el núcleo. Rutherford encuentra que puesto que el átomo es eléctricamente neutro, era necesario que la carga negativa de los electrones fuese balanceada por la del núcleo. A partir de ello se aumenta el conocimiento con la constatación de partículas más elementales, neutrinos, gluones, leptones, quarks, etc., dando origen a una nueva teoría de la constitución de la materia, invalidando la indivisibilidad del átomo y sus consecuencias.

La clara diferencia entre ciencias formales y fácticas, no nos indica que el conocimiento conceptual de cualquier género no sean las ideas. Así, la lógica es un conjunto de ideas igual que lo es la física teórica. Todas las ideas, por concretas que sean, tienen una forma determinada: por ejemplo, «x es más alto que y» es análoga a « $x > y$ », o sea un esquema de sujeto-predicado. Además, toda fórmula dada puede convertirse en otra equivalente; así, el simple enunciado de P puede convertirse en $\sqrt{P^2}$. Como toda fórmula contiene una u otra forma lógica, más o menos visible, la rigidez que puede tener un cuerpo de conocimiento dado, se debe a las estructuras lógicas y/o matemáticas incorporadas a él, más que a los hechos que estudie. Por ello, toda la resistencia que, a veces, arraiga en la ciencia depende de su contenido formal. De ello se infiere que la ciencia factual contiene ciertas teorías formales que no somete a discusión ni a duda, dado que los hechos son irrelevantes respecto a las ideas puras ⁽⁵⁾.

Expuestos, de forma resumida, los tipos y características diferenciativas entre las ciencias formales y las fácticas o empíricas, nos centraremos en describir de manera más profunda las características de estas últimas, ya que en ellas se centra, mayoritariamente, el objeto de este libro.

1.2. Ciencias fácticas: características

Las ciencias fácticas abarcan las ciencias de la naturaleza, física, química, biología, psicología individual, etc., y las ciencias sociales, sociología, economía, ciencia política, historia de las ideas, etc.

Los rasgos esenciales del tipo de conocimiento que alcanzan estas ciencias son: la *racionalidad* y la *objetividad* ⁽⁵⁾.

Entendemos por conocimiento racional el que está constituido por conceptos, juicios y razonamientos, y no por imágenes, pautas de conducta, sensaciones, etc., si bien puede valerse de estas para su trabajo, que consiste, tanto al principio como al final en la generación de ideas. Las ideas pueden combinarse con reglas lógicas para deducir nuevas ideas, en lo que se conoce como «*inferencia deductiva*». Las ideas se organizan en sistemas, formando un conjunto ordenado de proposiciones que constituyen las teorías.

Por conocimiento objetivo se entiende el que busca en alcanzar la «*verdad fáctica*». Esta verdad ya existe, es preexistente, ajena a nosotros, y todo el esfuerzo del científico se dirige a percibirla y, en algunas ocasiones a reconstruirla. Una vez alcanzada se convierte en una nueva meta planteando nuevos interrogantes y nuevas verdades por descubrir. Santiago R. Cajal decía «*La cima de la verdad, con tanto esfuerzo escalada, que mirada desde el valle, semejaba montaña imponente, no es sino una minúscula estribación de la formidable cordillera que se columbra a través de la niebla, atrayéndonos con insaciable curiosidad*». La verdad científica está siempre condicionada a las posibilidades de percepción que el hombre tiene en cada época, tal como nos lo muestra la historia de la Química, la Astronomía, la Biología, etc., entre lo que se conocía como «verdad» del átomo, de los planetas y de la genética a principio y final de este siglo ⁽⁶⁾.

Existen una serie de características de la ciencia fáctica que nos permiten analizar la racionalidad y objetividad de esta. Entre ellas se citan ^{(5), (6)}:

1.2.1. El conocimiento científico es fáctico

Presupone que existe un mundo exterior al sujeto que conoce y, es en gran medida, independiente de este. Si no existiese no sería tema de investigación. También presupone que el mundo exterior está compuesto de cosas concretas y por ello estudia sus propiedades y sus cambios, intentando describirlos tal como son, independientemente del su valor emocional o comercial.

Los enunciados fácticos confirmados se denominan «*datos empíricos*»; se obtienen con ayuda de las teorías y a su vez son la materia prima para la elaboración de las mismas. Una subclase de datos empíricos son de tipo cuantitativo, por ejemplo los datos numéricos que se disponen en tablas, las más importantes de las cuales son las tablas de constantes. Estos datos deben de incorporarse a las teorías si han de servir como herramienta para la inteligencia y la aplicación.

Las cosas se agrupan en sistemas de componentes que actúan entre sí; así, existen los sistemas físicos, químicos, biológicos y sociales. Los sistemas interactúan entre sí en algunos aspectos y están aislados entre sí en otros, pues un sistema absolutamente aislado sería irreconocible, y si no hubiese aislamiento relativo nos veríamos obligados a conocer el todo antes que cualquiera de sus partes.

1.2.2. El conocimiento científico trasciende los hechos

Es decir, los pone en duda, produce nuevos hechos y los explica. La investigación científica no se limita a los hechos observados, se apoya en los hechos conocidos y comprobados que son relevantes para ir más allá. Produce cosas nuevas, desde leyes, partículas elementales, nuevos compuestos químicos, nuevos sistemas mecánicos, y al menos en principio, crea nuevas pautas de conducta individual y social. En todos los casos, estas novedades no son aceptadas a menos que se pueda comprobar su autenticidad.

El conocimiento científico racionaliza la experiencia, explicando los hechos mediante principios básicos (leyes fundamentales) y sistemas de hipótesis (teorías). El científico infiere lo que existe detrás de los hechos observados y continuamente inventa conceptos (masa, átomo, campo electromagnético, selección, tendencia social, etc.), aunque no perciba su existencia. No son los hechos por sí mismos, sino su elaboración teórica y la comparación de las teorías con los datos observados lo que permite el descubrimiento de nuevos hechos.

1.2.3. El conocimiento científico es legal

Intenta englobar en pautas generales los hechos singulares mediante las llamadas «*leyes naturales o sociales*». Las leyes son relaciones invariables entre propiedades y son en sí una propiedad de un conjunto de hechos, que permite la explicación, la predicción y la actuación. Existen leyes de hechos, tal como por ejemplo el *principio de Arquímedes*, y leyes que explican otras leyes, tales como los principios de la física que proveen la base para explicar leyes de las combinaciones químicas, las leyes de la fisiología explican ciertos fenómenos psíquicos. Por ello, existen leyes de varios niveles de jerarquización (las psicosociales), de forma que las particulares están englobadas en las generales y leyes de un solo nivel (biológicas). Las leyes experimentales pueden comprobarse dentro del grado permitido por los conceptos y el instrumental disponible, dentro del ámbito determinado por las condiciones del sistema donde se trabaja; por ejemplo, la ley de los gases perfectos se convierte en un enunciado cuando se sustituyen la presión, el volumen y la temperatura por sus valores medios: es válida para bajas presiones, moléculas que se comportan de forma aleatoria, tengan dimensiones despreciables, no ejerzan atracción entre sí, y sus choques sean perfectamente elásticos. Cuando no se dan estas condiciones es necesario recurrir a otras formulaciones más correctas ⁽⁶⁾. Por lo tanto, una ley experimental no es una traducción exacta de las leyes que se dan en la naturaleza. Las leyes de tipo general son menos abundantes que las particulares, existiendo muchos hechos singulares conocidos que no poseen la categoría de leyes superiores.

Generalmente, las leyes superiores, *principios*, emergen de las inferiores y gozan de mayor estabilidad. Los principios generales expresan relaciones que se

suponen válidas de modo general y en caso de conflicto con los datos experimentales, se prefiere mantener aquéllos e introducir nuevos conceptos o hipótesis auxiliares. Los principios de la conservación de la energía y de la masa son leyes superiores de tipo general. Son muy útiles en la actividad científica pues permiten efectuar predicciones acerca de los fenómenos. Albert Einstein relacionó la energía y la materia mediante su ecuación $E = m \cdot c^2$, en la cual E es la energía liberada en la destrucción de una masa m y c es la velocidad de la luz. El primer principio de la Termodinámica es una formulación del principio de la conservación de la energía, y afirma que la variación de la energía interna de un sistema es igual a la diferencia entre el calor y el trabajo; abarca todo el conjunto de fenómenos físicos, por ejemplo la ley de Joule, y hasta las leyes generales de la química.

1.2.4. El conocimiento científico es claro y preciso

Para ello, es necesario que:

- Los problemas a estudiar se formulen de manera clara, ya que no es posible plantear una estrategia de solución si el conocimiento que se desea obtener no está, en principio, bien definido.
- Los conceptos deben de quedar bien definidos, bien de forma explícita o implícita, es decir, por la función que desempeñan en el sistema teórico. La definición elegida debe comprenderse y mantenerse para evitar el confusionismo.
- La ciencia crea lenguajes artificiales inventando símbolos a los cuales se les atribuyen determinados significados mediante reglas de designación. Por ejemplo, «H» designa el elemento atómico de peso unitario.
- La precisión de las explicaciones y de las predicciones valida el conocimiento científico. La precisión se obtiene por la medida y el análisis del error cometido, siempre que sea posible, según las características del campo científico donde se trabaja. La ciencia experimental avanza, en gran parte, por la precisión de los cálculos y sus comprobaciones. Kepler invirtió dos años en sus estudios iniciales sobre la órbita de Marte y recommenzó sus cálculos al detectar una diferencia de 8 minutos en relación a los datos de Tycho Brahe, aunque en aquella época no se concediese importancia a tal desviación. Otro ejemplo lo tenemos en la detección de las partículas W y Z, en donde más de un centenar de científicos trabajaron durante varios años exigiendo el desarrollo de nuevas técnicas experimentales y la construcción de nuevas instalaciones en el CERN de Ginebra para lograr la precisión necesaria para la detección de dichas partículas.
- Es necesario señalar que la investigación científica emplea, en forma creciente, formas no métricas o no numéricas de la matemática, tales como la topología, la teoría de grupos, etc., que no son ciencias del número o de la figura, sino de la relación.

1.2.5. El conocimiento científico es sistemático

Cada campo científico está formado por un conjunto de ideas conectadas lógicamente entre sí de manera orgánica, de forma que la modificación o sustitución de cualquiera de las hipótesis básicas, origina un cambio profundo en las teorías o conjunto de principios que lo sustentan.

El progreso del conocimiento científico no sólo se produce por acumulación gradual de resultados comprobados, sino también por saltos. En el primer caso, se efectúan perfeccionamientos, bien en profundidad o en exactitud de los conocimientos anteriores; mientras que en el segundo se sustituyen los principios de gran alcance por otros nuevos, reemplazándose teorías enteras por otras nuevas. No obstante, la más profunda de las revoluciones científicas no sustituye completamente la anterior, enriqueciendo el conocimiento en vez de eliminarlo completamente. Por otra parte, en el tiempo, la nueva teoría también puede dejar de ser la última, dado el carácter perfectible de la ciencia. Como ejemplo de lo indicado citaremos el cambio experimentado por la teoría de la física newtoniana por la *Teoría de la Relatividad*.

Kepler, Galileo y Newton pueden considerarse los padres de la Mecánica por haber establecido sus tres principios fundamentales. Kepler (1571-1631), estudiando las numerosas observaciones de su maestro Tycho Brahé estableció tres leyes importantes: la primera, que «cada planeta describe una elipse alrededor del sol, en uno de cuyos focos se encuentra este» y al afirmar que el astro seguía una órbita curva, dedujo que debía existir una causa que produjera la trayectoria curva del planeta; la segunda, que «los planetas al circular sobre la elipse van más de prisa conforme se acercan al sol»; la tercera nos enseña a «calcular la distancia cuando conocemos la duración de su circunvalación». Basado en el estudio de los planetas, Kepler estableció el primer principio de la mecánica moderna, *Principio de la inercia*, que definió de la manera siguiente: «Si un punto móvil describe, bajo el efecto de determinadas acciones que sobre él actúan, una trayectoria curva, y en un instante determinado cesan aquellas acciones exteriores, el movimiento del punto pasa a ser rectilíneo y uniforme, en dirección a la tangente de la trayectoria y con una velocidad igual a la que tenía en dicho instante», el cual tiene sus limitaciones en un sistema de tres ejes ⁽⁷⁾.

Galileo (1564-1642), como resultado de sus observaciones sobre las leyes de la caída de los cuerpos sobre el plano inclinado y sobre el movimiento del péndulo, estableció «que cuando varias fuerzas solicitan simultáneamente un cuerpo, cada una de ellas produce un efecto independiente de la acción de las demás», lo que ha sido conocido como el *Principio de la independencia de los efectos de las fuerzas* ⁽⁷⁾.

Newton (1643-1727)), estudiando la desviación de la luna de su órbita estableció el principio de que «la misma fuerza con que la tierra atrae a la luna, la luna atrae a la tierra», lo cual fue discutido por Leibniz, pero aceptado por la mecánica moderna como el *Principio de la acción y de la reacción*. Entre

estos principios fundamentales de la Mecánica, el de inercia no ha podido ser seriamente impugnado por su carácter improbable, aunque la experiencia afirma indirectamente, pero de manera completa, la exactitud del mismo. El de Newton no es sino una consecuencia del principio de la conservación de la energía. Sin embargo, el de Galileo sólo es válido para velocidades inferiores a la de la luz y tanto menos válido cuanto más se acerca la velocidad al valor de la velocidad de la luz, 299.776 km/s, lo cual plantea un cambio profundo en las teorías sustentadas anteriormente ⁽⁷⁾. A partir de esta «relativa invalidez» del principio de Galileo, y fundado en la velocidad invariable de la luz, A. Einstein (1879-1947) considerado como el mayor científico de nuestro siglo, y por muchos físicos como el mayor científico que ha existido, con una enorme capacidad para la abstracción matemática y con alta especulación intuitiva, le llevó a exponer la teoría de *La Relatividad*, considerada como una de las mayores aportaciones de la mente humana al conocimiento científico, predestinada a transformar hondamente el pensamiento filosófico y científico en aspectos tan fundamentales como el espacio, el tiempo, el movimiento, la masa, la energía, etc. Einstein, partiendo de las conclusiones de Michelson, postula que «la velocidad de la luz en el vacío constituye un límite que no puede ser superado en el Universo» (Principio «L») y tras la verificación de las ecuaciones de Lorentz, sentó las bases de la teoría de *la relatividad*, cuya mayor importancia se refiere a la *ruptura con la física newtoniana*, cuya validez queda restringida por la teoría de la relatividad a velocidades mucho más pequeñas que las de la luz ⁽⁸⁾.

1.2.6. El conocimiento científico es metódico

Conocido el objeto concreto de la investigación, se planifica esta para comprobar la hipótesis planteada de manera metódica, teniendo en cuenta los conocimientos anteriores y los medios disponibles para ello. La planificación incluye variables y métodos experimentales. Las variables pueden modificarse una cada vez o simultáneamente, en este caso según un método estadístico. El planteamiento de la investigación no excluye el azar, sobre todo cuando el planteamiento se efectúa sobre bases estadísticas, en las cuales la toma de muestra se efectúa al azar. Los métodos experimentales deben de ser verificados para tener conocimiento de su fiabilidad; además, los métodos experimentales varían con cierta rapidez, siendo, en general, cada vez más sofisticados para abarcar parcelas del conocimiento científico más profundas. Ejemplos de esta sofisticación los encontramos en todos los campos, pero muy especialmente en la astrofísica, modernos radiotelescopios, en las comunicaciones, satélites artificiales, en la bioingeniería, etc.

La metodología científica exige la observación, el registro de los resultados y el análisis, lo más profundo posible, de estos, siempre teniendo en cuenta la racionalidad y objetividad de la interpretación.

La observación casual o espontánea no tiene validez científica, si bien pueden suscitar ideas que puedan aprovecharse para plantear hipótesis que deben ser comprobadas científicamente.

1.2.7. El conocimiento científico es verificable

Para que un hecho sea aceptado como conocimiento científico, este debe ser contrastable de una manera objetiva, aprobando positivamente el examen de la experiencia. El test de las hipótesis científicas es *empírico*, esto es, observacional o experimental, siendo este último de mayor entidad que el primero. No obstante, los resultados de la experiencia pueden, a veces, ser interpretados de diferentes maneras. Además, no todas las ciencias se pueden experimentar; ciertos capítulos de la astrofísica alcanzan una gran exactitud sin ayuda del experimento. Por ello, la ciencia fáctica es *empírica* en el sentido de que la comprobación de sus hipótesis necesita de la experiencia, pero no es necesariamente *experimental* y no se agota por las ciencias de laboratorio, tales como la física o la química.

Las técnicas de verificación son muy variadas y dependen de la especialidad científica que se estudie y de los medios disponibles. Por ejemplo, las técnicas de análisis para conocer la composición de un compuesto químico, mediante diferentes métodos analíticos, son completamente diferentes de las empleadas en el comportamiento sociológico de los humanos, métodos de encuestas analizados estadísticamente. Estas técnicas varían y se perfeccionan con la experimentación y su finura puede proporcionar conocimientos nuevos, como sucede, por ejemplo, con la astronomía.

1.2.8 El conocimiento científico requiere análisis y especialización

Se plantea el conocimiento del «todo» a través del de sus partes o componentes, intentando, una vez conocidas estas, la explicación de su integración. Al principio de la investigación, el análisis se centra en pocos objetivos, para descubrir el mecanismo que explique los hechos observados, pero a medida que avanza el conocimiento, su alcance se amplía, de forma que el análisis constituye una herramienta para poder construir síntesis teóricas.

Dada la complejidad, consecuencia de la profundidad alcanzada en determinados campos del conocimiento científico, se requiere la especialización para seguir avanzando. Es más, diversas ciencias antes unitarias se han subespecializado formando campos interdisciplinarios tales como la astrofísica, la bioquímica, la cibernética, la psicofisiología, etc. Con ello no queremos significar la rotura del método científico general, sino que las técnicas se multiplican para satisfacer la interdisciplinariedad de las ciencias fácticas. Ello implica, a su vez, la reorganización del equipo científico en un equipo de tipo multidisciplinario.

1.2.9. El conocimiento científico es comunicable

La información obtenida debe tener carácter público y ser suficientemente clara para poder ser entendida por aquellos especialistas del mismo campo

científico. En determinados casos y por razones extracientíficas, por ejemplo seguridad nacional, competencia comercial, la comunicación no se produce, pero ello es extraño al comportamiento normal. Además de clara, la comunicación debe ser precisa, condición necesaria para poder ser verificada, para su aceptación o refutación por otros científicos independientes.

La comunicación es el medio que tiene el científico para dar a conocer sus hallazgos y con ello el reconocimiento nacional o internacional de su valía. Por ello, cuando por diversas razones se priva a este de hacerlo, se le está infringiendo un grave daño moral y profesional.

1.2.10. El conocimiento científico es explicativo

A través del hecho observado o experimentado tiende a explicar científicamente cómo o por qué se produjo aquél. La explicación puede ser más o menos completa y con mayor o menor grado de aproximación, pero siempre pretende mejorar el conocimiento, cimentando nuevas bases para ulteriores avances. Los estudios antropológicos acerca del origen y evolución de los humanos pueden ser un ejemplo de lo indicado; en otros casos, las explicaciones son más demostrativas y reales y están fundamentadas en teorías o conocimientos con un elevado grado de certidumbre. Así, Rutherford, al presentar en 1913 y explicar que un elemento químico está perfectamente definido por el número de sus electrones, indicó que cuando se clasifican los cuerpos por su número de electrones se obtiene la misma clasificación dada por Mendeléief, apoyándose en los resultados de este y en los de las experiencias atómicas efectuadas por Mossley y colaboradores para fundamentar sus conclusiones.

1.2.11. El conocimiento científico es predictivo

La predicción es una manera eficaz de poner a prueba las hipótesis y la clave del futuro desarrollo de los acontecimientos. Su importancia es especialmente notoria cuando se trata de predicciones antes desconocidas, de tal manera, que cuando estas predicciones se comprueban, constituyen uno de los argumentos importantes en favor de la validez de una teoría⁽⁷⁾. Así, el efecto de unos planetas sobre otros, tal como predecía la teoría newtoniana condujo al descubrimiento de los planetas Neptuno y Plutón, en las posiciones calculadas por la teoría. De la teoría de la relatividad se deducía la equivalencia entre masa y energía, en términos cuantitativos $E = m \times c^2$, relación que se comprobó con éxito y que se encuentra en la base de la física atómica y de sus aplicaciones.

La predicción se diferencia de la profecía en que se funda en leyes e informaciones fidedignas del conocimiento actual. La predicción no es certeza y por consiguiente es perfectible, efectuándose muchas veces sobre conocimientos empíricos, por ejemplo la predicción del tiempo atmosférico, y en otros casos sobre teorías muy elaboradas, como hemos visto en los ejemplos anterior-

res. La predicción ha adquirido bastante importancia en el campo de las ciencias sociopolíticas y en la tecnología.

1.2.12. El conocimiento científico tiende a ser generalista

En el campo científico, los hechos singulares se engloban en pautas de comportamiento más generales, de forma que al descubrir un hecho nuevo, este es incluido en un sistema más amplio o da origen a plantear, conjuntamente con otros hechos singulares conocidos, un esquema de comportamiento y conocimiento más general. Los esquemas generales de la ciencia encuadran una gran cantidad de casos específicos, dando origen a leyes de amplio alcance que los incluyen. Una vez conocidos y definidos los principios generales, el científico analiza, ante el hecho nuevo, si este se encuadra o no en el principio general o lo contradice, pudiendo iniciarse, en este caso, una nueva búsqueda de la validez general del principio.

1.2.13. El conocimiento científico es útil

Los poderes públicos y la sociedad se han percatado de que, en general, el bienestar de la humanidad se basa en el conocimiento y dominio, para buen fin, de las leyes naturales y sociales. Para ello, es necesario el conocimiento científico de las mismas, pues si bien anteriormente las técnicas precientíficas estaban basadas en la aplicación de «recetas» que la praxis había demostrado como «más o menos» eficaces, la tecnología moderna, más compleja, eficaz y amplia que la antigua, se basa, cada día más, en el conocimiento científico. Este, en su forma aplicada, desarrolla las tecnologías, las cuales, a su vez, proponen nuevos retos a la ciencia. La fisión nuclear ha dado origen a las centrales nucleares, pero los problemas planteados por estas: seguridad, tratamiento de residuos, presiones ecologistas, etc., hace que se estudien otros tipos de energías alternativas y que se proponga la meta de obtener una fusión nuclear controlada.

Además del impacto tecnológico, el conocimiento científico aumenta la cultura general, haciendo a los humanos más libres al ayudar a comprender mejor cómo somos, cómo nos relacionamos, etc., remoldeando nuestra forma de ser para perfeccionarnos. Es verdad que el conocimiento científico mal empleado es fuente de desasosiego e inquietud, pero ello no es culpa del conocimiento científico sino de su mala utilización por el ser humano, debiendo la comunidad internacional disponer de las leyes y medios para solucionar estas desviaciones.

1.3. Ciencia básica y aplicada

En determinados ámbitos existe un cierto confucionismo al catalogar un trabajo científico como básico o aplicado, por lo que es necesario una defini-

ción de las características que deben tenerse en cuenta para encuadrarlo en uno u otro ámbito.

Se entiende que un trabajo de investigación puede considerarse como de ciencia básica, teórica o experimental, cuando solamente persigue como objetivo el aumento del conocimiento en la parcela de la ciencia que investiga. Así, el estudio de las relaciones entre masa y energía de Albert Einstein, o los estudios acerca de la geometría por Hermann Minkowski, o los dedicados al conocimiento de las partículas que componen la materia, o los de genética molecular, etc., son típicos ejemplos de trabajos en ciencia básica.

La utilización de los conocimientos adquiridos en ciencia básica o fundamental, para comprender mejor la influencia de determinadas condiciones, bien de forma teórica o experimental, en el comportamiento fenomenológico que se estudia, en una reducida parcela del conocimiento, que posteriormente pudieran ser aplicados industrialmente, corresponde a lo que se denomina ciencia aplicada. Así, el estudio de la fisión nuclear aplicando la teoría de la relatividad o los que se derivan del estudio del código genético a través del conocimiento del ADN específico de un ser, son ejemplos de trabajos de ciencia aplicada, por muy importantes y profundos que puedan ser. Hemos de tener presente que los estudios de ciencia aplicada no se limitan a utilizar los conocimientos existentes, sino que muchas veces, por estudiar parcelas más reducidas de la ciencia, plantean nuevos interrogantes al conocimiento básico.

Cuando los conocimientos adquiridos en la ciencia aplicada, se trasladan al campo de lo concreto con el fin de configurar un proceso o de fabricar un artefacto, entonces entramos en el campo de la tecnología.

1.4. Determinismo o indeterminismo científico

Karl R. Popper en su obra *El Universo abierto* se ocupa de argumentar las ideas que en el transcurso de la Historia de la Ciencia han llevado a diferentes filósofos a considerar el carácter determinista o indeterminista de la ciencia ⁽⁹⁾.

El concepto de «*determinismo*» tiene un origen religioso y está basado en las ideas de la omnipotencia de Dios, poder total para determinar el futuro, y en la omnisciencia de Dios, poder divino de conocer el futuro. Ahora, si sustituimos la idea de Dios por la idea de la «naturaleza» y la ley divina por la «ley natural», que también son omnipotentes y omnipresentes, ya que todo lo fijan con anterioridad, desembocamos en un tipo de *determinismo natural*. Las leyes de la naturaleza pueden ser descubiertas por la razón humana ayudada por la experiencia. Si conocemos estas leyes podemos predecir el futuro, *determinismo científico*, a partir de los datos presentes, por métodos puramente racionales. Según el determinismo científico, «*todo*» suceso en el mundo está predeterminado; si existiese un «*solo*» suceso futuro en el mundo que no pudiese predecirse, en principio por medio del cálculo basado en las leyes naturales y en los datos que configuran el estado presente o pasado del mundo, entonces

habría que rechazar el determinismo científico y considerar el *indeterminismo* como verdadero (Karl R. Popper).

El éxito de la leyes de Kepler y de la dinámica de los cielos de Newton fué lo que condujo al éxito del determinismo científico en los tiempos modernos, al cual se adhirieron muchos científicos hasta la actualidad.

Según Popper, «una teoría física es determinista» *prima facie* si, y sólo si, nos permite deducir, a partir de una descripción *matemáticamente exacta* del estado inicial de un sistema físico cerrado, que se describe en términos de la teoría, la descripción, *con cualquier grado de precisión estipulado*, el estado del sistema en cualquier instante del futuro. Esta definición no exige predicciones matemáticamente exactas».

Existe una diferencia entre el carácter determinista *prima facie* de una teoría y el determinismo científico. En el primer caso afirmamos «una teoría» que posee una determinada propiedad; en el segundo, afirmamos que «el mundo» tiene una determinada propiedad. Se admite que si una teoría es verdadera, entonces describe una cierta propiedad del mundo, pero esto no significa que para cada propiedad de una teoría verdadera exista la correspondiente propiedad en el mundo.

Karl R. Popper considera que el determinismo carece por completo de fundamento y por consiguiente indica que es partidario del indeterminismo científico.

Las razones de su convicción indeterminista son de dos tipos: intuitivas y lógicas. Los argumentos intuitivos indican que la creación de una obra nueva compleja no puede predecirse en todos sus detalles, tal como ocurre con una composición musical, o una teoría que describiese con todo detalle el funcionamiento de subconsciente. La opinión contraria parece, intuitivamente, absurda.

Los argumentos filosóficos son en parte lógicos y en parte metafísicos. Nos referiremos aquí solamente a los primeros. Su argumentación lógica, se fundamenta en considerar a las teorías científicas «*como redes racionales creadas por nosotros mismos para explicar el mundo, que no deben confundirse como una representación completa del mundo real en todos sus aspectos, aunque tengan gran éxito y parezcan producir excelentes aproximaciones a la realidad*». Nuestras teorías son *falibles* puesto que están hechas por nosotros, que somos falibles, y por consiguiente, representan nuestra propia falibilidad.

Según Karl R. Popper, el carácter determinista *prima facie* de una teoría está íntimamente unido a su simplicidad, y por consiguiente, es relativamente fácil de contrastar. Sin embargo, de la facilidad de su contrastación y de su éxito no podemos inferir que el mundo real que intentan explicar sea intrínsecamente simple. Por el contrario, consideramos el mundo como complejo. El que todo conocimiento científico sea aproximado, es uno de los argumentos más fundamentales en favor del indeterminismo científico.

De otra parte, y también como argumento en contra del determinismo científico, está la imposibilidad de la autopredicción científica. Es decir, si tuviése-

mos un conocimiento perfecto de unas condiciones pasadas o presentes, *¿podríamos predecir, por métodos deductivos, nuestros propios estados futuros de dicho conocimiento en cualquier momento determinado?* A través de una serie de argumentos, Popper demuestra que ello no es posible, y sin apoyarnos en ellos, nuestra razón lo ve también como imposible.

1.5. La ética de la ciencia

Los problemas morales que se suelen presentar con algunos descubrimientos científicos y el impacto de estos en la sociedad es un asunto que ha preocupado y preocupa actualmente con cierta intensidad, sobre todo a raíz de los últimos descubrimientos científicos en áreas muy críticas tales como la energía nuclear, la informática, las comunicaciones y la medicina.

Dos formas de enfocar el problema se han suscitado a través del tiempo. La primera y más antigua postula por una limitación del conocimiento científico empírico, al considerar a este como una amenaza para el orden social, tanto en el plano del pensamiento como en el de la práctica y que por consiguiente, se deben de imponer unas ciertas limitaciones a sus disciplinas. Plutarco (287-212 a.C.) en su conocido relato sobre Arquímedes indica que este se negó a escribir un tratado sobre algunos descubrimientos matemáticos debido a su posible aplicación ingenieril, recurriendo él mismo a su aplicación en el asedio militar a Siracusa. Similar postura adoptó Leonardo da Vinci al no divulgar sus notas sobre el diseño de un submarino, argumentando que podría ser empleado como medio de destrucción en el fondo del mar. En esta misma línea se pronunciaron Niels Bohr y Werner Heisenberg en 1941 al proponer a los científicos alemanes y norteamericanos que se abstuvieran de desarrollar armas atómicas. La segunda forma de enfocar el problema puede ser representada por la opinión de Galileo, para quien la búsqueda de la ciencia no debe estar sujeta a ninguna limitación, debiendo tener los científicos el derecho a buscar la verdad científica sin preocuparse por sus posibles consecuencias sociales perturbadoras; esta segunda forma de ver el problema ha guiado a la mayoría de los científicos de la era moderna desde la época de la Ilustración hasta después de la Segunda Guerra Mundial.

La reacción producida en el mundo científico y en la sociedad por la utilización de las armas nucleares ha llevado a los científicos a replantearse el problema ético de la ciencia. Carl Mitcham en su obra *¿Qué es la filosofía de la tecnología?*, identifica esta reacción en dos fases⁽¹⁰⁾. En la primera (1945-1970), los científicos atómicos reconocen las posibles derivaciones adversas de sus trabajos y desean ayudar a la sociedad a acomodarse a ellas, pero sin abandonar el espíritu galileano. Se marcan el objetivo de poner a la ciencia fuera de la influencia militar. En el segundo periodo (1970 hasta el presente), se pretende transformar el carácter interno de la ciencia, tal como se propuso en la Conferencia de Asilomar en 1975, que señaló los peligros en torno a la recombinación del ADN, elaborando un informe para ser utilizado por los

cuerpos administrativos y legislativos. Problemas similares han aparecido en el medio ambiente, las comunicaciones y la genética, que por la extensión impuesta a este trabajo no podemos tratar aquí.

En la situación actual, se puede admitir que no es deseable la interrupción de la búsqueda de la verdad científica, ya que ello privaría el avance en determinadas áreas que pueden reportar grandes beneficios a la humanidad. Estas áreas deberían quedar bien definidas en los programas científicos, de forma que se persiga la dualidad del conocimiento de la verdad y el bien que ellas pueden reportar, asignando los correspondientes presupuestos para su más rápida y eficaz solución. Por otra parte, es evidente que de los resultados obtenidos pueden efectuarse derivaciones no deseables y para ello, la legislación a nivel mundial debería establecer las reglamentaciones adecuadas para evitar el mal uso del conocimiento adquirido.

Bibliografía

1. Bellés X. *Ciencia y sentido común. La responsabilidad social de los científicos*, Fund. Catal. per la Recerca, 1, Barcelona, 1995.
2. García Doncel M. *Reflexiones sobre la Ciencia. La responsabilidad social de los científicos*, Fund. Catal. per la Recerca, 1, Barcelona, 1995.
3. García Doncel M. *La «Ciencia Kuhniana» como tarea histórica y micro-sociológica*, Boletín de la biblioteca Menéndez Pelayo, págs. 365-370, Santander, 1997.
4. Sanguineti J. J. *Lógica*. Edit. EUNSA, Pamplona, 1982.
5. Bunge M. *La ciencia, su método y su filosofía*, Ediciones Siglo Veinte, Buenos Aires, 1985.
6. Artigas M. *Filosofía de la ciencia experimental*, Edit. EUNSA, Barañain-Pamplona, 1992.
7. Lucini M. *Lecciones sobre Teoría de la Mecánica*, Edit. Labor, S. A., Barcelona, 1942.
8. Schabbath van Nes Ziegler, *Teoría del Universo multidimensional*, Edit. C. S. Z., Barcelona, 1995.
9. Karl R. Popper, *El Universo abierto*, 3.^a edic. Edit. Tecnos, Madrid, 1996.
10. Carl Mitcham, *¿Qué es la filosofía de la tecnología?* Edit. Anthropos, Barcelona, 1998.

Otras obras de consulta

- Lora-Tamayo M. *Un clima para la ciencia*. Edit. Gredos, S. A., Madrid, 1968.
- Bunge M. *Ciencia, tecnología y desarrollo*. Edit. Sudamericana, S. A., Buenos Aires, 1997.
- Rousseau P. *Histoire de la Science*. Edit. Fayard, 1945.
- Padilla H. *El pensamiento científico*, 3.^a edic. Edit. Trillas, México, 1990.
- Poincaré H. *El valor de la ciencia*. Edit. Espasa-Calpe, S. A., Madrid, 1964.

La Tecnología

2.1. Definición y tipos

La Tecnología se puede definir como el conjunto de conocimientos propios de un arte industrial, que permite la creación de artefactos o procesos para producirlos. Cada tecnología tiene un lenguaje propio, exclusivo y técnico, de forma que los elementos que la componen queden perfectamente definidos, de acuerdo con el léxico adoptado para la tecnología específica. En algunas ocasiones se ha definido, erróneamente, la tecnología como la aplicación de la ciencia a la solución de los problemas prácticos, de manera que si la ciencia experimenta cambios discontinuos, la tecnología también presenta discontinuidad. Sin embargo, muchas tecnologías no han aparecido de esta manera sino de forma evolutiva y con continuidad.

La historia muestra que la tecnología es más antigua que la ciencia y tanto como la humanidad. La manufactura de los útiles de piedra, una de las tecnologías más primitivas que se conocen, tuvo lugar dos millones de años antes de que apareciese la mineralogía o la geología, 6.000 años a.C. Los trabajadores del metal emplearon fórmulas de aplicación que les sugerían los mismos metales, cobre o bronce, que buscaban; hasta finales del siglo XVIII no fue posible explicar los procesos metalúrgicos simples en términos químicos.

Además, la tecnología ha sido capaz de crear estructuras e instrumentos complejos sin ayuda de la ciencia, tal como lo podemos comprobar en la arquitectura monumental de las catedrales antiguas y en las artes mecánicas de la Edad Media como los molinos de viento, los relojes, las bombas de agua, etc. El advenimiento de la ciencia moderna no significó el fin de las empresas que primariamente fueron generadas por la tecnología, pues muchas siguieron progresando al margen de los conocimientos científicos que iban apareciendo. El tránsito de la industria textil artesana a fabril en el siglo XVIII, no fué el resultado de la aplicación de los conocimientos científicos de aquella época, sino consecuencia de las invenciones de John Kay, James Hargreaves y Samuel

Crompton, entre otros. Es a partir de la segunda mitad del siglo XIX cuando la ciencia empieza a tener una gran influencia en la tecnología. Los conocimientos en química orgánica hicieron aparecer los primeros colorantes de síntesis y los estudios sobre la electricidad y el magnetismo sentaron las bases de la energía eléctrica y del transporte, impulsando con efecto dominó a la industrialización de otras tecnologías químicas y mecánicas. En el siglo XX el impulso de la ciencia a la tecnología ha sido enorme. Por ejemplo, la química orgánica ha logrado sintetizar una gran cantidad de polímeros que tienen aplicación en numerosas industrias, textil, productos químicos, colorantes, etc. A finales de la primera mitad del siglo XX y debido a los estudios efectuados sobre la estructura de la materia, se han desarrollado nuevas tecnologías en base a profundos estudios científicos, tal como ha sucedido con la nuclear. En otros campos, la informática ha originado un cambio radical en muchos útiles de trabajo, afectando no solamente al campo tecnológico sino también al sociológico. Además, estas nuevas tecnologías han producido un fuerte impacto en las que podríamos llamar «tradicionales», textil, metalúrgica, mecánica, etc., pues han aumentado su productividad, su calidad y la posibilidad de rápidos cambios con una eficiente seguridad en los productos obtenidos. El siglo XXI aparece como el siglo de la comunicación, de la biotecnología y del medio ambiente. Los efectos de la comunicación ya los estamos viviendo por la globalización de los acontecimientos; los de la biotecnología se presentan como esperanzadores en el campo de la salud pero dudosos en el campo de la ética; los medio ambientales, solucionables, si no queremos ir destruyendo poco a poco nuestro hábitat, requerirán la adopción de medidas equilibradas entre nivel de vida y calidad de vida.

Se puede establecer una clasificación de las tecnologías, teniendo en cuenta el proceso y el fundamento de su generación, de la forma siguiente:

2.1.1. Tecnologías artesanales

Se incluyen aquí aquellas tecnologías cuyo origen es muy antiguo, que no utilizan medios sofisticados para su ejecución, la cual se efectúa, por lo general, de forma manual. Entre ellas, podemos contar con la orfebrería, la carpintería, la restauración de objetos, variedad de artes manuales, etc.

2.1.2. Tecnologías tradicionales

Constituyen este tipo de tecnologías las que no han tenido un fundamento científico, sino que han ido evolucionando por el ingenio de los que las ejercían y la experiencia adquirida en el transcurso del tiempo. Ejemplo de este tipo son: la tecnología textil, la tecnología metalúrgica, la tecnología de la imprenta, etc. Tal como hemos indicado anteriormente, actualmente estas tecnologías han incorporado nuevos elementos provenientes de tecnologías avan-

zadas adquiriendo un grado elevado de modernización que, desde otro punto de vista, han pasado de ser tecnologías de mano de obra intensiva, a tecnologías de capital intensivo.

2.1.3. Tecnologías de base científica

Dentro de estas podemos encuadrar todas aquellas que sin el conocimiento científico de base, no habría sido posible su aparición y puesta a punto. Por lo general, son tecnologías que han nacido en los laboratorios y han pasado por fases de adaptación en plantas piloto, antes de su implantación industrial. Las diversas tecnologías de la química inorgánica y orgánica han experimentado este tipo de iniciación, desarrollo e implantación. Similar método han seguido otras tecnologías más modernas tales como la del automóvil, la informática, la electrónica, etc. Es evidente que en este tipo de tecnologías existe una gran imbricación entre ciencia y tecnología, apoyándose esta en aquella, pero presentado a su vez nuevas propuestas no resueltas que buscan su solución en la investigación científica.

Si bien tanto la ciencia como la tecnología originan sistemas cognoscitivos, su finalidad es diferente. La actividad innovadora de la ciencia tiene como resultado final un avance en el conocimiento, que se explica a través de la formulación escrita de un hallazgo experimental o de una nueva teoría. La actividad innovadora de la tecnología tiene como finalidad la obtención de un nuevo producto o proceso, capaz de mejorar lo existente o inventar lo no conocido; en ambos casos, sus resultados se materializan físicamente.

Es una tónica general actual el carácter de innovación permanente de casi todas las tecnologías, generando procesos o productos de ciclo corto de vida, lo cual es un indicio de la gran creatividad de la mente y de la favorable acogida de la sociedad a tales innovaciones, generando lo que se llama «la sociedad de consumo».

Otro aspecto a considerar en la tecnología es su característica continuista o discontinuista, es decir, si se ha generado como un proceso evolutivo o a saltos. Dado la diversidad de las tecnologías y sus orígenes, resulta evidente que en su amplio espectro existen de ambos tipos, si bien en algunos casos es difícil señalar su encuadre, tal como veremos a continuación.

2.1.4. Tecnologías evolutivas

Podemos definir las como aquellas que aparecidas en un determinado momento histórico, generalmente lejano, han ido evolucionando más o menos lentamente en el tiempo, adaptándose según las circunstancias externas, medios materiales, necesidades socioeconómicas y la presencia de personas con ingenio, perseverancia y gusto por el cambio.

Dado su carácter evolutivo y su diversidad, pensadores del siglo XIX como Samuel Butler y Augustus Henry Pitt-Rivers, muy influidos por *El origen de las especies* de Darwin, intentaron establecer una analogía orgánico-mecánica entre la evolución de las especies y la de las máquinas, fundamentadas en argumentos en los que no vamos a entrar en este texto, pero que los interesados pueden encontrar en la obra de George Basalla *La evolución de la Tecnología* ⁽¹⁾. En la primera mitad del siglo XX otros pensadores americanos W. F. Ogburn, S. C. Gilfillan y A. P. Usher, propusieron teorías acerca del cambio tecnológico basadas en el darwinismo. Últimamente, G. Basalla, en la obra citada, estudia la evolución continua de la tecnología en función de cuatro conceptos: *diversidad, continuidad, novedad y selección*.

Como ejemplos del cambio continuo en una tecnología se pueden citar: la máquina de vapor, el telar, la desmotadora de algodón, el transistor, etc., entre las cuales existen casos típicos de continuidad y otros en los cuales se mezclan la continuidad con el pensamiento creativo para obtener el artefacto. Generalmente, los primeros artefactos inventados para sustituir operaciones manuales son los que muestran los casos más típicos de la continuidad tecnológica, mientras que aquellos basados en observaciones de la naturaleza para producir un efecto determinado, por ejemplo lanzar un objeto a gran distancia, o los basados en otros artefactos de efectos diferentes al que se inventa, resultan más difíciles de catalogar o encuadrar en una tecnología continua.

A nuestro modo de ver, caso típico de evolución continua de una tecnología nos lo puede ofrecer la tejeduría. El protegerse contra las inclemencias del clima ha sido una de las necesidades básicas del ser humano, que resolvió en el principio mediante la utilización de las pieles de los animales que cazaba. Más tarde, al ir conociendo la agricultura que le obligaba a una mayor permanencia en el lugar elegido para vivir, encuentra materias que puede transformar en hilos, con los cuales debe buscar la forma de combinarlos, mediante su entrelazamiento, para obtener superficies consistentes que, a modo de las pieles cubran su cuerpo. Para ello, dispone una serie de hilos arrollados en un cilindro de madera, anudando sus extremos exteriores o arrollando estos en otro cilindro inferior, con lo cual forma lo que conocemos como «*urdimbre*»; los hilos que entrelaza con los anteriores, según una secuencia determinada, constituyen la denominada «*trama*», que mediante un peine largo, se van compactando hasta obtener la tela o tejido. Tal es la representación que podemos observar en descripciones del antiguo Egipto, Mesopotamia, China, entre otras. Posteriores evoluciones en la Edad Antigua y Media dan origen a un artefacto, *el telar*, construido en madera, para obtener tejidos de forma manual. La Figura 2.1 muestra el aspecto de un telar manual, utilizado todavía por algunos tejedores artesanos; en la Figura 2.2 se muestran esquemáticamente los componentes principales del telar manual ⁽²⁾.

Como puede apreciarse en la Figura 2.2 existe un plegador de la urdimbre A, en donde se arrolla esta; un guiahilos B y la *cruceta* C dirigen los hilos hacia los *lizos* D, los cuales mediante la combinación de palancas, *calcas*, accionadas con los pies, permiten un movimiento regular de los hilos de urdim-

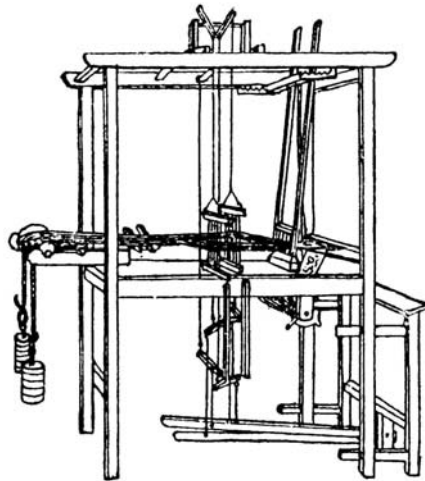


Figura 2.1. Telar manual.

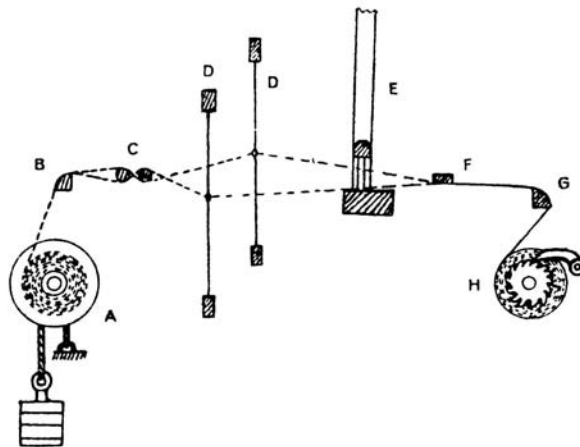


Figura 2.2. Esquema del telar manual.

bre, para abrir la *calada* a través de la cual se inserta la trama, colocada en una *lanzadera* accionada a mano entre la abertura dejada por los hilos de urdimbre; la trama se compacta mediante la acción de un peine, *batán* E, también accionado manualmente. El tejido así formado se arrolla en un plegador H.

El siglo XVIII se caracteriza, entre otros sucesos, por la introducción de la mecánica en los telares y la sustitución paulatina de la madera por el hierro.

La evolución de la máquina de tejer continúa hasta la aparición del telar mecánico de lanzadera, con la eliminación de la persona como factor motriz, al principio con una sola lanzadera conteniendo la trama y más tarde con varias,

lo que facilita la tejeduría mecánica a varios colores. Los telares se proveen de la denominada «maquinita» que gobierna la posición de los hilos de urdimbre mecánicamente, mediante el accionamiento de los lizos, lo cual permite el componer estructuras de tejidos más complejas. La impulsión de la lanzadera de trama pasa a ser gobernada por diferentes dispositivos mecánicos, hidráulicos y neumáticos aumentando de esta manera la productividad del telar, de tal forma que en los últimos 50 años se ha pasado, en general, desde una persona por telar a 15-40 telares por persona.

Otro ejemplo de tecnología evolutiva es la seguida por la pluma de escribir estilográfica. El origen de la pluma estilográfica se encuentra en las plumas de ave, cuyo cartílago de la raíz era seccionado transversalmente de forma que la cánula de los vasos periféricos permitía acumular la tinta. Basado en este sistema, Luis Senefelder (1771-1830) construyó una pluma seccionando en ángulo recto uno de los vértices de una cuerda de reloj. A partir de esta iniciativa se intentó la construcción de las plumas de metal utilizando el acero, pero eran tan duras que rompían el papel, siendo sólo posible utilizarlas cuando se construían de oro. La utilización de procedimientos mecánicos permitió que en 1820 Guillo empezara la fabricación de plumillas en serie, abaratando su precio. Sucesivas modificaciones en Inglaterra y Estados Unidos permitieron la fabricación de las primeras plumillas y plumas de acero, tan comunes hasta hace sólo unas décadas. No obstante, la pluma de oro continuaba teniendo mejores características que la de acero y se fabricó en Inglaterra en 1825 por primera vez. En un principio, las puntas de los «gavilanes», partes flexibles de las plumas, estaban protegidas por diamantes o rubíes, lo que las hacían muy caras; el problema se solucionó al sustituir dichas piedras por una aleación de iridio y osmio.

La pluma estilográfica se construyó en Inglaterra hacia 1835, contribuyendo a su perfeccionamiento los fabricantes Parker y Sheaffer. En el primero, el flujo de tinta estaba regulado por un pistón y en el segundo la tinta se desplazaba desde un depósito existente en el mango hacia la plumilla mediante la presión ejercida sobre un botón. Otros fabricantes idearon sistemas diferentes para hacer fluir la tinta hacia la plumilla, sin que tuvieran entonces éxito. La estilográfica tradicional se basa en un sistema distinto: la tinta desciende regulada por un alimentador y en el depósito de tinta va entrando aire a medida que se gasta la tinta, de forma que la presión generada por este hace fluir la tinta hacia la plumilla ⁽³⁾.

2.1.5. Tecnologías no evolutivas

Podríamos definir las como aquellas que se producen con solución de continuidad de lo logrado en el pasado, a modo de un salto que cambia completamente la forma de hacer un artefacto o de configurar un proceso tecnológico. Sin embargo, una tecnología que cumpla estrictamente estas condiciones, no es fácil de encontrarla al analizar el origen de tecnologías que aparentemente se

pueden considerar como «no evolutivas», tales como la luz eléctrica, sustitutiva de la luz de gas o de arco, el transistor, substitutivo de los diodos y triodos de vacío, o la fabricación de materias textiles de síntesis, sustitutas y con nuevas prestaciones de las fibras naturales.

El estudio de la historia de los posibles antecedentes de estas y de otras tecnologías, consideradas como «no evolutivas», muestra que pueden existir precedentes de artefactos o procesos, a veces lejanos y poco similares, que ante la necesidad o el interés de una persona o un grupo por resolver un problema, se hayan inspirado en aquéllos para la invención o innovación de un artefacto o proceso que sea el origen de una nueva tecnología. Por ejemplo ⁽⁴⁾, la iluminación ha sido una necesidad sentida por la humanidad desde siempre, habiendo utilizado las lámparas de aceite y las velas hasta el siglo XVIII, con los malos olores e inconvenientes de tales sistemas. Su resolución definitiva no fue posible, en cierto grado, hasta la aparición del suministro eléctrico que permitió la iluminación por arco en el tercer cuarto del siglo XIX, utilizando el carbón de hulla como fuente para producirlo; mediante este sistema se iluminaron La Place de la Concorde en París y la National Gallery de Londres. La iluminación por arco produce una luz brillante y dura, presentando limitaciones prácticas para regular la distancia entre los electrodos, lo cual no hacía posible su utilización doméstica, por lo que fue necesario el buscar otras soluciones alternativas. Ello llevó a la invención de la bombilla de filamento de carbono incandescente, lograda separadamente por Thomas Alva Edison (1847-1931) y sir Joseph Swan, que se fundamentaron en los experimentos de Willians Crookes sobre los fenómenos eléctricos en el vacío. Edison resolvió el problema proyectando un dispositivo provisto de un hilo carbonizado de elevada resistencia eléctrica, que poseía una vida larga y era resistente a los golpes, si bien daba una luz débil, debido a la pérdida de energía que se disipaba en forma de calor. A este primer paso siguieron otros para mejorar la duración del filamento, sustituyendo el carbón por otros tipos hasta que William D. Coolidge inventó el filamento de tungsteno que ofrecía mayor duración y rendimiento; las bombillas actuales son descendientes de las inventadas por Coolidge, presentando el filamento una forma de espiral para aumentar la masa iluminante que se vuelve incandescente a 1.300 °C y los bulbos que los contienen no están vacíos sino llenos de gases inertes, como argón o nitrógeno a baja presión. A principios del siglo XX aparecieron las lámparas de neón, y posteriormente las halógenas.

Por otra parte, hemos de considerar que la historia de muchos inventos o tecnologías muestra que estos han sido producto de bisociaciones, más o menos imaginativas, de artefactos o procesos anteriores, sin conexión entre ellos, que al relacionarlos en la mente del inventor han dado origen a la novedad buscada. Así, por citar un ejemplo, la invención de la imprenta por Gutenberg en 1440 fue sugerida por la observación de la prensa empleada para obtener el vino de la uva, la utilización de caracteres de plomo y su deseo de extender la lectura de la Biblia a un mayor número de personas, que las que podían tener acceso a los ejemplares manuscritos existentes en los monasterios

o las universidades de entonces. En otros casos, la conexión entre la tecnología actual y los antecedentes históricos no es tan evidente. Así, E.W. Constant en su obra *The origins of the turbojet revolution* ⁽⁵⁾ afirma la discontinuidad entre los motores turborreactores, empleados en la mayoría de los aviones actualmente, y los motores de aviación con propulsión de pistón, ya que el motor turborreactor no tiene ni cilindro ni pistón no propulsor y por consiguiente no puede considerarse como una evolución mejorada del motor de aviación con propulsión por pistón; el querer buscar unos antecedentes en las turbinas de agua o de gas, parece algo excesivo. En esta misma línea de la discontinuidad podríamos citar la obtención industrial por el conde Hilaire de Chardonnet, en 1885, de la primera fibra artificial, regenerada de la celulosa, conocida posteriormente como *viscosa*, que tras sucesivas modificaciones en su producción, es empleada en la industria textil, pues si bien existían antecedentes de que los chinos en el siglo XV y más tarde Robert Hooke en su libro *Micrographia* (1664) habían tenido la idea de imitar la producción del filamento de seda de los gusanos de seda «haciendo una composición gelatinosa», nada hicieron al respecto y es dudoso que se pudiesen considerar estos antecedentes como punto de partida para considerar esta tecnología como evolutiva.

2.2. Causas del origen o evolución de las tecnologías

En la historia de la aparición o evolución continuada de las tecnologías se pueden apreciar una gran diversidad de motivos o circunstancias que influyeron, más o menos, en la aparición o desarrollo de las tecnologías. Por ello, resulta difícil establecer con rigor cuál fue el factor determinante que impulsó la aparición de aquel artefacto o proceso en un momento determinado. En algunos casos, parece importante la presencia de un «genio» con gran capacidad inventiva, por ejemplo un Leonardo de Vinci, Edison, Marconi, y en otros casos, parece que han sido determinados factores medio ambientales diversos, los que han originado la aparición del nuevo artefacto o proceso. También es posible la conjunción de ambos, ya que en muchos casos la aparición del genio o inventor se produce como consecuencia de un medio ambiental propicio. Así, cabe preguntarse si sin el ambiente del Renacimiento en Italia, la presencia de Leonardo de Vinci habría sido capaz de inventar la gran cantidad de nuevos artefactos surgidos de su poderosa imaginación.

Antes de entrar en una serie de posibles causas de la aparición o evolución de los artefactos o procesos tecnológicos, creo que es conveniente el indicar la diferencia que existe entre invención e innovación, independientemente de que ello sea tratado con más profundidad en capítulos posteriores. La invención consiste en hallar, a fuerza de ingenio o meditación, o por mero acaso, una cosa nueva o desconocida. La innovación consiste en una invención que es aceptada por el entorno socioeconómico con éxito; sin esta última condición no se puede catalogar una invención como innovación. Leonardo de Vinci fue un gran inventor, entre otras grandes cualidades, pero muchas de sus invencio-

nes no tuvieron un impacto social en su tiempo o no fueron aceptadas y puestas a la práctica en su época o posteriormente.

Podríamos definir el «genio» como aquella persona de gran capacidad intelectual y psíquica, entregado arduamente a su trabajo, capaz de descubrir o inventar cosas nuevas y admirables. Leonardo de Vinci, Issac Newton, Albert Einstein, Edison, y tantos otros, son casos paradigmáticos del genio. También hemos de considerar que en muchos casos de invenciones o innovaciones tecnológicas, una gran cantidad de personas bien dotadas intelectualmente y con profundos conocimientos en determinadas áreas del saber, imaginación y dedicación, han sido capaces de grandes invenciones muy beneficiosas para la humanidad. Por otra parte, si bien en determinadas épocas históricas, en general hasta el siglo XIX, el genio o el inventor solos eran capaces de impulsar la invención de cosas nuevas para su posterior innovación, a partir del siglo XX y más acentuadamente conforme avanzamos hacia el XXI, son los equipos de investigación, siempre conducidos por personas relevantes en su especialidad, los que logran, tanto el avance del conocimiento como la realización de las innovaciones.

Según nuestro modo de ver, las causas del origen o evolución de las tecnologías se podrían catalogar en dos amplios grupos: intelectuales-psíquicas y ambientales. En las primeras se podrían incluir aquellas inherentes al estado del conocimiento y a los métodos para conseguirlo; las segundas comprenden una serie de factores externos como los socioeconómicos, culturales, políticos, medioambientales, etc. Citaremos algunas:

2.2.1. Factores intelectuales-psíquicos

2.2.1.1. Estado del conocimiento

Es evidente que el estado del conocimiento es un factor determinante para el origen o el avance de la tecnología. En épocas pasadas, anteriores al siglo XIX, las tecnologías evolucionaron sobre bases empíricas, adquiridas por la experiencia, o sea, que no fué necesario el conocimiento científico para ello. Sin embargo, a partir de mediados del siglo XIX, en donde podemos decir que el conocimiento científico se ha desarrollado rápidamente, casi de una forma exponencial, todas las tecnologías actuales se han desarrollado de manera rápida, tanto más cuanto más próximos nos encontramos al siglo XXI.

Otro aspecto importante a destacar es la necesidad de combinar diferentes tecnologías que podríamos denominar de base, para desarrollar otras nuevas. Por ejemplo, la tecnología aéreoespacial requiere el empleo de tecnologías de combustión, de cohetes, de materiales, de computadoras, etc.; en otra tecnología, que podríamos clasificar como tradicional, la hilatura de fibras, se necesita el empleo de tecnologías de fotografía ultrarrápida, de computadoras, de fluidodinámica, para avanzar en el desarrollo de nuevos sistemas.

2.2.1.2. *Los métodos de investigación*

El método científico, propuesto por Robert Boyle en el siglo XVII, de base racionalista, ha sido el más empleado, con sus diferentes variantes según el área tecnológica. Sin embargo, a partir de la década de 1930 se impulsa el papel del subconsciente para buscar soluciones a los problemas, generalmente nuevos y difíciles, en los cuales no se alcanza su resolución por el método estrictamente racionalista. Los métodos *Brainstorming*, *Sinéctica*, *Pensamiento Lateral* y otros, seleccionados según el problema a resolver, han sido de eficaz ayuda en el desarrollo de nuevas tecnologías. Estos métodos están basados en el empleo del psicoanálisis de Freud y Jung.

También hemos de señalar que el avance científico-técnico en la construcción de nuevos y potentes útiles para la investigación, ha permitido el dar un adecuado soporte científico al desarrollo de determinadas tecnologías.

La experiencia adquirida puede ser un factor positivo o negativo, según el tipo de tecnología. Así, en las tecnologías artesanales o tradicionales, de tipo continuista, por lo general, la experiencia es necesaria y positiva, mientras que en las no continuistas, que plantean y requieren soluciones nuevas para las que se necesitan una dosis elevada de imaginación o abstracción, la experiencia puede no ser tan necesaria o causar dificultades a la hora de buscar nuevas soluciones.

2.2.2. Factores externos.

Entre ellos consideramos los siguientes:

2.2.2.1. *La necesidad y la diversidad*

Cuando hablamos de las necesidades del género humano, podríamos clasificarlas como fundamentales y accesorias. Entre las primeras tenemos, la alimentación, la salud, la cultura, la defensa; o sea, aquellas que permiten la supervivencia del género humano y que, por lo tanto, han sido y son a las que se les da preferencia para poseerlas en el mejor grado posible. Las necesidades accesorias son las que no son vitales para los humanos, pero que en el devenir del tiempo el hombre las ha considerado como útiles, en mayor o menor grado, para adquirir un mayor bienestar durante su existencia. El dicho «La necesidad aviva el ingenio», muestra hasta qué punto aquello que se considera necesario impulsa al ser humano a conseguirlo.

Por otra parte, hemos de convenir que «la necesidad» como concepto determinante es relativa y cambiante. Ortega y Gasset definió a la tecnología como «la producción de lo superfluo» ya que el hombre habría podido vivir sin ella, como hacen los animales. Lo real es que el hombre lleva impreso en su naturaleza el «crecer y dominar la tierra» y ello le lleva a conquistar nuevas fronteras en todos los campos y entre ellos el tecnológico.

En general, la primera vez que se logra satisfacer una necesidad fundamental o accesoria, no significa que se prescinda de otras formas para satisfacer la misma necesidad, con lo cual nos encontramos con la diversidad de modos para lograr objetivos parecidos. Esta diversidad puede tener sus raíces en la competencia que se establece a nivel de personas, grupos o naciones, o bien en el hecho de que, por lo general, las tecnologías aparecen inmaduras y a través del uso se perfeccionan, modificándolas para mejorar su eficiencia. Muchos ejemplos podrían ser citados en cada caso, pero para no extendernos demasiado citaremos alguno de cada grupo.

La alimentación puede considerarse como una de las necesidades básicas del ser humano. El ser primitivo se alimentaba esencialmente de la caza y de los productos vegetales que ofrecía la naturaleza. Más tarde, al aparecer la agricultura, diversifica su alimentación con los productos que en cada área geográfica se cultivan de forma, que hoy denominaríamos, rudimentaria. Esta diversidad, en el devenir del tiempo constituye lo que conocemos como «cocina propia de la región o país» y se caracteriza por una alimentación concentrada en una serie de productos propia de una área geográfica, que constituye un «arte culinario», influyendo en las características de los humanos que se alimentan con ella. Todavía no se puede hablar de tecnología de la alimentación, si bien existían formas de conservar los productos tales como la carne, olivas, conservas vegetales, etc., que se habían aprendido en el transcurso del tiempo y que en algunos lugares todavía se efectúan de manera artesanal.

El conocimiento científico que se adquiere a partir del siglo XIX por Pasteur y otros en el campo de la microbiología, origen de la medicina moderna, pudiera ser el inicio de una nueva manera de actuar para la conservación de los alimentos y, por lo tanto, para su ulterior industrialización. La industria de las conservas vegetales, junto con la de derivados de las industrias cárnicas, embutidos, quesos, leche, etc. aporta ya, en el primer tercio de siglo XX, un conjunto de productos elaborados industrialmente que satisfacen un amplio sector del consumo. El aumento de la población, consecuencia de los avances de la medicina, hace que se incremente el consumo, de forma que la industria de tipo familiar va dando paso a importantes empresas que introducen la producción en serie y en condiciones de seguridad sanitaria máxima, incorporando los avances tecnológicos de la química, biología, manufactura en serie, controles de producción en línea, envasado aséptico, etc.

Si en sus primeras etapas la tecnología alimentaria se centró en aquellos productos que se obtenían anteriormente de forma artesanal, más tarde, segunda mitad del siglo XX, amplía su gama de oferta hacia productos más complejos, tales como platos preparados, alimentos congelados, etc. Todo ello hace de la tecnología alimentaria una de las más importantes actualmente.

La salud puede considerarse como una de las necesidades básicas del ser humano ⁽⁶⁾. La preocupación por conservarla y los métodos empleados para ello se pierden en la noche de los tiempos; si estos deben considerarse como un arte, una ciencia o una técnica, es difícil de precisarlo, ya que en su evolución

han intervenido tantos factores que hacen la clasificación de difícil encuadramiento. Opino que tal vez una breve historia de la Medicina nos puede ayudar a comprender la evolución de su práctica y conocimiento. En su principio, las técnicas empleadas mezclaban los efectos religiosos con medicinas naturales que la observación de sus efectos las habían considerado como beneficiosas para tal o cual enfermedad. Hipócrates (460 a. C.) puede considerarse como el primero que a través de la observación minuciosa de los pacientes formó sus diagnósticos sobre determinadas enfermedades y los trasladó a sus diversos escritos, que en el siglo III fueron recopilados en la obra *Colección Hipocrática*, un conjunto de 59 obras sobre medicina atribuidas a él y a sus discípulos. Vesale en su cátedra de la Universidad de Padua (1537) lleva a cabo importantes estudios de anatomía, publicados en su obra *De corporis humano fabrica*, que le dió gran renombre, accediendo al puesto de médico personal de Carlos V y Felipe II. Otro de los nombres relevantes de la medicina, Willians Harvey, descubre la circulación de la sangre, ya indicada por Miguel de Servet, y describe la función del corazón, las venas y las arterias, todo ello descrito en 1628, refutando la opinión de Galileo que atribuía al corazón la residencia del alma y al hígado el recipiente de la sangre. El cirujano escocés Charles Bell fue el primero en diferenciar en el sistema nervioso, los nervios que transmitían sensibilidad de los motrices, correspondiendo al francés Francois Magendie la demostración rigurosa, en 1822, de la especialización de las fibras nerviosas. Estas experiencias y estudios fueron continuados por otros fisiólogos en Francia y Alemania, creando los primeros estudios de Fisiología. Cabe indicar que Charles Ludwig, director del Instituto de Fisiología de Leipzig, inventa el aparato para registrar los movimientos respiratorios y la presión sanguínea, posteriormente perfeccionados por el francés Etienne-Jules Marey. Claude Bernard, discípulo de Magendie, descubre la función del páncreas y del hígado, presentando por primera vez el ejemplo de una secreción interna, fundamentada en conocimientos fisicoquímicos que refutaban la denominada «fuerza vital» como fundamento de la medicina.

Corresponde a Louis Pasteur, químico de formación, descubrimientos trascendentales en el campo de la influencia de los microbios en la fermentación y en el establecimiento de la microbiología y la influencia de los gérmenes o microbios en las enfermedades. Sus trabajos, conocidos por el cirujano inglés Joseph Lister, persona muy humanitaria, que sufría por la mortandad que existía entre los operados, le llevaron al empleo del fenol para la desinfección de instrumentales y de las heridas (1865), lo cual trajo un descenso muy notable de la mortandad. Lister perfeccionó las técnicas para una cirugía antiséptica, iniciando de esta forma la transformación de la medicina en una profesión con unas bases científicas.

A partir del año 1860, se inicia un periodo de gran importancia en la bacteriología. Robert Koch descubre el bacilo de la tuberculosis y la vacuna contra esta enfermedad (1882), Pasteur detecta el microbio de la rabia y obtiene su vacuna (1885), Frederic Loeffler descubre el bacilo de la difteria, Hansen y Eberth los de la lepra y el del tifus, etc. La guerra de 1939-1945 conlleva a un

progreso considerable de la medicina y la cirugía. Se logra la transfusión de la sangre conservada, la anestesia intravenosa, los antifébricos potentes como la atebрина, se aplica con éxito la penicilina descubierta por Alexandre Fleming en 1928, con lo cual disminuye enormemente la mortandad de los heridos en la guerra. A partir de estas fechas y con el desarrollo de potentes industrias farmacéuticas, que dedican importantes presupuestos a la investigación, se avanza en casi todos los campos de la salud, aumentando considerablemente la esperanza de vida. De otra parte, se perfeccionan e instrumentalizan las técnicas analíticas, ganando en rapidez y fiabilidad. Asimismo, las técnicas quirúrgicas también experimentan un considerable avance, tanto por el instrumental empleado como por un mejor conocimiento del entorno a operar, proporcionado por diversos aparatos, resonancia magnética nuclear, ecógrafos, escáners, rayos X, láseres, etc., que facilitan la labor del cirujano haciéndola más precisa y menos traumática para el paciente.

2.2.2.2. Factores socioeconómicos

Es evidente que este tipo de factores tiene mucha importancia en la innovación tecnológica, ya que, por lo general, la industria considera a la innovación el modo más eficaz, no sólo de su expansión sino también de su supervivencia. En algunas tecnologías, el factor social es el que ha obligado a la evolución y en otras, el factor económico ha sido determinante; a veces, ambos se suman en el proceso del cambio tecnológico, siendo difícil indicar cuál ha sido el factor dominante. Algunos ejemplos pueden servir para ilustrar lo indicado.

Es de todos conocido que durante la segunda mitad de siglo XX se ha producido, en las sociedades avanzadas, el fenómeno sociológico de la incorporación de la mujer al trabajo fuera de casa, bien en actividades administrativas, industriales, de servicios, salud, etc., muchas de ellas con titulación profesional o universitaria, sobre todo en los últimos decenios del siglo XX. Ello ha originado la necesidad del cambio en sus funciones domésticas que, si bien en algunos casos es ayudada por el hombre, todavía recaen en mayor parte sobre la mujer. Teniendo conocimiento de esta nueva situación y ayudando a su expansión, se ha creado una nueva gama de productos que facilitan el cumplimiento de las funciones domésticas con una reducción notable del tiempo. Nos referimos a la serie de electrodomésticos, cocinas eléctricas o a gas, neveras, aspiradoras, planchas, aparatos para rápida cocción, hornos de diferentes tipos, lavadoras, etc., los cuales han sustituido las formas del quehacer doméstico que prácticamente permanecían con pocas variantes desde tiempos remotos. Es más, podemos constatar cómo se perfeccionan continuamente, bien ofreciendo nuevas modalidades que mejoran su rendimiento térmico o del tiempo empleado, bien haciéndolos más automáticos, o por una disminución de su coste debido a una producción en serie con calidad controlada.

Este mismo cambio social también ha tenido su impacto en el sector de la alimentación. De una producción artesanal de alimentos agrícolas y animales, se

ha pasado a una producción industrial, basada en conocimientos científicos, y se ha creado una industria alimentaria potente que suministra todo tipo de alimentos tanto frescos como preparados, haciendo más fácil y rápida su condimentación doméstica, lo cual, unido al menor tiempo disponible, consecuencia del trabajo externo, también, al mismo tiempo, ha simplificado los hábitos alimentarios.

Hay otros aspectos socioeconómicos que también nos parecen relevantes y que de forma resumida nos interesa comentar. Nos referiremos sólo a dos de ellos: la importancia de la tecnología como ahorradora de mano de obra y como suministradora de materias primas.

En el primer caso nos referiremos a las invenciones ahorradoras de trabajo en Estados Unidos de América ⁽⁷⁾. La abundancia de tierra fértil y accesible en EE UU en la primera mitad del siglo XIX, hizo que los agricultores que poseían y cultivaban las tierras recibieran abundantes beneficios, lo que obligaba a la industria naciente a ofrecer salarios atrayentes para obtener mano de obra, escasa en Norteamérica por aquellos tiempos. Ello trajo consigo la necesidad de incrementar la productividad en la agricultura, lo que produjo la aparición de la primera segadora mecánica McCormick en 1831, que después de un periodo inicial de poco éxito, acabó imponiéndose en 1850. Fue también factor determinante en su adopción el desplazamiento de la producción de trigo hacia el Oeste, en donde se instalaron grandes granjas en tierras llanas y fértiles, idóneas para el trabajo de las segadoras.

Esta tendencia, iniciada en el siglo XIX, de sustituir la mano de obra por las máquinas, fue general en toda la industria americana y era consecuencia de la escasez de mano de obra, tanto cualificada como no cualificada. A la mecanización de la agricultura siguió la de la industria textil, la de la máquina herramienta, ambas iniciadas en Inglaterra, pero más rápidamente adaptadas a las necesidades del país.

En otros casos, ha sido la escasez de alguna materia prima lo que ha producido la nueva tecnología, tal como sucedió con los colorantes sintéticos ⁽⁸⁾. A principios del siglo XIX, se teñía con colorantes naturales y la tintura era considerada como un arte. La revolución industrial del siglo XIX produce un gran impacto en la industria textil con un considerable aumento de su producción, primero en Europa y después en Estados Unidos, y con ello la necesidad de obtener un mayor suministro de materias colorantes de forma estable y a precios más económicos. Los dos colorantes naturales de mayor consumo y por consiguiente más importantes, hacia los cuales los químicos dirigieron su mayor esfuerzo fueron la alizarina, obtenida de la raíz de la *Rubia tinctorum*, y el índigo, obtenido de las hojas de la *Indigofera tinctoria*, ambos producidos en países como Turquía, la India y otros países orientales.

Los primeros intentos en la obtención de colorantes sintéticos se iniciaron en 1771 cuando Woulfe obtuvo el ácido pícrico como primer colorante «no natural», empleado en la tintura de la seda, si bien su comercialización industrial no se realizó hasta 1845. En 1825 Faraday descubre el benceno; en los

últimos años de la década de 1840 Mansfield establece que el alquitrán es una fuente para obtener abundante benceno, y en 1845 Zinin y Hofmann encuentran el camino para su nitración y posterior reducción para obtener la anilina. Por fin, todos estos descubrimientos llevan al mayor éxito en el inicio de la síntesis de los colorantes con la Púrpura de Anilina de Perkin, obtenida por William Henry Perkin durante la Pascua de 1865 en el laboratorio de su casa. En 1868 Graebe y Libermann sintetizan la alizarina, 36 años después de su purificación en el laboratorio, sentando las bases para la obtención de los colorantes basados en la antraquinona. La década de 1870 se caracterizó por el inicio de la química de los colorantes azoicos, los primeros que mostraban afinidad por la celulosa sin necesidad de un previo mordentado. El descubrimiento de los colorantes sulfurosos por Croissant en 1873 significa la aparición de una nueva familia de colorantes sintéticos para la celulosa.

Tras varios años de esfuerzos, se logra establecer la estructura del índigo en 1890, después de haber sido sintetizado en 1887 por Baeyer. Corresponde a la firma alemana BASF su lanzamiento al mercado en 1897. El éxito en la producción del índigo abre nuevas fronteras para la síntesis de los denominados colorantes tina; en 1901 Bohn en BASF obtiene el primer azul *indantreno* derivado de la antraquinona, y entre 1901 y 1910 se obtienen la mayoría de los denominados colorante tina, aplicables por procedimientos similares al índigo. Durante este mismo periodo se introducen los colorantes directos derivados del ácido J y en 1912 aparecen los Naftoles AS, con lo que se amplía de forma importante la gama de productos para la tintura de las fibras celulósicas. A partir de aquí, se inicia una verdadera expansión de la industria de los colorantes sintéticos en Inglaterra, Francia, Suiza, Alemania y otros países, que se ha prolongado hasta nuestros días.

2.2.2.3. Factores de poder político y militar

Desde tiempos antiguos los inventos también han sido utilizados en la guerra ofensiva o defensiva. Baste recordar la utilización de las bolas de fuego de Arquímedes, las catapultas empleadas en el lanzamiento de rocas y dardos, la introducción de la pólvora como elemento para producir gas a presión que permitía lanzar bolas a gran distancia, etc.

Modernamente, y sobre todo durante el siglo XX, donde se han producido las dos grandes guerras que asolaron los campos y ciudades de Europa y otros continentes, las necesidades militares han llevado a plantear una serie de innovaciones que posteriormente han encontrado aplicaciones en el campo civil. Sin entrar en la discusión de si las innovaciones en el campo militar suponen un retraso para el desarrollo en el campo civil, o de si constituyen una fuerza impulsora, por los grandes recursos que se dedican, para obtener rápidas soluciones a los problemas planteados, nos referiremos a dos de ellas que han tenido una posterior repercusión de gran importancia en el campo civil: el radar y la energía nuclear.

En 1922 Guillermo Marconi expuso, basándose en estudios científicos, el principio de la reflexión de las ondas de radio ante un obstáculo, anticipándose de este modo a las posteriores experimentaciones de la radiolocalización de los objetos. Las investigaciones siguieron y en 1935 el físico escocés Robert A. Watson-Watt consiguió inventar el primer radar operativo (Radio Detection And Ranging), capaz de localizar aviones a una distancia superior a los 161 km. Hacia el final de la década de los treinta, algunos ingenieros alemanes crearon el denominado sistema Lorenz para la dirección por radio de los aviones de pasajeros. Este sistema consistía en un generador de radio acoplado a dos sistemas de antenas emisoras; las señales de una de ellas es de tipo modular corto, mientras que las de la otra se modulan en pulsos regulares complementarios y largos. Las dos antenas tienen una capacidad direccional elevada, de forma que forman haces estrechos y muy juntos. El piloto que se acerca al emisor oirá, si está situado a un lado de los haces un sonido puntual, y si se sitúa al otro lado unos sonidos prolongados; si está situado en el punto de intersección de los dos haces escuchará un sonido continuo. Ello constituye el principio de la navegación aérea por pulsos de radio. La primera aplicación técnica de los pulsos de radio fue el radar, creado simultáneamente en varios países, entre ellos en el Reino Unido, Alemania, Francia. Inicialmente se aplicó a los buques para evitar colisiones entre ellos, en circunstancias de navegación difíciles, niebla, o en aguas peligrosas, icebergs; en 1935 se dotó al transatlántico *Normandie* de un dispositivo de este tipo. En el Reino Unido, su principal motivación fue la defensa, como consecuencia de las experiencias habidas durante la Primera Guerra Mundial con los bombardeos por los Zeppelines alemanes y la necesidad de crear una barrera defensiva a larga distancia, que permitiera la interceptación de los bombarderos por los cazas de la defensa aérea, antes de que alcanzaran los objetivos urbanos.

La manera de hacerlo consistiría en lanzar pulsos cortos de radio, de forma que los ecos de vuelta procedentes de las partes metálicas de los aviones se recogerían en un osciloscopio de rayos catódicos. Un complejo sistema de comunicaciones alertaría a los cazas para la rápida detección de los aviones enemigos. Entre 1935 y 1939, el Gobierno inglés estableció una red defensiva basada en el sistema de radares, que le permitió, durante la Segunda Guerra Mundial, el ganar la batalla en los cielos.

Actualmente, los componentes fundamentales de un aparato de radar son: el transmisor por generación de impulsos; la antena, con función bien de transmisión o de recepción y con gran capacidad dirigible y orientable; el receptor, que mediante un ordenador amplifica y elabora los ecos de retorno captados por la antena; y el monitor que visualiza las señales.

El radar tiene actualmente muchas aplicaciones, tales como la guía de los aviones en ruta y durante los aterrizajes, la navegación en el mar, en meteorología para controlar la polución ambiental, en la determinación de algunas propiedades de los estratos atmosféricos, en los satélites artificiales, en las sondas y vehículos espaciales. El transbordador espacial utiliza sistemas de radar para recoger información relativa a la superficie terrestre o de otros planetas.

La producción de la energía nuclear para uso civil mediante los reactores nucleares utilizando la fisión atómica, es otro ejemplo de la aplicación de una innovación militar al campo civil. La sospecha de que los alemanes nazis estaban trabajando en la fisión nuclear para la producción de una bomba atómica indujo al físico Leo Szilard en 1939 a redactar una carta, conjuntamente con Albert Einstein, al presidente F. D. Roosevelt indicando que los últimos desarrollos de la física nuclear posibilitaban la obtención de una gran cantidad de energía para uso militar y civil y, por consiguiente, la fabricación de una bomba atómica de extraordinaria potencia. En 1942 se encomendó al ejército de EE UU, mediante el Proyecto Manhattan, la creación de la bomba atómica, utilizada en agosto de 1945 contra Hiroshima y solución Nagasaki.

La creación de las primeras bombas atómicas no resolvieron el problema que presentaban los reactores nucleares. Mientras el ejército de EE UU se dedicó al uso militar de la energía nuclear, en los años de la postguerra, en una frenética carrera con la URSS, los reactores nucleares avanzaron poco. Sin embargo, la marina de EE UU estaba interesada en la utilización de la energía atómica para la propulsión de un submarino nuclear. En 1947 se puso en marcha este programa y en 1950 Rickover, un oficial de ingeniería, adoptó la decisión, entre varias alternativas, de la refrigeración del núcleo del reactor y la moderación de su temperatura mediante agua común, que si bien no era la solución más económica, permitió en 1955 el funcionamiento del primer submarino nuclear, el *Nautilus*, con gran éxito. El mismo Rickover diseñó los planos del primer reactor nuclear de EE UU para la generación de electricidad, el cual se inauguró en Shippingport, en Navidad de 1957. En esta misma época, Francia, URSS, Inglaterra y Canadá desarrollaban reactores para la producción de energía eléctrica. Aunque estos reactores siempre estuvieron vinculados a algún programa militar, es evidente que sin la ayuda económica de los Estados, la generación de energía eléctrica mediante la energía nuclear hubiese tardado bastante más en ser operativa. Hoy existe una gran controversia por la utilización de la energía nuclear entre los grupos ecologistas y algunas facciones de la izquierda, a consecuencia de los efectos que pueden producir los accidentes de las centrales nucleares, en la contaminación ambiental y en las graves lesiones a las personas. Por otra parte, se indica como argumento de su utilización la falta de recursos alternativos actuales para atender las necesidades energética que solicita la industria. Tal vez sea necesario el buscar una de compromiso a través de recursos naturales como parques eólicos, energía solar, etc., hasta que se encuentre la solución de la fusión nuclear para producir energía no contaminante.

Otro ejemplo de la tecnología militar que posteriormente ha tenido su influencia en el desarrollo de tecnologías civiles son los cohetes. Resumiendo su evolución y desarrollo, se puede indicar que si bien diversos escritores de relatos de entretenimiento como Cyrano de Bergerac (*Les Etats et Empires de la Lune*, 1649) y más tarde Julio Verne (*De la Terre à la Lune*, 1865), ya habían indicado la conquista de este planeta por los hombres. No es hasta 1914, cuando Goddard experimentó con cohetes, para efectuar estudios geofísicos, cuando se inicia un

estudio serio sobre el tema, que dio lugar a una primera publicación teórica en 1920 (*A method to reaching extreme altitudes*), sobre la manera de alcanzar grandes altitudes empleando este método de propulsión. Hermann Oberth, después de un estudio a fondo sobre los cohetes, consideró que se podrían utilizar para transportar personas o instrumentos científicos al espacio, escribiendo un estudio teórico en 1923, (*El cohete al espacio interplanetario*), en donde también defendía la superioridad de los combustibles líquidos sobre los sólidos. Todo ello fue seguido con interés y tanto en Alemania como en Estados Unidos de América se fundaron asociaciones de carácter interplanetario.

Sin embargo, el impulso definitivo para el estudio de los cohetes como elementos de transporte vendría por otro camino. El *Tratado de Versalles* había limitado el armamento del ejército, la armada y la fuerza aérea de Alemania a niveles casi simbólicos. Debido a estas limitaciones los jefes de estas armas buscaban medios defensivos que no estuviesen prohibidos por el tratado e influidos por los trabajos de Oberth decidieron estudiar las posibilidades de los cohetes como arma militar. Con la seriedad que caracteriza a los alemanes, se iniciaron los estudios de forma sistemática para obtener datos fiables de su funcionamiento. El motor del cohete era similar al motor de reacción y en octubre de 1942 se lanzó un cohete A4 con éxito en la estación experimental de Peenemünde, que después de resolver problemas sobre su forma aerodinámica, de control al despegue y durante la trayectoria, de los materiales, de telemetría, etc., se convirtió en las conocidas V2 alemanas que entre 1944 y 1945 se lanzaron sobre Londres, creando un gran impacto psicológico, por cuanto no eran detectables.

Entre 1945 y 1955 las naciones occidentales y Rusia se interesaron por los cohetes como arma de guerra. A partir del 4 de octubre de 1957 con el lanzamiento ruso del *Sputnik*, se abre la carrera espacial, al principio entre Estados Unidos y Rusia, y más tarde con Francia, Gran Bretaña y otras naciones. Un hito significativo es el alunizaje el 20 de julio de 1969 de N. Armstrong y B. Aldrin en la luna. En 1975 se inicia la cooperación internacional con el ensamblaje *Apollo-Soyuz* en el espacio. La era de los satélites artificiales, puestos en órbita por potentes cohetes ha sido de gran valor para las comunicaciones (*Telstar*; 1962, *seguidos de los Syncom*, etc.), la predicción del tiempo, la inspección geológica y mineralógica de la tierra y planetas, la navegación, etc. Las naves tripuladas *Discovery*, impulsadas por poderosos cohetes, permiten además realizar experimentaciones en condiciones de gravedad reducida que no se podrían realizar en la tierra, dando paso a nuevas tecnologías de aplicación civil. Todo ello ha significado un avance considerable para el estudio del cosmos, si bien hemos de considerar que bajo el paraguas científico también se esconden propósitos hegemónicos de poderío económico y militar, al cual sólo pueden acceder las naciones con considerables medios económicos y elites científicas y tecnológicas de primera fila.

2.3. La ética de la tecnología

Si los descubrimientos científicos plantean problemas éticos, la tecnología no escapa de ellos y podríamos decir que los plantea con más crudeza, ya que sus logros tienen un impacto mayor sobre la sociedad, como consecuencia de ser la recipiendaria muy directa de los mismos. Este planteamiento se ha agudizado en el siglo XX como consecuencia de los avances tecnológicos en general, pero sobre todo en determinadas tecnologías, que por sus características inciden de una forma más directa en las relaciones entre los humanos y entre estos y el mundo no humano: la naturaleza, los animales y hasta los artefactos. Particularmente importante es esta relación en campos tales como la energía nuclear, el medio ambiente, la biomedicina y la informática.

La ética de la energía nuclear puede abarcar dos campos: las armas nucleares y la producción de energía. Acerca de las primeras, cuya finalidad es la destrucción total del oponente y de su entorno, su justificación ética es improcedente, como también lo son todas las armas de destrucción basadas en componentes químicos venenosos que destruyen total o parcialmente a los seres vivos. Su producción y sus arsenales deberían estar prohibidos mediante leyes internacionales que obligasen a la destrucción de las existentes y al desmantelamiento de sus factorías en cualquier país del mundo. Es evidente que los Estados y sus gobiernos son responsables de estas alternativas de destrucción masiva.

La utilización de la energía nuclear para la producción de electricidad cae dentro del campo de la utilización civil de la energía nuclear y tiene sus defensores y sus oponentes. En el principio de su utilización y dado las necesidades de un entorno industrial que necesitaba más energía que la que podían suministrar las energías fósiles y las hidráulicas, las instalaciones no suscitaron serios problemas, si bien siempre se mantuvo la alerta ante posibles accidentes en las centrales nucleares y se adoptaron las medidas de seguridad que se consideraron necesarias. La catástrofe de Chernobyl afectando a un inmenso territorio de la URSS y de naciones vecinas, significó un cambio en la apreciación social de los peligros inherentes a este tipo de instalaciones, de tal forma que, principalmente los partidos políticos de izquierda y los verdes cuestionan la instalación de nuevas centrales y presionan para el cierre escalonado de las existentes y la utilización de energías alternativas no contaminantes. Por otra parte, los residuos radiactivos provenientes de las centrales y otras aplicaciones, por ejemplo en medicina, ha creado otro foco de tensión en los lugares habitados próximos a las zonas de su almacenamiento, cuestión no resuelta aún.

La ética medioambiental adopta como principio básico que la relación del hombre con su entorno natural debe de ser de tal manera que se preserve el sistema ecológico preexistente, ya que es antinatural la opción contraria, la cual a la larga causaría un desequilibrio irreversible que sería de muy difícil reparación. Todos los Estados son conscientes de que hay que buscar un equilibrio entre el ecosistema y las necesidades de la sociedad, debiendo estas en los países desarrollados conformarse con un estatus de vida suficiente para impulsar el desarrollo de los países menos favorecidos. El problema es mentalizar a las pri-

meras para que se conformen. Un caso paradigmático es el agujero de ozono producido en la atmósfera por las emanaciones industriales, en gran parte de los países desarrollados, que amenaza la elevación de la temperatura de la Tierra con las consecuencias que ello comporta. La destrucción sistemática de los bosques en Brasil y otros países y la pesca abusiva son otros ejemplos de lo mismo.

La ética en la biomedicina es otro de los aspectos que ya ha adquirido una gran importancia pero aún lo será más en el siglo XXI, dado a los avances de la biogenética. Desde un punto de vista ético, desde muy antiguo, la medicina ha poseído y practicado su código deontológico en el ejercicio de su función, avanzándose en este sentido a todas las demás ciencias y tecnologías. La Bioética, en cuestiones morales, está vinculada a todos los estados de la vida y hasta hace pocos años, el seguimiento por los profesionales de su código deontológico no había planteado difíciles alternativas morales. Recientemente, aspectos relacionados con el aborto, la fecundación *in vitro*, en el principio de la vida, el tratamiento y confiabilidad del paciente en el estado adulto, y la prolongación de la vida de manera artificial o la eutanasia pasiva relacionadas con el fin de la existencia, presentan problemas de conciencia que obligan en muchos casos a actitudes heroicas por parte de aquellos profesionales que no están de acuerdo con determinadas disposiciones emanadas de la legislación de algunos países.

Los avances más recientes en biogenética molecular, si bien pueden representar la posibilidad de curar ciertas enfermedades mediante la modificación del código genético alterado, también es posible su utilización con fines bastardos, y por lo tanto se debe plantear hasta dónde es conveniente ir y qué normas deben regular estas investigaciones y su posterior implantación, para evitar situaciones indeseadas fuera de control.

La ética de la informática está centrada en la buena o mala utilización que se pueda hacer de la informática en una sociedad informatizada. Ello abarca algunos aspectos:

- a) Amenazas a la privacidad individual o colectiva, mediante el mal uso de la información acumulada en las bases de datos privadas o institucionales. Así, se han dado casos de introducirse en bancos de datos de instituciones militares que pueden afectar a la seguridad colectiva.
- b) Alteración en el funcionamiento correcto de los programas mediante la introducción exprosa de «virus informáticos», bien sea con finalidades delictivas o por mera demostración de suficiencia de conocimientos.
- c) Utilización de los sistemas de información, bien sea por ordenadores, satélites, radio, televisión, etc., para desinformar privada o colectivamente con fines de utilidad política, económica, social, etc.
- d) Aprovechamiento de la dificultad que presentan ciertos sistemas informáticos para ser comprendidos por una gran mayoría, haciendo de ello una palanca de poder, muchas veces utilizado como soporte de armamento.

Según W. Zimmerlí, la informática requiere el desarrollo de una ética específica, tal vez similar a la que se utiliza en medicina para cada casuística, que no está contemplada en los principios generales de los códigos morales utilitarios y deontológicos.

Dentro del campo profesional se han ido formalizando normas de actuación ética para el ejercicio de la profesión, tal como sucede con los médicos, los abogados y los periodistas. Un caso particular que nos interesa en el ámbito de esta obra es el de los ingenieros, por ser protagonistas muy importantes de la tecnología y por la importancia de esta en el mundo actual. En sus orígenes, el ingeniero era la persona que construía y operaba «ingenios de guerra» y fue hasta finales del siglo XVIII una profesión vinculada al arte militar, estando la conducta del ingeniero regida, principalmente, por el principio de obediencia y subordinado al poder organizativo del ejército. La ingeniería civil aparece en el siglo XVIII y son los ingenieros los encargados de diseñar y construir las carreteras, los puentes, presas, sistemas sanitarios, etc., estando subordinados a la dirección del Estado. Más tarde, su entrada en el sector industrial como empleados en una empresa, no modifica su estatus de obediencia, en relación con los propietarios. La aceptación de esta situación de subordinación continúa hasta finales del siglo XIX, en donde empiezan a manifestarse las contradicciones entre los ingenieros y sus superiores, acerca de la «responsabilidad» de su actuación y por consiguiente lo que deben o no deben de hacer. El empuje inicial a este aspecto ético de su profesión se produce en el discurso que en 1895 George M. Morison, dirige a la Asociación de Ingenieros Civiles de Estados Unidos, proclamando a los ingenieros como la fuente generadora del cambio tecnológico, y por consiguiente, con la responsabilidad de que este cambio redunde en beneficio de la humanidad, libre de las presiones de los intereses particulares de los grupos. Desde esta óptica, de una gran responsabilidad sobre aspectos muy amplios de la tecnología, que comprende el periodo entre las dos guerras mundiales, se llega a la necesidad de limitar el campo de dicha responsabilidad, que en palabras del ingeniero-filósofo Samuel Forman se reducen a «*hacer bien el trabajo técnico*». Desde otra concepción, se argumenta que los ingenieros, al estar comprometidos con el bienestar social, deben de incorporar cuestiones morales a su forma de hacer, dentro de un pluralismo moral, para rechazar proyectos o actuaciones con las que no están de acuerdo. Actualmente, los criterios de responsabilidad se han intensificado, medio ambiente, seguridad en el trabajo, etc., y se debate en profundidad el marco en que deben encuadrarse aquéllos.

Bibliografía

1. Basalla G. *La Evolución de la Tecnología*, Edit. Crítica, Barcelona, 1991.
2. Blanchart D. *Tisaje mecánico*, Imp. A. Ortega, 4.^a edic., Barcelona.
3. Martí G. *El arte de escribir*, La Vanguardia, 26 noviembre, 1998.
4. Cardwell D. *Historia de la Tecnología*, págs. 344-346, Alianza Editorial, Madrid, 1996.

3. Constant E.W. *The origins of the turbojet revolution*, pág. 19, Baltimore, 1980.
6. Basalla G. *La evolución de la tecnología*, pág. 25, Crítica, Barcelona, 1991
7. Cardwell D. *Historia de la tecnología*, pág. 270, Alianza Editorial, Madrid, 1996.
8. Cegarra J. *Evolución del conocimiento científico y tecnológico de la tintura de materias textiles*. Vol. LVII n.º 4, págs. 136-138, Memorias Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, Barcelona, 1998.

Otras obras de consulta

- Mitcham C. *¿Qué es la filosofía de la Tecnología?* Edit. Anthropos, Barcelona, 1989.
- Bunge M. *Ciencia, tecnología y desarrollo*. Edit. Sudamericana, Buenos Aires, 1997.
- Tezanos J. F. López A. *Ciencia, tecnología y sociedad*. Edit. Sistema, Madrid, 1990.
- Rousseau P. *Histoire de la Science*. Edit. Fayard, 1965.

Investigación

3.1. Definición y tipos

En un sentido amplio, investigar significa el efectuar diligencias para esclarecer una cosa, constituyendo la investigación el proceso empleado durante el esclarecimiento del objeto a investigar. En esencia, la investigación busca el conocimiento de la verdad. Esta amplia definición se concretiza al referirse al mundo científico o tecnológico de varias maneras, entre las que citamos:

- «La investigación es un proceso creador mediante el cual la inteligencia humana busca nuevos valores. Su fin es enriquecer los distintos conocimientos del hombre, provocando acontecimientos que le hablan del porqué de las cosas, penetrando en el fondo de ellas con mentalidad exploradora de nuevos conocimientos».
- «La investigación es un proceso que implica un estado del espíritu voluntariamente adoptado, por el que mediante un esfuerzo metódico trata de llegar a conocer algo que hasta ahora es desconocido».

En cualquiera de estas definiciones, la investigación, como consecuencia del descubrimiento tiene un cierto carácter de pertenencia y de conquista, que generalmente no es total sino parcial, hasta que nuevos avances modifiquen, parcial o totalmente, la «verdad conocida».

La investigación científica puede referirse a ciencias *formales* o *fácticas*, mientras que la investigación tecnológica está encuadrada en el campo de las ciencias fácticas. Ambas se diferencian de la investigación filosófica e histórica.

Según la finalidad perseguida por la investigación se pueden considerar tres tipos diferentes: Fundamental, Aplicada y de Desarrollo. Los conceptos de cada una han sido motivo de diversas definiciones.

La National Science Foundation las define del modo siguiente:

- «*La Investigación Fundamental o Básica* comprende cualquier tipo que consista en una investigación original cuya finalidad sea el progreso del conocimiento científico, sin tener objetivos comerciales específicos, pudiéndose situar en dominios que interesen actual o potencialmente a la empresa considerada».
- «*La Investigación Aplicada* comprende el conjunto de actividades que tienen por finalidad el descubrir o aplicar conocimientos científicos nuevos, que puedan realizarse en productos y en procesos nuevos utilizables».
- «*El Desarrollo* agrupa el conjunto de actividades de aplicación de la investigación a productos o procesos, dentro de hipótesis no corrientes».

La Ponencia de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico, estableció las siguientes definiciones:

- «*La Investigación Fundamental*, también llamada *Básica*, es la que tiene como objetivo esencial, a medio y a largo plazo, contribuir a ampliar, intensificar y aclarar todos los campos de la ciencia sin otras implicaciones inmediatas. Lo cual no excluye que esta búsqueda desemboque en importantísimas aplicaciones, lo que sucede con frecuencia».
- «*La Investigación Aplicada*, a veces llamada *Investigación Técnica*, tiende a la resolución de problemas o al desarrollo de ideas, a corto o medio plazo, dirigidas a conseguir innovaciones, mejoras de procesos o productos, incrementos de calidad y productividad, etc.».
- «*La Investigación de Desarrollo* puede decirse que aplica la puesta en práctica, mediante los diseños adecuados, de los resultados de la Investigación Aplicada, ya sea en la mejora de procesos convencionales o en procesos nuevos, mediante el paso intermedio en muchos casos a escala piloto, estación experimental, etc. En general, tiene lugar preferente en el seno de las industrias u organizaciones de cualquier tipo que vayan a ser sus inmediatos beneficiarios».

Como ejemplo de la distinta finalidad perseguida en cada investigación dentro de una misma área del conocimiento se puede citar, entre otros varios, la electricidad. En este campo de la Física los trabajos fundamentales de James Clerk Maxwell (1831-1879) sobre el electromagnetismo mostrando que las ondas electromagnéticas y las luminosas son una misma cosa, lo cual es un ejemplo clásico de investigación básica; también lo son la deducción de las primeras leyes de la electricidad por Kirchhoff, Ampere, Faraday, entre otros. Basándose en estos conocimientos, se intenta obtener electricidad a partir de una fuerza mecánica o esta mediante la electricidad, haciendo girar el *inducido* y el *inductor* de todas las formas posibles; por otra parte, se investiga la manera de transportar la electricidad a largas distancias, lo cual no era posible si no se disponía de altas tensiones, así como para guardar la electricidad de forma

que posteriormente pueda ser utilizada. Todo este conjunto de estudios podemos considerarlos como de investigación aplicada. Estos conocimientos cristalizaron en la invención de máquinas eléctricas tales como motores eléctricos, dinamos, alternadores, acumuladores, etc. ejemplos evidentes de una investigación de desarrollo, que hicieron decir a J. B. Dumas en el Congreso de Electricidad de 1881 que «*La ciencia y la industria se han apoderado después de mucho tiempo de las fuerzas que el aire y las aguas ponen a su disposición*», significando con ello el nacimiento de una industria basada en el conocimiento científico. En el área de la Química son muchos los ejemplos que se podrían encontrar: fotosíntesis, química de colorantes, polímeros, proteínas, etc.

Es evidente que al estudiar la Historia de la Ciencia se observa que en muchos casos es difícil establecer una línea divisoria entre la investigación fundamental y la aplicada, siendo más fácil establecerla entre esta y el desarrollo.

De otra parte, conviene diferenciar entre *Investigación Fundamental Libre* e *Investigación Fundamental Dirigida*. La primera ha quedado suficientemente definida anteriormente: investigar por avanzar las fronteras del conocimiento. La segunda viene motivada por intereses de grupo o comerciales, desarrollándose para resolver problemas planteados en el curso de la Investigación Aplicada, cuya resolución es imprescindible para tener éxito en la investigación planteada; suele ser, en muchos casos, discontinua en el tiempo. Pueden considerarse como Investigación Fundamental Dirigida, los estudios acerca del mecanismo de oxidación de los hidrocarburos, los fenómenos de catálisis superficial de ciertos materiales, las relaciones entre estructura molecular de colorantes y polímeros orgánicos, los estudios sobre mecanismos de lubricación, los mecanismos de reacción de las peroxidasas, etc.

En general, la Investigación Fundamental Libre suele efectuarse en las universidades o en centros u organismos de investigación. La Investigación Fundamental Dirigida se desarrolla en las grandes empresas, en la universidad o en centros privados de investigación, por lo general en régimen de contrato y confidencial. La Investigación Aplicada puede efectuarse en las empresas, universidad o en centros privados de investigación. La Investigación de Desarrollo es más propia de las empresas. Como es natural, esta clasificación es meramente orientativa.

En un estudio efectuado por Frieder Meyer-Kramer ⁽¹⁾ acerca de la investigación en Alemania y su futuro desarrollo, indica que las crisis no sólo estimulan la innovación, sino que al mismo tiempo producen cambios en la estructura distributiva de esta y de la investigación. Asimismo, muestra la distribución entre el sector público y privado de los recursos dedicados a la investigación en sus diferentes modalidades (Fig. 3.1).

La OCDE (1970) recomendó a los países en vías de desarrollo, en materia de investigación, que aprovechen al máximo los conocimientos científicos existentes en Investigación Fundamental que provienen de los países más avanzados y del propio, y que su esfuerzo investigador se dirija sobre todo hacia la

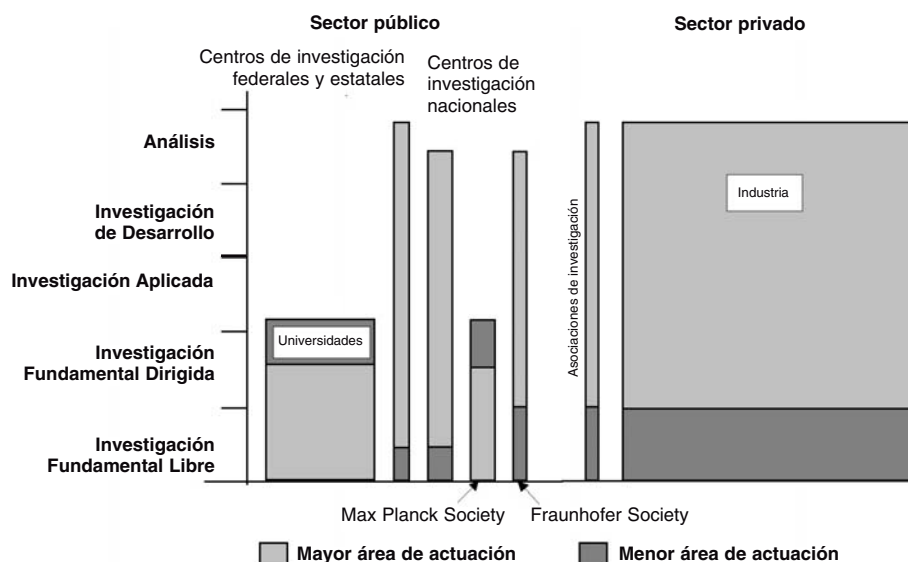


Figura 3.1. El sistema de investigación alemán en 1989. Gastos en 10^9 MA.
(Fuente: ISI.)

Investigación Aplicada y a sus aplicaciones industriales. En muchos casos, el conocimiento científico ya existe en la bibliografía sobre ciencia básica y sólo se requiere acceder a las fuentes informativas, analizarlo, sistematizarlo y emplearlo, eso sí, con talento y trabajo. En sus inicios, el Japón utilizó los conocimientos científicos de los países occidentales desarrollados para fundamentar su desarrollo tecnológico.

M. Bunge en su obra *Ciencia técnica y desarrollo* ⁽²⁾ indica que en los países en vías de desarrollo también se puede efectuar Investigación Fundamental y cita, entre otros, a Santiago Ramón y Cajal (premio Nobel en 1905) por sus trabajos en neuroanatomía moderna, a Mendeleiev (1869) por la construcción de la Tabla Periódica de los Elementos en la Rusia zarista, a Pavlov (premio Nobel en 1904) por sus importantes descubrimientos en fisiología y psicología animal, también en Rusia en vísperas de la primera Revolución, todos ellos en condiciones precarias y muchas veces en un ambiente social hostil a los trabajos que realizaban. Es evidente que la época en que estos casos son citados es muy diferente a la actual, tanto por el pensamiento del entorno social como por los avances que han experimentado las diferentes ramas de la ciencia que requieren, en muchos casos, equipos humanos y materiales importantes. No obstante, se puede decir, tal como indica Bunge, que en los países en vías de desarrollo puede efectuarse Investigación Fundamental, dependiendo del área elegida. Así, es posible en matemática pura, física y química teóricas, ciencias sociales teóricas y en ciencias observacionales y experimentales tales como la biología evolutiva, la paleontología, la socioeconomía, etc., o sea, en aquellas en donde sólo se requiere papel, lápiz, bibliografía, talento creativo, relativo

equipo experimental poco sofisticado y un estar al día de lo que la comunidad internacional va desarrollando.

Actualmente una gran parte de la Investigación Científica Fundamental se dirige hacia las nuevas áreas del conocimiento: la informática, la microelectrónica, la biología molecular, la astronáutica; o sea, ciencias que pueden abrir nuevas perspectivas al conocimiento y al bienestar de la humanidad. Los avances científicos logrados en estas, también son aprovechados por otras ciencias y tecnologías, tanto para ampliar sus conocimientos como para mejorar estas haciéndolas más eficaces. Dado los medios de que se dispone para la rápida difusión del conocimiento el impacto de un avance en, por ejemplo, microelectrónica, se traduce en modificaciones, a veces importantes, de sistemas de control de procesos, robotización de equipos industriales, *hardware* de computadores, etc., lo cual significa que además del avance del conocimiento en el sentido vertical, también se produce otro en sentido horizontal que puede y suele ser más numeroso que el primero.

Dada la influencia que la investigación, en sus diversas modalidades, tiene sobre el bienestar de la sociedad, y la forma de configurarse esta, el contenido ideológico de la sociedad, hace que los gobiernos estén obligados a fijar unos objetivos científicos y tecnológicos que sean coincidentes con lo que la sociedad necesita, tanto desde el punto de vista económico como ideológico. Por otra parte, tal como Bunge indica en la obra referenciada, la ideología está fundamentada en un tipo de filosofía y por lo tanto, esta también debe de considerarse dentro del esquema general que relaciona los diversos componentes. En la Figura 3.2 se muestra el esquema de relación propuesto por Bunge ⁽²⁾, (pág. 39).

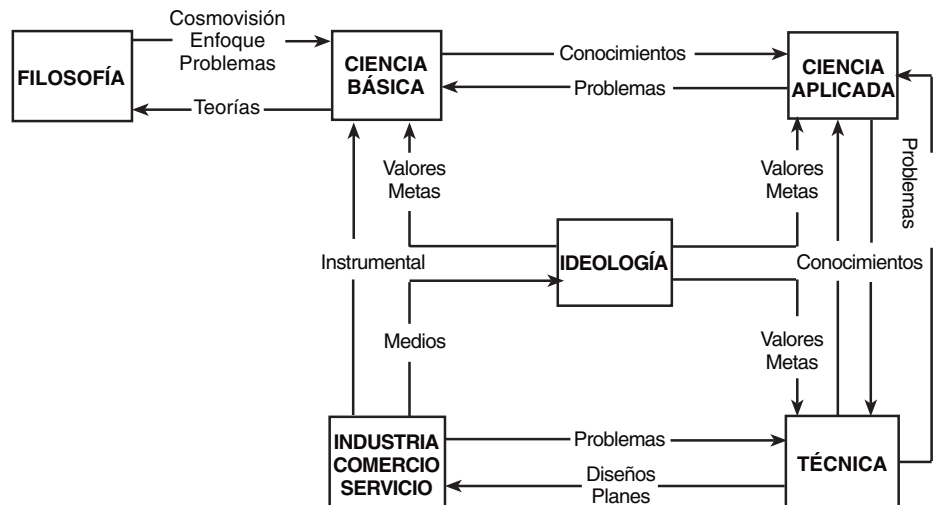


Figura 3.2. Esquema de las relaciones existentes entre la producción y circulación de conocimientos, artefactos y servicios.

3.2. La investigación científica

Anteriormente hemos indicado las finalidades de los diferentes tipos de investigación. Dada la importancia que hoy tiene la Investigación Fundamental y Aplicada en el desarrollo de las nuevas tecnologías, nos parece indicado el profundizar algo más en las diferentes modalidades que se pueden presentar en la investigación científica. Para ello, seguiremos la clasificación expuesta por M. Artigas en su obra *Filosofía de la ciencia experimental* (2.^a ed.)⁽³⁾, si bien invertiremos el orden de dicha clasificación con el objeto de seguir un orden de exposición de menor a mayor complejidad y extensión del conocimiento.

Según M. Artigas los conocimientos puramente teóricos o experimentales de cualquier tipo, pueden clasificarse en los cinco subtipos siguientes:

3.2.1. Obtención de conocimientos particulares

Son los conocimientos adquiridos sobre aspectos muy específicos, cuyos resultados constituyen las bases empíricas para la comprobación y formulación de leyes, modelos y teorías. Son de gran importancia en el avance del conocimiento. Constituyen el porcentaje mayor de los trabajos de investigación y presentan un carácter acumulativo, de tal manera que, en la mayoría de los casos, los avances del conocimiento se producen basándose en el conocimiento previo y no como consecuencia de una intuición más o menos genial. Generalmente están basados en la experimentación o en la observación de los fenómenos de la naturaleza. Se puede subclasificar en los siguientes subgrupos:

3.2.1.1. *Determinación de la existencia y naturaleza de entidades*

Tienen por objeto el estudio de problemas muy concretos, pero que en su conjunto son fundamentales para la formulación de leyes o teorías. Así, el descubrimiento por J. Black en 1775 del gas carbónico, del nitrógeno y del oxígeno por Priestley, del cloro por Scheele en 1774, los descubrimientos de Antoine-Laurent Lavoisier, de la síntesis del agua, de que el peso de un cuerpo compuesto es la suma de los pesos de sus componentes y una serie de grandes descubrimientos de los cuerpos simples etc., constituyeron el descubrimiento de entidades muy concretas que fundamentaron las bases para el avance de la química en el siglo XIX.

3.2.1.2. *Determinación de la naturaleza de los procesos*

Análogamente a lo indicado anteriormente para las entidades, el conocimiento de los procesos, entendiendo por tales el conjunto de secuencias que dan origen a un ente o proceso, es de gran importancia para explicar el porqué

de ciertos fenómenos. Así, a Henri-Joachim Dutrochet (1776-1847), médico del hospital de Burgos en la época de Napoléon, le llevó su afición hacia la botánica y descubrió la *ósmosis*, entre 1827-1835, fenómeno de gran importancia en la vida de las plantas, constatando que todo vegetal no era otra cosa que un edificio celular. Este descubrimiento, seguido del de otros botánicos, casi simultáneamente, lleva al descubrimiento del núcleo de las células y a considerar a estas como el elemento esencial de los seres vivos.

3.2.1.3. *El perfeccionamiento del instrumental*

Muchos descubrimientos, sobre todo en el campo del análisis, la constitución de los seres vivos e inanimados, de la astronomía, la astrofísica, etc., no hubiesen podido efectuarse sin el perfeccionamiento de los instrumentos empleados para su observación. La invención de Zacharie Jansen en Holanda de una combinación de lentes, entre 1590-1609, que permitía ver los objetos lejanos, proporcionó a Galileo la idea de construir su telescopio en 1610 de 32 aumentos con el cual pudo ver la orografía de la luna, descubrir estrellas invisibles, ver la Vía Láctea descomponerse en multitud de estrellas, reconocer los cuatro satélites de Júpiter y discernir las manchas solares. Los perfeccionamientos sucesivos han llevado a la fabricación de potentes telescopios a través de los cuales se ha ido ampliando el conocimiento de nuestro universo. El descubrimiento del microscopio a mediados de siglo XVII y del microscopio electrónico en el siglo en el siglo XX, han permitido a numerosos investigadores descubrimientos importantes que han mejorado y ampliado el conocimiento de la estructura de los seres vivos, los minerales, etc.

3.2.1.4. *La confirmación experimental de leyes y teorías*

Una vez expuesta una ley o una teoría es necesaria su verificación experimental para su confirmación o rechazo, lo cual se efectúa experimentalmente para conocer si la predicción efectuada se cumple o no. En este caso, el experimento puede acotar el campo de la ley o de la teoría. La teoría de Rutherford sobre la estructura del átomo con un núcleo central cargado positivamente y gravitando alrededor de él los electrones negativos, se presenta corroborada sobre dos órdenes de hechos: la experiencia físico-química (la tabla de Mendeleief) y la experiencia atómica (investigaciones de Moseley y continuadores).

3.2.1.5. *Descubrimientos fortuitos*

En la historia de la Ciencia aparecen descubrimientos que no fueron planificados para lograrlos y que por lo tanto se pueden calificar como fortuitos. Un ejemplo paradigmático de estos es el descubrimiento de la radiactividad por Henri Becquerel ⁽⁴⁾, que ante el descubrimiento por M. Roentgen de los rayos

X y a requerimiento de Poincaré, su colega de la Académie des Sciences francesa, de qué podía producir ese tipo de radiaciones, se puso el problema de «si existían sustancias que excitadas, no por la acción de los rayos catódicos, sino por la acción de la luz del día podían producir los rayos X». Ante una serie de cuerpos fluorescentes estudiados por su padre, eligió el sulfato de uranio. Preparó una placa sensible, cubierta de papel negro, sobre la cual puso varios cristales de la sal de uranio, e interponiendo además una cruz de cobre; lo envolvió todo en una envoltura protectora y lo colocó en un cajón, esperando que hiciera un día soleado. El tiempo pasaba y el sol no aparecía. Su impaciencia le llevó a extraer la placa de la envoltura protectora y revelarla. Con asombro observó que los cristales de la sal de uranio se mostraban dibujados en negro sobre la placa y en blanco la cruz de cobre. Había descubierto la *radiactividad* sin proponérselo. Con relación a este descubrimiento decía Ramón y Cajal «*el efecto fue teatral, y parece preparado por un genio irónico, empeñado en impulsar la ciencia a pesar de las más erróneas concepciones*»⁽⁵⁾.

3.2.2. Formulación de leyes experimentales

Las leyes son la representación, muchas veces de tipo matemático, de la relación existente entre las variables o magnitudes de la experimentación. Una ley experimental no es una traducción exacta de lo que ocurre en la naturaleza y cuando se expresan matemáticamente, sería más propio de hablar de ecuaciones que de leyes. El conjunto de ellas, dentro de una misma disciplina, puede dar lugar a una teoría; otras veces, las leyes se deducen de las teorías formuladas, pero deben ser convalidadas experimentalmente. Las leyes tienen validez por sí mismas, independientes de la certeza o no de la teoría que las agrupa.

Las leyes de Boyle, de Avogadro, de Pascal, de Bunsen, fueron determinantes para conformar la teoría cinética de los gases. Las Oersted, Kirchhoff, Ampere, Faraday y Ohm son leyes que permitieron a James Clerk Maxwell formular la electrodinámica clásica. Independientemente de las teorías a que dieron lugar tienen validez por sí mismas.

3.2.3. Construcción de modelos experimentales

Cuando los fenómenos a estudiar son demasiado complejos, se recurre a modelos experimentales simplificados en donde se supone que se encuentran los aspectos más importantes del mismo, para después, en estudios posteriores, buscar el ajuste del modelo estudiado. Un clásico ejemplo es el modelo atómico de Bohr, que utilizó un modelo muy simple que podía ser fácilmente visualizado y que además explica los aspectos fundamentales de los espectros de muchos átomos. Este modelo fue afinado posteriormente por Urey, Brickwedde y Murphy en 1931 al descubrir el deuterio. Por otra parte, Sommerfeld en 1916 lo aplicó a las órbitas elípticas y sucesivas depuraciones fueron dando

una mayor exactitud al modelo inicial. En otros casos, cuando la complejidad del sustrato sobre el que se investiga es muy grande o poco estructurado, y ello puede dar lugar al falseamiento de determinadas propiedades que se desean analizar, acerca de la influencia de compuestos químicos específicos, se sustituye el sustrato por otro más simple que no pueda enmascarar las propiedades impartidas por los compuestos aplicados. Un caso de este tipo lo encontramos en el estudio de los compuestos ignífugos sobre sustratos textiles, en donde estos son reemplazados por láminas de composición química similar al tejido sobre el que se desea ignifugar.

3.2.4. Propuestas de teorías-marco

Como su nombre indica, son interpretaciones generales aplicables a muchos fenómenos. Se originan cuando existe un conjunto de leyes que actúan como soporte de la teoría y demuestran la validez de esta. No son sistemas deductivos y consisten en ideas y explicaciones generales que se van modificando y ampliando con ayuda de teorías específicas. Por lo general, las teorías requieren de mucho tiempo y un gran esfuerzo de sistematización para su exposición y validez, tal como ha sucedido con la teoría de la evolución de Darwin que cuando se propuso no se conocía nada acerca de la transmisión hereditaria ni de la genética de las poblaciones, de tal forma que actualmente la explicación inicial dista mucho de ser convincente. La formulación de una teoría en sus inicios no es completa y se modifica y amplía en el transcurso del tiempo. Las teorías pueden ser validadas mediante experimentación, por ejemplo la dinámica de Newton, basada en las leyes de Kepler y Galileo; en estos casos se denominan teorías fenomenológicas. En otros casos, cuando no es posible un control experimental directo, por haber sucedido en condiciones lejanas y no reproducibles, se denominan representacionales, tal como sucede con la teoría de la formación del universo. En este caso, existen dos propuestas de representación: la teoría del «*estado estable*», de Herman Bondi y Thomas Gold y la del «*Big-Ban*» de Friedman y Lamaitre, que es la que parece tener más aceptación actualmente.

3.2.5. Construcción de sistemas teóricos

Son sistemas que proporcionan una explicación unitaria de amplios campos de fenómenos y constituyen una novedad importante sobre los conocimientos previos que se tenían. Estos sistemas dan unidad científica al conocimiento y cuando esto se logra, la disciplina científica puede considerarse que ha alcanzado un buen grado de consistencia y madurez. La teoría de la mecánica newtoniana puede considerarse como un ejemplo de estos sistemas; en ella y mediante un procedimiento deductivo fundamentado en definiciones, teoremas y conclusiones, se integraron los conocimientos obtenidos desde la antigüedad con los más recientes y se logró la unificación de la mecánica terrestre y celes-

te, llegando a la proclamación de la ley de la gravitación universal. Su validez universal fue puesta en duda por Einstein, quien a principios del siglo XX propuso la *Teoría General de la Relatividad* como expresión más completa de las leyes que rigen el Universo.

3.3. La investigación tecnológica

La investigación tecnológica, también denominada *Desarrollo*, tiene por finalidad la invención de artefactos o de procesos con el objeto de ofrecerlos al mercado y obtener un beneficio económico.

La investigación tecnológica es esencialmente experimental y de acuerdo con lo indicado anteriormente (3.2), puede quedar englobada en el Apartado 3.2.1. *Obtención de conocimientos particulares*, bajo los subapartados ⁽⁶⁾:

3.2.1.1. *Obtención de nuevos productos*

3.2.1.2. *Configuración de nuevos procesos*

3.2.1.3. *Obtención de nuevos artefactos*

Salvo excepciones, el desarrollo suele efectuarse en la empresa, requiriendo en algunos casos el concurso de la universidad, centros estatales o privados para llevar a buen término algunos aspectos de su investigación, que por sus características, generalmente de investigación aplicada, no se pueden desarrollar en la empresa, bien por falta de personal especializado o de los equipos necesarios. En algunos casos, la magnitud del proyecto es de tal envergadura que se requiere el concurso de varias empresas para su ejecución, aportando cada una aquellos elementos del conjunto, que por su especialización pueden resultar de superior eficacia y rentabilidad. En proyectos de gran envergadura, satélites de comunicaciones, estaciones orbitales, observatorios astronómicos, etc., varias naciones participan en estos proyectos, asignándose a cada una partes del mismo, según sus posibilidades técnicas y económicas.

En las tecnologías típicamente evolutivas, por ejemplo la textil, el desarrollo se logra: bien mediante modificaciones sucesivas de lo ya existente, aportadas estas por las nuevas tecnologías de nuevos materiales, la electrónica, la informática, la robótica, etc., o por nuevos desarrollos en el campo de la mecánica, u otras ciencias aplicadas, que han servido de base para idear nuevos procesos, que a su vez han originado nuevos tipos de productos. Un típico ejemplo del primer caso, lo tenemos en el perfeccionamiento de la máquina continua de la hilatura convencional de anillos, que ha ido incorporando nuevos materiales en los elementos que componen el sistema de estiraje y el anillo corredor, así como dispositivos electrónicos que permiten el anudado automático cuando se rompen los hilos; también se ha automatizado la mudada de las husadas y se ha dotado a la máquina de un sistema de control por ordenador. Con todo ello se ha aumentado considerablemente la producción por huso y la productividad del proceso, al requerir muy poca mano de obra. Por otra parte, dentro del mismo proceso de hilatura de fibras, han aparecido nuevos sistemas para obtener

los hilos, basados en nuevas concepciones para la formación del hilo, como por ejemplo el sistema *open end*, basado en la hilatura centrífuga que conduce una mecha de fibras dentro de un rotor que gira a gran velocidad y por su efecto centrífugo produce la formación del hilo; este sistema es de tipo aerodinámico y puede considerarse un desarrollo fundamentado en investigación científica aplicada. Produce un hilado de diferentes características que el obtenido con la continua de hilar, dando origen a un nuevo tipo de hilado.

En las nuevas tecnologías, el desarrollo suele apoyarse en la investigación aplicada, y en muchos casos requiere de la aportación de varias ramas especializadas de esta o de varias tecnologías, para poder llevarse a término. Así, por ejemplo, la obtención de una nueva fibra sintética, que comprende un proceso de polimerización, otro de obtención de la fibra y otro de manufactura de la fibra para la formación del hilo o del tejido, requiere de la aplicación de tres tipos de tecnologías, que a su vez pueden necesitar de tres investigaciones aplicadas diferentes. Casos análogos podríamos encontrar en el desarrollo de nuevos tipos de automóviles, aviones, productos farmacéuticos, etc.

El desarrollo comporta menos riesgo de error que la investigación aplicada y esta menos que la fundamental. El desarrollo requiere, por lo general, mayores inversiones para su realización y el coste interviene como factor importante en la decisión de llevarlo adelante. El factor tiempo en alcanzar sus objetivos es importante, ya que la prioridad en la presentación al mercado de sus productos es, muchas veces, determinante del éxito o del fracaso. Asimismo, la investigación tecnológica necesita de un conocimiento de las necesidades actuales o futuras del mercado, a fin de que sus productos o procesos sean aceptados por este.

Dado que la definición del objetivo de la investigación tecnológica debe de tener presente aspectos diferentes del meramente científico-técnico, tales como el productivo, el financiero y el comercial, se requiere el concurso de un comité pluridisciplinario, formado por personas de los diferentes ámbitos que intervienen, para el análisis de la posibilidad de llevarlo a término con éxito. Por lo general, en este comité suelen estar presentes las personas más idóneas, según el objetivo, de investigación, producción, finanzas y mercado.

El método empleado en la investigación tecnológica difiere poco del empleado en los otros tipos de investigación, si bien al ser distinta su finalidad, tanto el equipo empleado como la organización suele ser algo diferente, como veremos más adelante.

Peter F. Drucker en un escrito crítico sobre la investigación tecnológica ⁽⁷⁾, indica que existen algunas falsas creencias acerca de la misma, que por su interés resumimos a continuación, indicando lo que no debe hacerse, letra normal, y lo que debe hacerse, letra cursiva:

- a) Cuanto mayor sea el número de proyectos de investigación, mejores serán los resultados.
- a) *El número de proyectos debe ser menor que el número de investigadores.*

- b) Cuanto menos se exija a un investigador tanto más producirá.
- b) *Los investigadores producen tanto más, cuanto mayor sea la exigencia de obtener buenos resultados económicos para la empresa*
- c) Para mantener ocupados a los investigadores hay que solicitarle muchos formularios.
- c) *La investigación no la hacen los circuitos administrativos sino los hombres, y éstos con lo único que cuentan es con sus conocimientos y el tiempo, siempre escaso.*
- d) La investigación debe tener sus propios objetivos, científicos o técnicos.
- d) *El punto de partida de un programa de investigación deben ser las necesidades y los objetivos de la empresa. Algunas veces, los objetivos de la investigación modifican los objetivos de la empresa.*
- e) No hace falta que la dirección elija el programa de investigación. Puede limitarse a seguir lo que hacen las empresas líderes del sector, que seguramente saben lo que hacen.
- e) *En investigación, lo más seguro para no obtener resultados económicos consiste en ser el furgón de cola.*
- f) Hay que potenciar aquellos proyectos intermedios que pueden producir una moderada mejora de la rentabilidad y que exigen una cantidad moderada de recurso y de tiempo.
- f) *Son proyectos ni difíciles ni fáciles, incapaces de crear una nueva tecnología y no suelen ser rentables.*
- g) En investigación industrial no hay que hacer investigación preventiva, sino esperar a que el mercado desplace a los productos.
- g) *Es necesario animar a los investigadores a efectuar investigación preventiva, para tener a punto productos más innovadores, antes de que el mercado los reclame.*

3.4. La innovación tecnológica

Hemos indicado que la investigación tecnológica tiene como fin la obtención de nuevos productos, artefactos o procesos, para su utilización por la sociedad. Cuando uno de estos objetivos es presentado y aceptado por el mercado, alcanzando una plena realización práctica, industrial y comercial, se dice que se ha producido una «*innovación tecnológica*», que puede ser *total* cuando el producto o proceso es la primera vez que aparece en el mercado, o *interna o imitativa* cuando estando ya el producto o proceso en el mercado, pero no se encuentra en la oferta de determinada empresa, esta lo realiza y lo presenta en el mercado, generalmente ligeramente modificado, siendo aceptado por éste.

Si el producto o proceso no es aceptado por el mercado, se habrá producido una «*invención*» pero no una innovación.

La empresa puede abordar la innovación de varias maneras:

- *Mediante la investigación tecnológica.* Es la forma más eficaz de crear innovación, ya que le permite actuar libre de los condicionamientos que le imponen los otros caminos. Será este tipo el de nos ocupará en los capítulos sucesivos.
- *Mediante la adquisición del conocimiento («Know-how») de otras empresas o instituciones.* Es una forma rápida de poseerla y requiere siempre una adaptación ya que las condiciones del mercado en donde la empresa intenta introducirla pueden ser diferentes de aquél de la empresa vendedora. Por otra parte, la adquisición comporta inconvenientes: estar seguro de no adquirir tecnología desfasada, restricciones de implantación en otros mercados, cláusulas de dependencia técnica, limitaciones en el tiempo, pago de royalties, etc. No obstante, este sistema ha sido empleado por muchas empresas como primer peldaño para después desarrollar su propia innovación a través de su equipo de investigación.
- *Mediante una información eficaz de los conocimientos técnicos y desarrollos tecnológicos que se realizan en su área.* El disponer de un buen servicio de documentación es una condición necesaria para adquirir nuevas ideas que se pueden desarrollar, bien como investigación propia, bien para no adquirir tecnología obsoleta o para encontrar caminos de innovación no cubiertos por otras empresas.

En muchas empresas se complementa su innovación con la adquirida en otras empresas. Las investigaciones de D. G. Marquis ⁽⁸⁾, muestran que cerca de un 25% de la innovación de las empresas es adoptada y es criterio seguido por muchas grandes empresas (Du Pont) que sus oportunidades no deben ceñirse a sus propias investigaciones.

- *Mediante la previsión tecnológica.* Esta actividad, más que una manera de hacer la innovación, es una forma de prever con una determinada probabilidad la evolución y las consecuencias de una tecnología que cambia rápidamente. Se ha desarrollado principalmente en tecnologías de punta en los países avanzados, siendo Estados Unidos, Japón y Europa donde más se utiliza por las grandes empresas o por centros de investigación de tecnológica avanzada.

Para que una innovación pueda convertirse en realidad, debe cumplir con una serie de requisitos fundamentales. Entre los más importantes tenemos ⁽⁸⁾.

3.4.1. Satisfacer una necesidad manifestada o latente en el mercado

La innovación tiene como objetivo la prestación de un servicio nuevo al consumidor. Ello puede lograrse de diferentes formas ⁽⁹⁾:

3.4.1.1. Prestando un servicio nuevo

3.4.1.2. Prestando un servicio mejor

3.4.1.3. Prestando un servicio diferente al actual

3.4.2. Estar resuelta tecnológicamente

Es muy importante que cuando un producto o proceso se lance al mercado, debe estar bien resuelto desde el punto de vista técnico, debiendo preverse la dificultades en los primeros tiempos de la puesta en práctica de la innovación. En general, desde un punto de vista tecnológico, las innovaciones se producen por:

3.4.2.1. Por combinación de varias técnica de las cuales por lo menos una es nueva

3.4.2.2. Por combinar de manera original dos o más técnicas conocidas

3.4.3. Ser inofensiva para el medio ambiente

Esta característica es de gran importancia actualmente y lo será aún más en el futuro, de forma que los productos o procesos existentes que no respeten el medio ambiente, deberán ser sustituidos por otros que ejerzan las mismas o análogas funciones. La legislación será cada vez más exigente, debiendo buscar un equilibrio entre la calidad de vida y el avance científico-tecnológico.

3.4.4. Ser rentable desde el punto de vista financiero

Esta rentabilidad hay que comprenderla en un doble sentido. Por un lado, la empresa tiene que ofrecer productos o procesos que le permitan obtener un beneficio económico, necesarios para su supervivencia y expansión. De otro lado, el consumidor debe encontrar una «rentabilidad» en lo que adquiere, bien sea económica, liberadora de funciones molestas, o por que le permitan de gozar de mayor tiempo libre para dedicarlo a sus preferencias.

3.4.5. Otros aspectos de la innovación tecnológica

En otro orden de ideas, la innovación, tiene un ciclo de vida más o menos dilatado, dependiendo de sus características y que podemos resumir en: nacimiento, lanzamiento, madurez y declive o quizá obsolescencia. En ello, es diferente de la investigación, ya que en ésta, el conocimiento que produce permanece y puede ser mejorado, pero siempre es una fuente a la que se puede recurrir para su utilización o nuevos avances.

Por otra parte, las empresas empiezan aplicando todos sus recursos en la innovación de los productos. A medida que pasa el tiempo y la competencia entra con productos similares en el mercado, parte de los recursos se empiezan a dedicar a la innovación en procesos para reducir costes y finalmente todos los recursos se dedican a la innovación del proceso.

La innovación tecnológica es actualmente absolutamente necesaria para la supervivencia de las empresas y el mayor o menor éxito de su gestión contribuirá de forma decisiva a su expansión o declive.

Bibliografía

1. Frieder Meyer-Krahmer, *Research Policy*, n.º 21, pág. 423-436.
2. Mario Bunge, *Ciencia, técnica y desarrollo*. Cap. VIII, págs. 115-119, Edit. Sudamericana, Buenos Aires, 1997.
3. Mariano Artigas, *Filosofía de la ciencia experimental*, págs. 66-75. Edit. EUNSA, Pamplona, 1992.
4. Pierre Rousseau, *Histoire de la Science*, págs. 702-704. Edit. Fayard, 1945.
5. Manuel Lora-Tamayo, *Un clima para la Ciencia*, pág. 32. Edit. Gredos S. A., Madrid, 1969.
6. Peter F. Drucker, *Twelve fables of research management*, Harvard Business Review, enero-febrero, 1980.
7. Cegarra J., *Comunicación privada*, 1986.
8. Donall G. Marquis, *The Anatomy of Successful Innovations*, National Science Foundation, 1977.
9. Cámara de Comercio, Industria y Navegación de Barcelona, *Investigación e innovación tecnológica en la industria*, págs. 19-53, Barcelona 1971.

El investigador y sus características

4.1. El investigador y sus tipos

Denominamos investigador a la persona que tiene por función principal de su actividad, bien la búsqueda de nuevos conocimientos o nuevas formas de expresión, tanto en el campo científico como en el artístico. Además, se consideran también como tales, aquellos que se dedican a la creación de nuevos artefactos o procesos, o al mejoramiento de los ya existentes. Dentro de esta denominación y como consecuencia de la doble función docente e investigadora de todo profesor universitario, estos también son considerados como investigadores; en este caso, la investigación tiene, normalmente, un doble objetivo, la formación de nuevos investigadores y la búsqueda de nuevos conocimientos científicos o tecnológicos.

Aunque la búsqueda de nuevos conocimientos o la creación de artefactos es tan antigua como la misma humanidad, la aparición del investigador científico o tecnológico la podríamos situar en la época del Renacimiento, durante la cual figuras tan eminentes como Leonardo da Vinci se dedican, casi exclusivamente, a la búsqueda de nuevos conocimientos, bajo el patrocinio de los nobles o príncipes de su tiempo. Sin embargo, el que hoy conceptuaríamos como investigador similar al concepto actual, aunque más bien se conocen, por la trascendencia de sus descubrimientos como «sabios» o «genios», aparece en el siglo XVII con Galileo, Kepler, Newton, etc. En el siglo XVIII, el investigador y el profesor universitario van íntimamente unidos, apareciendo a finales del siglo XIX y sobre todo durante el XX, el investigador como profesión independiente de la docencia, como consecuencia de la importancia que adquiere su papel en el desarrollo científico e industrial de la sociedad. Actualmente, en los países industrializados entre el 25-35% de los titulados universitarios tienen su actividad principal en los diferentes campos de la investigación.

Si bien en sus inicios, siglos XVII-XIX y principios del XX era frecuente el investigador como persona solitaria, en la actualidad, salvo casos muy aislados

y minoritarios, los investigadores efectúan su labor agrupados en equipos de investigación, bien muy especializados en áreas muy concretas, o de tipo pluridisciplinar cuando el objetivo de la investigación requiere el concurso adecuado de diferentes áreas del conocimiento. El primer caso es bastante frecuente en los departamentos universitarios dedicados a la investigación científica, mientras que el segundo es más propio de departamentos universitarios tecnológicos o de la industria. En los grandes centros estatales o privados suelen encontrarse ambas modalidades.

El Prof. M. Lora-Tamayo en *Clima para la Ciencia* ⁽¹⁾, define la vocación científica como *«una actitud especial del intelecto ante los efectos, que no se limita a su conocimiento y aplicaciones, sino que inquiere las causas y con ello en los factores que pueden modificarlos. Es una vocación de categoría superior [...] No puede satisfacerse con trabajos dispersos: es algo íntimo, inserto en nuestro propio instinto, que se traduce en penetración, continuidad, esfuerzo regular ininterrumpido por el conocimiento de la verdad»*.

Esta vocación se manifiesta en determinados estadios de la formación académica, la cual puede estar ayudada por un entorno familiar o social propicio al conocimiento de la verdad de las cosas. Según M. Lora-Tamayo, el profesorado durante el bachillerato o en la universidad, tiene mucha influencia en despertar la vocación científica, haciendo atractiva la materia de su docencia e inculcando el interés por conocer las causas y los efectos que estas producen en las diferentes facetas del saber.

En la mayoría de los investigadores se aprecian características bastante similares, si bien con diferente grado de intensidad. Estos rasgos podríamos clasificarlos en tres tipos: pensamiento creador, pensamiento lógico y objetividad. Otras características también deben de tenerse en cuenta para trazar el perfil de un investigador. El conjunto de todo ello será tratado a continuación.

4.2. Pensamiento creador

En todo proceso investigador existe una etapa, la correspondiente *al planteamiento de una hipótesis*, que relaciona los hechos conocidos con el sistema a seguir para conocer si la hipótesis planteada es válida para darnos respuesta adecuada al objeto de la investigación. En esta fase del proceso es donde se manifiesta la *creatividad* del investigador. La creatividad puede considerarse como la facultad intelectual de las personas para proponer nuevas vías de solución para el avance del conocimiento, que no utiliza solamente el razonamiento lógico en la búsqueda de la solución al problema planteado. Es un proceso mental y aunque es probable que los factores hereditarios sean o no importantes, la realidad es que existen personas más aptas para ello que otras, tal vez debido a ligeras diferencias en la constitución física y/o química del cerebro.

En los últimos años, un considerable número de investigadores universitarios han investigado los variados aspectos de la creatividad, y entre ellos, el si

esta puede ser mejorada. Para ello, se han sugerido diferentes tipos de técnicas, aunque es evidente que personas que han recibido la enseñanza para utilizar dichas técnicas no han mejorado su creatividad, mientras que otras, Galileo, Newton, Kepler, Einstein, Edison y Linus Pauling, por citar algunos ejemplos, no las necesitaron para ser reconocidos como grandes creativos científicos.

4.2.1. Aptitudes creativas

J. P. Guilford de la University of Southern Carolina, al estudiar la creatividad ha planteado la hipótesis que en ella pueden estar incluidas siete habilidades distintas ⁽²⁾, tales como:

4.2.1.1. Sentir un problema que requiere una solución

Es tanto como hacer suyo el problema, lo que le obliga a proyectarse en él con el deseo de solucionarlo, utilizando su imaginación y conocimientos casi de manera vehemente y de forma intensa para buscar la solución. Podríamos decir que ello crea un estado de ansiedad hasta que se encuentra el camino adecuado y si ello no se logra después de varias tentativas, se acepta la imposibilidad momentánea de su resolución.

4.2.1.2. Fluencia elevada de ideas en corto periodo de tiempo

Es característico de este tipo de personas la capacidad que poseen de emitir ideas relativas al problema objeto de estudio. No se trata de ideas que no tengan nada que ver con el asunto tratado. Esta capacidad, implica que mientras se emite la idea, el pensador creativo no reflexiona sobre si las emitidas son adecuadas o no, pues el acto reflexivo le llevaría a su análisis y ello cortaría el flujo de las ideas que intenta emitir.

4.2.1.3. Flexibilidad mental

Son mentes abiertas que no se aferran a sus propias ideas, sino que son flexibles a los influjos externos, bien para adoptarlos o para analizarlos adecuadamente, con el fin de encontrar algún aspecto con que mejorar su conocimiento del problema o su solución.

4.2.1.4. Originalidad de ideas

Las ideas propuestas no corresponden, por lo general, a un patrón que podríamos llamar de deducción lógica acerca del problema planteado, sino

más bien están caracterizadas por todo lo contrario, por lo inesperado, producido, tal vez, del subconsciente creativo del individuo.

4.2.1.5. Capacidad de análisis

La mente analítica viene caracterizada por la capacidad de desglosar un problema, más o menos complejo, en sus partes más importantes, a fin de poderlo estudiar más fácilmente, para comprenderlo mejor. Esta capacidad es de indudable valor en el pensador creativo científico o tecnológico; no lo es tanto en el artista.

4.2.1.6. Capacidad de síntesis

En el campo de una investigación puede aparecer de una serie de datos dispersos e inconexos, que al principio dan la impresión de que no existe conexión entre ellos. La profundización en su significado y la unificación que se va produciendo durante el estudio, producen una síntesis coherente que constituye un pilar fundamental en el avance del conocimiento.

4.2.1.7. Habilidad para redefinir los problemas

El creativo está caracterizado, tal vez por su flexibilidad mental y por su capacidad de análisis y síntesis, por ser hábil en volver a definir el tipo de problema objeto de estudio, cuando este no ha sido expuesto con suficiente claridad. Esta característica es importante, ya que un problema bien definido es mucho más fácil de abordar y solucionar que cuando no lo está.

4.2.2. Rasgos del pensador creativo

Por otra parte, W. B. Pitkin y W. H. Easton ⁽³⁾ mediante un estudio efectuado, consideran como rasgos esenciales de un pensador creativo, los siguientes:

4.2.2.1. Entusiasmo

El investigador que no está identificado con su proyecto y no siente entusiasmo por su trabajo, difícilmente será creativo, ya que le falta el estímulo mental para ello. Se relaciona el estímulo mental con un «valor umbral» por debajo del cual el estímulo no se produce. Este valor umbral puede aumentar o disminuir con estímulos químicos o emocionales. Bajo condiciones de tensión limitadas, la adrenalina producida por las glándulas aumenta el flujo de los impulsos nerviosos y ello puede facilitar el proceso de generación de ideas.

El entusiasmo por su trabajo ha llevado a muchos investigadores a experimentar un indudable placer por sus descubrimientos. Williams Perkin lo experimentó al obtener en el laboratorio de su casa el primer colorante artificial, la mauveína. También se cita el entusiasmo con que Linus Pauling, en el California Tech., explicó su descubrimiento de la hélice de las proteínas. En general, el placer experimentado al finalizar un trabajo de investigación con éxito, compensa los momentos difíciles que se producen en toda investigación y genera un nuevo impulso para emprender nuevas tareas.

4.2.2.2. *Ambición*

La ambición como factor emocional para iniciar un trabajo, es importante tanto a corto como a largo plazo. A corto plazo crea lo que los psicólogos denominan «*estado de inquietud*» por el cual la persona se encuentra incómoda, expectante, hasta que toma la decisión de «hacer algo» para salir de esa situación. A largo plazo, la ambición consiste en un estado de integración en un objetivo a largo término, o sea, que permite una visión diferida del objetivo a cumplir, sin que por ello decaiga su interés.

4.2.2.3. *Perseverancia y paciencia*

El pensamiento creador no es tarea fácil, ya que se trata de pensar intensamente hacia un objetivo determinado; la idea no viene rápidamente, sino después de varias tentativas, que muchas veces tienen que interrumpirse para volver a empezar nuevamente.

La perseverancia es firmeza y constancia de ánimo en la ejecución de los propósitos. Ramón y Cajal en *Los tónicos de la voluntad* ⁽⁴⁾ al citar la perseverancia, la denomina «*polarización cerebral o atención crónica, esto es, la orientación permanente durante meses o años, de todas nuestras facultades hacia un objeto de estudio*». La paciencia, como virtud, consiste en sufrir sin perturbación del ánimo las dificultades y contrariedades. Aunque al principio no se obtenga el resultado deseado, no por eso debe de abandonarse el proceso, ya que mentalmente el investigador va construyendo, mediante las ideas sugeridas por la experimentación o la observación y su conocimiento sobre la materia, la base que con perseverancia le llevará a la solución esperada.

Varios son los ejemplos, más o menos notables, que nos brinda la Historia de la Ciencia ⁽⁵⁾. Ejemplo de estas cualidades fue el mostrado por Pirre y Marie Curie al tratar varias toneladas de pecblenda que hicieron venir de Bohemia, para obtener, mediante purificaciones sucesivas y con medios poco seguros, exiguas cantidades de *polonio* y *radio*, este último millones de veces más activo que el uranio. Su descubrimiento fue presentado en l'Académie el 26 de diciembre de 1898. Marie Curie, mujer de gran perseverancia y después de la muerte de su marido, en 1910, obtuvo un g de radio puro, mediante el trata-

miento de 10 tm de pecblenda. Ello le valió su ingreso en l'Academie y, caso excepcional, el segundo Premio Nobel de su vida. Otro caso ejemplar fue el de Fritz Haber en la obtención de la síntesis del amoníaco, quien tras construir un autoclave para operar a grandes presiones y después de varios fracasos, consiguió encontrar los catalizadores y condiciones adecuadas, para que más tarde, Karl Bosch desarrollara su implantación industrial. En investigaciones menos importantes, también se encuentran situaciones de ese tipo, bastante frecuentes en doctorandos o investigadores jóvenes, en cuyo caso el director del equipo debe de actuar como sostenedor del ánimo para seguir adelante.

4.2.2.4. *Energía*

Dado que el esfuerzo requerido por el pensamiento creador es intenso, se necesita un cierto tono de energía que soporte la fatiga que se genera. Por ello, aunque no es necesaria una gran fortaleza física, sí es conveniente el compensar el esfuerzo intelectual con algún tipo de ejercicio físico que permita el recomponer el desequilibrio que generaría un continuado e intenso trabajo intelectual. Es más, cuando se llega a un estado de agotamiento, las ideas no fluyen y es necesario efectuar una pausa para descansar, ya que la idea se presenta, por lo general, cuando después de haber efectuado un trabajo intelectual intenso, la persona se encuentra en un estado relajado.

4.2.2.5. *Conocimiento de la/s materia/s*

Raramente aparecen nuevas ideas en áreas del conocimiento en las que no se tiene formación y experiencia. Debido a ello, es de gran importancia el almacenamiento de la información en materias que tengan alguna relación con el área y el objetivo de la investigación, ya que el pensamiento creador consiste, muchas veces, en asociaciones de dos o más entes del conocimiento adquirido, mediante el estudio, la observación o la experiencia.

Por ello, la memoria conceptual que se organiza por conexión entre ideas y hechos estableciendo deducciones lógicas, es un útil muy importante para el investigador. Se memoriza más fácilmente cuanto más se sabe del tema; no se trata de retener frases o datos, sino ideas y hechos conceptuales relacionados con el campo u objeto de la investigación y en el momento adecuado. Un profesor de Bachillerato, cuando ante una pregunta suya, el alumno le decía «*lo sé, pero no lo recuerdo*», él le respondía que «*el saber es recordar a tiempo*». La recuperación de un determinado conocimiento, que sabemos que poseemos, en un momento determinado, es un proceso mental muy complejo; algunas veces se obtiene por un esfuerzo de concentración mental, pero en otros casos, se produce por un estímulo fortuito o espontáneamente cuando ya no pensamos en ello, pero no hemos perdido el interés por su recuperación.

Dada la gran cantidad de publicaciones existentes, es necesario que el investigador sepa establecer una especie de filtro para su información, sintetizando lo interesante y rechazando y olvidando el resto.

La memoria de *procedimiento* nos recuerda la manera de hacer las cosas. Se afianza con la práctica repetitiva y aunque no es tan importante para el investigador, lo puede ser para los ayudantes de investigación que necesitan efectuar operaciones experimentales de tiempo en tiempo, con precisión.

B. E. Noltingk indica que el conocimiento científico de materias de un investigador puede representarse mediante el denominado «*perfil de conocimiento*» ⁽⁶⁾. Su representación en un sistema de coordenadas, consiste, aproximadamente, en situar en la abscisa X las materias de su competencia y en la ordenada Y la intensidad de conocimiento de cada una de las materias (Figura 4.1). Al finalizar los estudios, un graduado puede tener un perfil más o menos ondulado (Figura 4.1.S) ⁽⁶⁾, pero al especializarse, la intensidad de su conocimiento se hace más pronunciada en un área determinada (Figura 4.1.G) ⁽⁶⁾.

En muchos investigadores, la tendencia es a mantenerse en el área de su tema original, lo cual tiene ventajas e inconvenientes. En el área elegida tienden a extender su conocimiento en determinadas parcelas, primero R_1 , después R_2 y tal vez, más tarde a R_3 , tal como se indica en la Figura 4.2 ⁽⁶⁾.

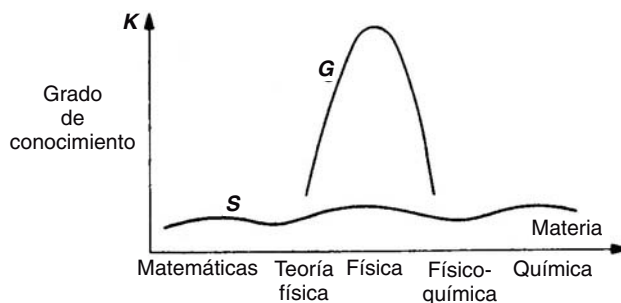


Figura 4.1. Curva de conocimiento.

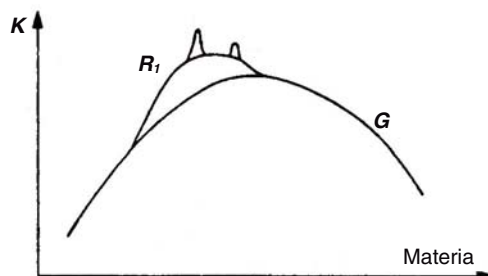


Figura 4.2. Curva de conocimiento especializada.

Es necesario para el investigador el conocer profundamente la ciencia básica correspondiente al tema de su trabajo, así como las tecnologías de su área, en los casos de investigación técnica. Por otra parte, también debe dominar las técnicas operatorias que usualmente se emplean en su especialidad.

Desde un punto de vista creativo, es conveniente que el investigador conozca más de un área de conocimiento, ya que ello le ayudará a la combinación de conocimientos para la generación de nuevas ideas.

4.2.2.6. *Imaginación creativa*

La imaginación creativa está considerada como uno de los elementos esenciales de los pensadores creativos. Existe una sola manera de utilizarla, aunque los campos de actividad sean diferentes. Ello explica el por qué Leonardo da Vinci alcanzó notoriedad en campos tan diferentes como la pintura, arquitectura, escultura, ingeniería civil y militar, inventor de numerosos artefactos, etc. Aunque la imaginación creativa se da más en unas personas que en otras, existen métodos para mejorarla, tanto a nivel personal como de grupo, lo cual será tratado en el Capítulo 8.

Hay que señalar que el pensador creativo *«no genera nuevas ideas, sino más bien nuevas combinaciones de ideas que ya estaban en su mente»*. Algunos psico-cibernéticos comparan el modo de operar del pensamiento creativo a una computadora grande y compleja, cuyas secuencias y multiplicidad de actuación hace que sus resultados parezcan menos comprensibles y se consideren como casi mágicos.

El pensamiento creativo, aunque menos bien comprendido, utiliza tres tipos de procesos bien definidos. Easton ⁽³⁾ clasifica y describe estos procesos tal como se indica a continuación:

- *Imaginación*, es el poder que permite al pensador tejer ideas en nuevas combinaciones que él efectúa pensando deliberadamente. Usualmente, ello se logra con ideas que se recuerdan fácilmente.
- *Iluminación*, se produce por pensar de forma intensa y deliberada para formar nuevas combinaciones de ideas, después que ha cesado la acción pensante y se mantiene el interés por la resolución del problema.
- *Inspiración*, es el resultado de un estímulo accidental. Tiene lugar, cuando se observan objetos o circunstancias que dan origen de forma súbita a una nueva idea que automáticamente se combina con otra antigua.

Estos tres procesos serán tratados más a fondo en el Capítulo 8.

La influencia que la edad del investigador tiene en su creatividad ha sido y es objeto de opiniones y análisis contradictorios. Al dicho *«demasiado viejo a los cuarenta»* que se utiliza para indicar que a partir de dicha edad la creatividad disminuye, se opone el hecho de que grandes científicos, Galileo, Pasteur,

Ruzicka, Edison, etc., efectuaron importantes descubrimientos a los 60-70 años. Estudios sociológicos efectuados por Pelz y Andrews en 1966, sobre el rendimiento de los científicos de tipo normal encontraron la existencia de dos periodos de creatividad; uno entre los años 40-45 y otro 10-15 años más tarde. Es evidente que con la edad se pierde flexibilidad mental, valentía en los planteamientos y capacidad de innovación. Por el contrario, con la madurez se gana en experiencia, conocimiento profundo de un área científica o tecnológica y una mayor capacidad de análisis y de síntesis, lo cual lleva a una mayor aptitud para determinados trabajos de cierta complejidad en donde estas cualidades son importantes para el éxito de la investigación. Es opinión bastante generalizada que la falta de creatividad se debe a la falta de entusiasmo por el trabajo que se realiza, bien porque el tema se considere agotado y no se tenga la ambición suficiente para intentar adentrarse en nuevas áreas, o porque se persista en la rutina de un conocimiento en donde se encuentra seguro y no se quiere correr el riesgo de un fracaso.

4.3. Pensamiento no creativo o lógico

El proceso mental conocido como pensamiento *no creativo* está fundamentado en el comportamiento lógico del ser humano. Descartes en su obra *Discurso del método* indicaba que la «imaginación era enemiga del procedimiento científico, el cual sólo debía dejarse guiar por la lógica»; esta opinión era compartida por muchos investigadores hasta principios del siglo xx. Sin embargo, tal como hemos indicado y la experiencia ha demostrado, la imaginación es un proceso mental importante para el descubrimiento científico o tecnológico, lo cual ha llevado a decir que «*Freu ha matado a Descartes*», extremo que tampoco es cierto, ya que el investigador necesita de ambos tipos, si bien para determinados tipos de investigación, el pensamiento creativo es más importante que el lógico.

El proceso mental no creativo o lógico, comprende:

- La observación.
- La reflexión.
- La memorización.
- El razonamiento.
- El juicio crítico.

Permite la compilación de los hechos, el obtener conclusiones relativas al significado del material obtenido y juzgar la validez de esas conclusiones. Todos estos procesos constituyen el fundamento sobre el que se puede edificar el pensamiento no creativo e intervienen en determinadas etapas del método científico, tal como veremos más adelante.

4.3.1. Observación

Es el proceso mental que nos permite discernir las características diferenciales de las cosas, situaciones, comportamientos, objeto de nuestra atención. Es una facultad importante para el investigador de las ciencias naturales y sociales. La observación es algo más que «mirar» y requiere una concentración sobre y en lo que se observa, a fin de poder discernir entre lo importante y lo accesorio. La investigación en biología mediante la utilización del microscopio y la observación de la diferente coloración de los elementos existentes en una preparación, ha sido y es fundamental para el conocimiento y avance de esta rama de la ciencia. Análogos casos se presentan en botánica, en medicina, en psicología, en astronomía y en otras ciencias. ¡Cuántos avances científicos han sido producto de una acertada observación por eminentes hombres de ciencia! La neurología por Santiago Ramón y Cajal, la radiactividad por Becquerel, la evolución de las especies por Darwin, etc. En un orden menos espectacular, hemos podido comprobar cómo por la observación de lo que sucedía en una síntesis de productos colorantes, se pudo resolver un nuevo proceso mejorado para la obtención del carbazol.

4.3.2. Reflexión

Significa la actitud pensante que adoptamos como consecuencia de la observación y nos permite establecer un criterio de si el objeto de nuestra observación posee entidad suficiente para considerarlo o no adaptado, dentro del conjunto del sistema que observamos. No se trata, en primera instancia, de establecer un juicio de valor, sino de establecer una primera aproximación de la validez de nuestra observación. Durante la reflexión procuramos establecer comparaciones con lo que almacenamos en nuestra memoria, recuerdos, imágenes, etc., que esté en una cierta relación con el ente observado. Yo diría que en la reflexión adoptamos una cierta actitud analítica que plantea diferentes disyuntivas acerca del objeto observado. Tal vez, en su primera etapa nos preguntemos ¿qué puede ser esto?, para después ir planteando diferentes posibilidades, para en su etapa final seleccionar las más probables. Fue este proceso el que llevó a Henri Becquerel a preguntarse ¿qué podía producir la impresión por la fluorescencia de una placa fotográfica aislada de la luz? *Bien, exclamó Becquerel, ¿no es la luz la que excita la placa? ¿Qué es este nuevo misterio?* Después de varias experiencias, el 2 de marzo pudo comunicar a l'Académie sus resultados, que le llevaron al descubrimiento de la radioactividad.

4.3.3. Memorización

Es un acto consciente o inconsciente mediante el cual fijamos en nuestro cerebro la imagen, el hecho, el conocimiento en suma, de algo que hemos aprendido. En general, las personas memorizamos mejor aquello por lo que

sentimos un determinado interés, bien sea un episodio, un concepto, un procedimiento, etc. Memorizamos mejor cuando ponemos una atención relajada y repetitiva, y procuramos fijar en forma de imagen lo que deseamos aprender; de otra parte, cuantos más recuerdos tenemos de algo en concreto, mejor recuperamos el conocimiento. Por ello, el investigador centrado en un estudio suele recordar bien todo lo relacionado con su área de trabajo y olvidar aquellas otras circunstancias que le rodean, pero que no tienen para él un interés especial. Ello ha llevado a acuñar la imagen del «sabio distraído», persona que absorbe en su mundo interior, no se da mucha cuenta de lo otro que sucede a su alrededor. La memoria es una facultad muy importante para el científico y debe cultivarse intensamente mediante la observación, lectura y estudio repetitivos, que para mayor eficacia deben ir asociados a imágenes mentales que faciliten su recuperación.

4.3.4. Razonamiento

Es el acto cumbre del ser humano, que lo diferencia de los otros seres vivos. Mediante él podemos establecer argumentos válidos de forma sistemática y coherente, que confirmen nuestra forma de pensar sobre el tema objeto de discusión. Una forma de razonar adecuada es imprescindible para la buena comunicación científica, y para el trabajo del investigador que en todo momento debe de hacer uso de buenos argumentos, pero muy especialmente durante la elección del objetivo de la investigación, en el planteamiento de las hipótesis de trabajo y en la discusión de los resultados. El razonamiento debe de plantearse sin prisas, con el ánimo sereno y debe estar presidido por la objetividad, aún en el caso de que lleve a conclusiones erróneas.

4.3.5. Juicio crítico

Es la facultad que nos permite discernir lo verdadero de lo falso. Si esta facultad es importante en todo tipo de relación humana, para el investigador es de suma importancia, ya que su objetivo final es la búsqueda de la verdad científica. En algunos casos, el juicio crítico ha llevado a conclusiones erróneas, que posteriormente han sido rectificadas por los mismos que lo emitieron o por otros científicos. Pasteur, hombre de ciencia eminente y que tantos descubrimientos efectuó, tenía un concepto de la fermentación, a través del juicio formado de sus experiencias, como un proceso determinado por un ser vivo, la levadura, atribuyendo a la energía vital de esta la fermentación alcohólica de los azúcares, lo cual no era cierto, ya que la destrucción de la levadura no impide la fermentación. Esta se produce por la acción de los enzimas o fermentos que catalizan el proceso biológico pero que actúan con independencia de todo proceso vital.

Se ha dicho que «el investigador debe ser un ateo de su parcela», o «dudar como Santo Tomás», indicando con ello que no debe creerse todo cuanto ante-

riormente se ha dicho acerca del objeto de su investigación. Debe de asumir una actitud crítica en relación a la información bibliográfica o a las sugerencias de sus colegas, pensando que lo indicado en la bibliografía puede contener «medias verdades»; especialmente se debe extremar esta actitud al aceptar las conclusiones de la información que se posee, a no ser que exista una reconfirmación indicada en otras fuentes informativas. Esta facultad, que se adquiere con la experiencia, es importante en la etapa de información previa a todo proyecto de investigación, durante la experimentación y en la discusión de los resultados obtenidos, a fin de no dejarse guiar por ideas preconcebidas, sino por la objetividad.

4.4. Objetividad

Esta característica nos permite conocer lo que es perteneciente o relativo al objeto en sí y no a nuestro modo de pensar o sentir. Ser objetivo es indispensable para poder juzgar adecuadamente los resultados de la investigación y su discusión, sin dejarnos llevar por lo que esperábamos o deseábamos obtener, ya que ello nos llevaría a falsear el resultado de la investigación, apartándonos del camino para conseguir el verdadero conocimiento. Al mismo tiempo, ello implica un comportamiento poco ético para con uno mismo y para con los demás. La tentación de forzar las cosas para que salgan como deseábamos, es a veces fuerte pero debe desecharse. En algunos casos, un resultado inesperado ha sido fuente de nuevas investigaciones o descubrimientos.

En algunas investigaciones suelen aparecer uno o dos resultados de las experiencias que se salen de la tónica general. En estos casos, se puede, o bien repetir las experiencias en donde se han producido estos valores, para confirmarlos o desecharlos, o bien, si ello no es posible, no tenerlos en cuenta en el conjunto de la interpretación, señalando, eso sí, la exclusión efectuada.

4.5. Otras cualidades

Además de lo indicado anteriormente, también se consideran cualidades del investigador, las siguientes:

4.5.1. Capacidad ordenadora jerarquizada

En general, y sobre todo en los problemas complejos, el investigador debe tener o desarrollar el pensar ordenadamente, estableciendo una escala de valores entre los diferentes aspectos o parámetros que intervienen en el problema a analizar, a fin de conocer cuáles son importantes o fundamentales y cuáles son

subordinados, con la finalidad de poder proceder a su estudio, para establecer analogías en sus propiedades o efectos.

Un ejemplo paradigmático sobre esta forma de proceder en la ciencia, nos lo ofrece el establecimiento de la *Tabla Periódica de los Elementos*, presentada por Dimitri Ivanovitch Mendeleief en 1869 a la Sociedad Rusa de Química. En aquella época se conocían sesenta y tres cuerpos simples, que se habían ensayado de clasificar de manera lógica y que Berzélius, después de mucho tiempo, los había clasificado en metaloides y metales, clasificación que no satisfacía a los químicos. En 1869, Mendeleief tuvo la idea de «*Que tal vez las propiedades físicas y químicas de los cuerpos son función de su peso atómico*». Sobre una hoja de papel, dividida en cuadros por líneas horizontales y verticales, él colocó ordenadamente los sesenta y tres cuerpos conocidos por orden de su peso atómico creciente, desde el más ligero, el hidrógeno, hasta el más pesado, el uranio, repartiéndolos en seis líneas de forma irregular. La primera contenía 8 elementos, la quinta 32 y la sexta 6, de forma que colocó en una misma columna, unos debajo de otros, los cuerpos de propiedades muy próximas, por ejemplo, litio, sodio y potasio, o flúor, cloro, bromo e iodo, demostrando de esta forma que las propiedades de los cuerpos dependían de su peso atómico.

El trabajo fue acogido fríamente por los miembros de la Academia Rusa de Química, como otras veces ha sucedido con otros descubrimientos. De las 92 celdas de la Tabla, 29 estaban vacías, pero Mendeleief indicó que «*esos casos correspondían a elementos que no se habían descubierto todavía*». El éxito se presentó más tarde cuando en 1875 se descubrió el galio, en 1879 el escandio, en 1887 el germanio y en 1894 el helio y el argón. Basado en la Tabla, Ramsay predijo la existencia del neón, kriptón y xenón, que fueron descubiertos posteriormente y cuyas propiedades ya estaban descritas con anterioridad, de acuerdo con lo indicado en la Tabla ⁽⁷⁾.

4.5.2. Conocimiento de idiomas

Dada la globalización del conocimiento y las numerosas publicaciones que actualmente existen en todas las áreas científicas y tecnológicas, así como la rapidez en el avance de la ciencia y la tecnología, el investigador necesita dominar el idioma en el que se publican mayoritariamente los trabajos de su área de conocimiento. Este dominio debe ser tanto en la expresión oral, necesaria para la presentación de los trabajos en congresos, seminarios, etcétera, como en la escritura, tanto para la redacción de los trabajos como para su perfecta interpretación de lo que se publica. Actualmente, las posibilidades para aprender idiomas son numerosas y no se deben desaprovechar las estancias en centros extranjeros en largos periodos para tener un completo dominio del idioma. El inglés se ha impuesto como lengua en la que la mayoría de los científicos y técnicos se entienden, pero en determina-

das parcelas de la ciencia y la tecnología, por ejemplo la química, el conocimiento del alemán es necesario.

4.5.3. Conocimiento de las técnicas de documentación

La existencia de gran número de revistas especializadas en cada parcela del conocimiento, como consecuencia de las publicaciones efectuadas por los investigadores, supone para el investigador una tarea ardua y a veces difícil el seleccionar aquellos trabajos que tengan más interés para su investigación. Por ello, es necesario el conocer cuáles son los diferentes tipos de información que existen y la forma de acceder a ellos, así como los criterios que deben emplearse para una adecuada selección. A pesar de ello, cada investigador debe encontrar su sistema, con arreglo a sus necesidades y criterio personal. En su lugar oportuno, indicaremos cuáles son los diferentes aspectos a tener en cuenta, como una posible guía para los no iniciados.

4.5.4. Comunicación

La facultad de comunicarse con otros investigadores y con el personal ayudante, es importante para obtener un buen clima de trabajo y un buen rendimiento de la investigación. Con respeto a sus superiores, la comunicación es necesaria para orientar bien sus estudios, comentándolos y exponiendo aquellos puntos sobre los que tenga dudas en su enfoque; con ello no queremos indicar que sea conveniente el no tener iniciativas propias, aunque sean equivocadas, pues del error también se aprende. En relación con sus colegas, debe de existir una buena comunicación para recabar sus opiniones, a veces sobre técnicas operacionales, en aspectos que aunque parezcan ajenos a sus campos de trabajo, pueden ser de buena ayuda, sobre todo en el investigador principiante, para llevar a buen fin la investigación. Aun conservando un nivel adecuado de disciplina en el trabajo, la comunicación con sus ayudantes es importante para que estos puedan tener libertad de acceso, tanto en lo referente a las dudas que puedan surgir en el transcurso de la forma de llevar a cabo las experiencias como en exponer las anomalías observadas durante estas.

4.6. Aspectos éticos del investigador

Son diferentes los aspectos que desde un punto de vista ético debe de tener en cuenta el investigador. De algunos de ellos, ya tratamos en la parte correspondiente de los Capítulos 1 (1.5) y 2 (2.3), en los que se recogía de forma general, cuáles han sido y son los aspectos éticos que plantea la ciencia y la tecnología y por ello, no insistiremos, y nos limitaremos aquí a considerar

aquellos otros aspectos relacionados el plan de trabajo del investigador y de las relaciones entre estos.

4.6.1. Honestidad

Forma parte de los atributos que deben poseer los investigadores, tanto en relación a su plan de trabajo como a sus relaciones con los demás.

En relación a su plan de trabajo, la honestidad es necesaria para preservar la verdad del conocimiento científico, sin la cual la ciencia y la tecnología tendrían pocas posibilidades de sobrevivir. El investigador debe ser fundamentalmente objetivo en la valoración de los resultados de su trabajo. Por ello, debe de eliminar todo subjetivismo en su valoración, a pesar de que los resultados obtenidos vayan en contra de lo que hubiese deseado obtener, según la hipótesis de trabajo establecida; en caso contrario, tanto él como su trabajo quedan completamente desnaturalizados. El Prof. Lora-Tamayo⁽¹⁾, (pág. 71) indica a este respecto que *«El prejuicio obsesionante en la investigación histórica, o la acomodación tergiversada de unos resultados preparativos o numéricos en la investigación científica son igualmente graves y de trascendencia perfectamente comparable»*.

En los resultados de algunas experiencias se suelen encontrar valores que pueden evaluarse de manera diferente, según el error tolerado en aquel caso. Cuando esto suceda, se debe ser extremadamente riguroso en la interpretación, exponiendo las razones que hacen prevalecer la conclusión adoptada, pero nunca aceptar sin más aquella interpretación que era la más esperada. La repetición de algunas experiencias de resultado dudoso puede ser aconsejable o necesaria para una mayor clarificación.

En relación a un comportamiento honesto con las personas, si bien es más difícil de concretar que los resultados de una experiencia, siempre debe prevalecer el criterio de «dar a cada uno lo que le corresponde». A veces, se presentan situaciones en donde la idea del trabajo o determinados aspectos del mismo que son importantes, suscitan recelos acerca de su paternidad que pueden dar lugar a apropiaciones indebidas en relación a los mismos. En estos casos, hay que analizar con objetividad y desapasionadamente los hechos para esclarecer la verdad. He conocido casos, donde el lugar que corresponde a un nombre en una publicación ha generado desavenencias entre el equipo de colaboradores del trabajo. Por otra parte, la apropiación de ideas de los demás para favorecer la posición personal es, por desgracia, un hecho frecuente en algunas instituciones que han establecido recientemente un sistema de competitividad, a mi modo de ver, excesiva. De todas maneras, la honestidad es una cualidad muy apreciada, tanto por los investigadores principiantes como por los colegas y todo el personal del equipo. También el reconocimiento sincero de los méritos de los otros es una cualidad muy apreciada, que además abre camino para una buena relación personal y a un buen ambiente de trabajo.

4.6.2. Admisión del error

Una manifestación de la honestidad del investigador es su disposición a admitir sus errores, bien porque él se dé cuenta de ellos o porque en la discusión con otros colegas, estos demuestren que los resultados obtenidos o su interpretación no es la adecuada. Un ejemplo aleccionador de ello, fue el dado por el mago de la síntesis orgánica Woodward, Premio Nobel ⁽¹⁾, (pág. 39). Entre sus trabajos, se conocía que se dedicaba a la síntesis de la clorofila, el pigmento verde de los vegetales, porque creía que su estructura no correspondía a la generalmente admitida, que había sido propuesta por Fisher. Al comunicar a la American Chemical Society el resultado de sus investigaciones acerca de la síntesis total del pigmento, propuso una estructura coincidente con la que ya se conocía. Posteriormente, indicó como poco probable la estructura que se le tenía reconocida. Un nuevo plan de trabajo, demostró los errores que se habían cometido en el primer planteamiento, y con ello el verdadero camino de la síntesis y estructura de un compuesto tan importante.

4.6.3. Lealtad

La lealtad hacia los miembros del grupo y hacia la institución o compañía para la cual investiga, es condición esencial para el investigador. En ambos casos, debe tener presente que la confiabilidad de la investigación hasta su publicación o finalización es condición necesaria para la prosperidad del grupo o la institución, por lo que no hay que dar a conocer aquello que pueda afectar, por su divulgación, a los intereses globales de la comunidad para la que investiga. Aunque el principio es válido para todo tipo de investigación, adquiere más relevancia para investigaciones de las cuales depende el porvenir de la empresa o que puedan afectar a la seguridad nacional. Ello obliga, en muchos casos, ha establecer cláusulas contractuales entre la empresa o institución y el investigador, de forma que si por alguna circunstancia este deja su puesto, debe permanecer durante un cierto periodo de tiempo sin trabajar en ocupaciones similares a la abandonada.

4.6.4. Humildad

Por la naturaleza de su trabajo, la búsqueda de la verdad, tan difícil de alcanzar muchas veces, el investigador debería de ser humilde, lo cual además es una medida de su talla moral e intelectual. Ello no significa que personalmente no deba reconocer la importancia del trabajo que desarrolla y el estar orgulloso de ello, o que no deba aceptar los honores que la comunidad científica y la sociedad le otorga como merecido reconocimiento a la labor efectuada, pues estos sirven de estímulo para otros científicos. Sin embargo, ello no siempre es así, dándose casos en donde la modestia ha estado ausente, como en Crick, uno de los descubridores de ADN, o el carácter retador que poseía Pasteur que tantos disgustos y perjuicios le acarreó.

4.7. El grupo investigador

El investigador aislado, que tanto abundaba en el siglo XIX y a principios del XX, no tiene hoy razón de ser y por consiguiente es raro encontrarlo. Varias causas lo han motivado: la mayor complejidad del conocimiento conforme se profundiza en sus aspectos científicos o tecnológicos, el mayor coste de los equipos de investigación, la creación de centros o instituciones de investigación, la investigación en la industria, etc. Ello justifica el que nos detengamos en citar las características más importantes que presentan la agrupación de varios investigadores, teniendo presente lo que hemos indicado anteriormente acerca del investigador, para evitar la reiteración. Varios aspectos merecen nuestra consideración.

4.7.1. El perfil de conocimientos del grupo

Los grupos de investigadores pueden ser homogéneos, para intensificar en una parcela del conocimiento, o heterogéneos cuando el proyecto de investigación requiere el conocimiento de varias áreas del saber. El primer caso lo encontramos, por lo general, en la investigación básica, por ejemplo, varios científicos investigando en virología, en catálisis, en complejos órgano-metálicos, etc.; estos grupos suelen encontrarse en los departamentos universitarios, institutos de investigación, o centros de alta especialización. El segundo grupo es más usual en el campo de la investigación básica orientada y en la tecnológica, en donde para investigar un nuevo fenómeno, producto o proceso, se requiere el concurso de varios especialistas. Por ejemplo, J. Massagué ⁽⁸⁾ indica que en investigación biomédica para desarrollar nuevos fármacos contra el cáncer se requiere el concurso del biólogo molecular para identificar las mutaciones, el biólogo molecular para investigar el comportamiento anómalo de la célula, el bioquímico que trata de conocer los mecanismos alterados por la mutación, el patólogo que determina la incidencia de la mutación en el enfermo, el biofísico que determina la estructura atómica de la molécula que es necesario atacar, el químico farmacéutico y el biotecnólogo que desarrollan el fármaco y el oncólogo clínico que evalúa la efectividad del nuevo fármaco en el enfermo. El asegurar la coordinación entre todos estos efectivos es uno de los aspectos más críticos de la investigación en biomedicina.

En otro caso, por ejemplo, un programa de investigación en ultrasonidos, necesitará de un físico especializado en acústica, un ingeniero electromecánico para la construcción de aparato, un especialista en materiales y un matemático para la resolución de complejos problemas teóricos. El número, cualificación, especialidad y experiencia del equipo de investigación, dependerá de la amplitud y complejidad del proyecto.

Noltingk ⁽⁹⁾ expone cómo el conocimiento del grupo de investigación puede construirse. Los diferentes miembros deberán tener curvas de conocimientos tales como A, B, C, en la Figura 4.3. Cuando al principio se forma el grupo, el

jefe (curva L) tal vez posea un grado de conocimiento en el conjunto, superior al de los investigadores principiantes (curva G), pero se debe indicar que cada investigador debe alcanzar un grado de conocimiento, dentro de su área, superior al del jefe del grupo, si bien este abarcará una mayor amplitud.

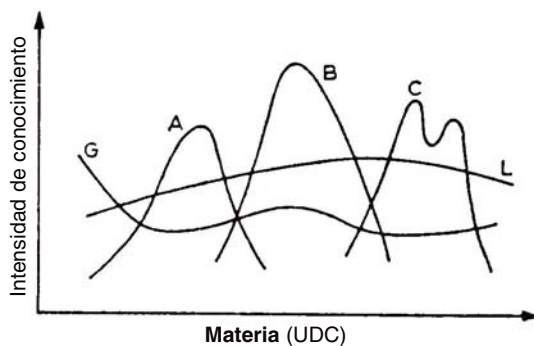


Figura 4.3. Curva de conocimiento del grupo.

Conforme avanza la investigación, las curvas de conocimiento aumentan en intensidad, lo que indica una dinámica en el saber, que debe darse en todos los miembros del grupo, o al menos a aquellos que son decisivos en alcanzar el objetivo propuesto. De otra parte, es de desear que la base de cada curva se ensanche, pues de esta forma es más fácil intercomunicarse los investigadores que trabajan en campos próximos, por ejemplo A y B.

4.7.2. Aptitudes del jefe de grupo

Habiéndonos referido anteriormente a las cualidades y características del investigador, (4.3, 4.4, 4.5, 4.6), es necesario indicar aquellas que son consideradas como propias del jefe del grupo, para que este funcione de la mejor manera posible.

El jefe excelente de grupo (*leader*), debe poseer unas características especiales que han sido evaluadas a través de una encuesta de 4.000 entrevistas, por Kouzes y Posner ⁽¹⁰⁾. Entre las más sobresalientes y apreciadas por sus colaboradores destacan: *honestidad, competencia, visión de futuro e inspiración*.

A través de las entrevistas, han descubierto las cinco prácticas fundamentales que siguen para alcanzar el éxito:

Desafiadores. Buscan nuevas oportunidades y utilizan el pensamiento crítico para resolver los problemas. Este es curioso y flexible, duda de las verdades universales y explora las alternativas abiertamente.

Visión de futuro. Poseen una buena capacidad para prever el futuro y empujar a sus colaboradores para alcanzarlo.

Empujan a los otros a actuar. Promueven la colaboración y cohesionan el grupo, empujando a los colaboradores a pensar y actuar por ellos mismos.

Modelan el camino. Son constantes con su visión personal del grupo, trazando las líneas generales de acción.

Reconocen las aptitudes. El buen jefe de grupo reconoce abiertamente las contribuciones individuales y del grupo, alentando a sus colaboradores en los tiempos difíciles.

4.7.3. Formación y problemas del grupo de investigación

En la formación de un grupo de investigación se encuentran los mismos problemas que los que aparecen en la formación de grupos destinados a cualquier tipo de actividad, con las diferenciaciones propias que imprimen la actividad investigadora, en cualquiera de sus modalidades. Por ello, sólo nos referiremos aquí a ciertos aspectos diferenciativos que pueden distinguirla de otros grupos, centrando nuestra atención, sólo en los aspectos que se refieren al personal investigador.

Los aspectos que vamos a considerar son:

4.7.3.1. Selección del personal

La forma de llevarla a cabo es diferente según se trate de departamentos o institutos universitarios o de la empresa.

En los primeros, la selección de los investigadores se realiza, siempre que existan plazas disponibles, a través de las aptitudes demostradas durante el periodo de postgrado para la obtención de la tesis doctoral, teniendo en cuenta, no solamente sus conocimientos y capacidad intelectual, sino también sus aptitudes para trabajar en equipo y en la docencia. Dado las facilidades actualmente existentes, mediante los convenios entre universidades, los doctorandos pueden efectuar su tesis en otra universidad, preferiblemente extranjera, para conocer bien otro idioma.

En la empresa, una vez definida la política innovadora de esta y la necesidad de que el equipo de investigación sea considerado como un elemento más de la misma y definido el perfil general del equipo, se procede a una selección del personal que lo ha de integrar. En una primera aproximación, se prefiere efectuar la selección entre el personal del interior de la empresa que reúna las aptitudes requeridas, puesto que este personal conoce, más o menos, la empresa. Caso de que ello no pueda lograrse, se recurre al mercado exterior, bien dirigiéndose a los departamentos de la universidad o a empresas especiali-

zadas en la búsqueda de personal. Generalmente, se les indica el perfil del candidato que se desea y se solicita que se envíen más de un candidato para el mismo puesto. Los seleccionados son entrevistados por la empresa, se aceptan o rechazan, y los aceptados se evalúan durante un cierto tiempo de prueba en los laboratorios de investigación para conocer sus aptitudes y efectuar la selección definitiva. Normalmente, durante el periodo de prueba no se tiene acceso a aspectos de investigación sensibles para la empresa, sino más bien a trabajos que puedan servir como prueba de evaluación, al mismo tiempo que se inicia un periodo de formación inicial.

4.7.3.2. Formación inicial y continuada

Admitido el o los candidatos, debe de procederse a una formación inicial que complemente los conocimientos que se poseen, tanto teóricos y experimentales, de acuerdo con los temas de su futuro trabajo. Ello puede hacerse, bien en la universidad a través de cursos programados especialmente para el candidato, o en la misma empresa si se poseen los medios adecuados; en empresas multinacionales, también se efectúa el período formativo inicial en otra empresa diferente a donde va a trabajar posteriormente, aprovechándose esta circunstancia para mejorar el conocimiento de otro idioma.

Después del período de formación inicial y una vez incorporado, como investigador principiante (junior) a su grupo, la formación debe continuar, sin caer en el tópico del «estudioso», a través de la lectura de revistas, asistencia a conferencias, seminarios, congresos, etc., teniendo presente que la formación durará toda su vida profesional.

4.7.3.3. Promoción

La promoción hacia posiciones de más responsabilidad científica o directiva, se considera como uno de los mayores incentivos para el personal de I/D.

La promoción en los departamentos universitarios o en los centros de investigación estatal se efectúa, no necesariamente en todos, de forma algo diferente que en la empresa. Podríamos decir que se guía por unos esquemas diferentes. Así, en la universidad, por citar un ejemplo, existen pocos titulados con la categoría de investigadores, pues la mayoría de investigadores son docentes que hacen investigación en sus departamentos. Para los primeros, una vez alcanzado el título de investigador, no existe otra promoción, al menos actualmente y que yo sepa, que la satisfacción en su trabajo y la posibilidad de asistencia a cursos de formación, seminarios, conferencias, etc. Algunos se incorporan posteriormente a la docencia como profesores titulares y más tarde optando a ser catedráticos, los menos.

Mediante estudios efectuados en el entorno empresarial, se ha podido conocer cómo obtener la máxima incentividad mediante la promoción. Para ello se recomienda tener presentes los siguientes aspectos:

- Hay que asegurarse que la promoción tiene un valor real por sí misma, que obedece a las necesidades objetivas de la organización y no a una recompensa.
- Se debe dar prioridad al personal existente en el grupo.
- Hay que mantener una lista flexible para futuras promociones.
- Tener la precaución de no efectuar promociones excesivas en los tiempos de expansión, para prever los inconvenientes que se generarían en los tiempos de recesión.
- Permitir a los empleados expresar sus opiniones antes de promocionarlos a puestos de mayor responsabilidad directiva, pues algunos investigadores prefieren permanecer en sus trabajos de investigación que alcanzar puestos de dirección aunque sea en I+D. Además, se han conocido casos en donde un buen jefe de equipo de I+D, que había obtenido resultados relevantes para la empresa y que por ello fue promovido a la Dirección General de I+D, en su nuevo puesto no alcanzó la competencia deseada, debiendo abandonar la compañía.
- El proceso de promoción puede dar origen a tensiones y celos dentro del grupo o la organización, produciendo estados de frustración. Estos se pueden amortiguar cuando el entusiasmo por el proyecto de I+D es elevado.

4.7.3.4. *Salarios*

Como en la mayoría de las actividades profesionales el salario es un buen incentivo para el investigador, si bien el nivel exacto de su compensación es normalmente menos importante que en otras profesiones.

En las universidades y centros estatales de investigación, el salario viene en función del nivel administrativo alcanzado, profesor titular, catedrático, investigador, etc. Este salario suele estar incrementado en unos pluses de productividad y, en la universidad, por el porcentaje de que obtengan sobre determinados contratos de investigación con las empresas u otras instituciones. Por lo general, los salarios de los investigadores en estos centros son inferiores a los existentes en la industria, teniendo la contrapartida de la estabilidad y de trabajar con menos presión que los que están en las empresas.

En las empresas el nivel salarial depende también de la posición que el investigador ocupe, principiante, experimentado, jefe de grupo, etc. No obstante, también suele separarse salario y autoridad, de forma que una mayor categoría en esta, no significa necesariamente un salario más elevado. Es más, se dan casos en los cuales la persona con mayor autoridad puede recibir inferior

remuneración que otro de nivel inferior, cuando este, de gran capacidad intelectual es capaz de resolver problemas de gran impacto económico para la empresa, que no están adscritos necesariamente a un nivel determinado de autoridad. Una revisión periódica de los salarios es de gran importancia para los investigadores, debiéndose tener en cuenta el rendimiento que el investigador o su grupo ha proporcionado a la empresa, asegurando siempre una equidad en la evaluación de la productividad.

4.7.3.5. Influencia del tiempo en las características del grupo

Con independencia de que posteriormente tratemos la evaluación de la productividad de la investigación, consideramos interesante la información de cómo el tiempo que lleva el grupo formado influye en varios aspectos de sus características ⁽¹¹⁾. El estudio fue efectuado en un total de 83 grupos, de diferentes especialidades y sus conclusiones están fundamentadas en un estudio estadístico de la encuesta a los diferentes laboratorios de investigación. Los principales aspectos a destacar son:

1. La contribución científica y general de los grupos alcanza su máximo entre los 4-5 años de su formación, declinando posteriormente.
2. La comunicación entre los miembros del grupo y el jefe es mayor al principio de la formación del grupo (2-3 años), decreciendo posteriormente. Entre los miembros del grupo es inferior a la anterior y también decrece con el tiempo.
3. La cohesión del grupo alcanza su máximo entre los 4-5 años, decreciendo posteriormente.
4. La competitividad entre los miembros del grupo aumenta hasta los 4-5 años, disminuyendo posteriormente hasta los 6-7 años; posteriormente vuelve a aumentar. Similares conclusiones se obtuvieron de la comparación entre grupos.
5. Conforme avanza el tiempo de formación del grupo, éste tiende a especializarse en un área donde se siente seguro; es más, dentro del grupo, cada investigador adquiere una parcela de investigación propia. Por ello, la tendencia a introducirse en nuevas áreas disminuye con el tiempo y se estabiliza a los 6-7 años. Por estas razones, en muchas empresas se acostumbra a efectuar una rotación del personal investigador a fin de que los grupos no se anquilosen.

4.7.3.6. Obsolescencia científica

Anteriormente hemos indicado cómo el tiempo del grupo en su conjunto influye en sus características y entre ellas, en su rendimiento científico y gene-

ral. El eslogan «*demasiado viejo a los cuarenta*» tiene una cierta dosis de certeza en un establecimiento uno de cuyos primeros objetivos es ser creativo. Por otra parte, tal como hemos visto anteriormente (4.2.2.1), se considera que la pérdida de creatividad se debe a la falta de entusiasmo por el trabajo que se realiza. Sea cual sea la causa que promueva la pérdida del rendimiento creativo, se necesita el encontrar una salida a las personas que se encuentran en esa situación y que anteriormente han demostrado su capacidad creadora.

En esa situación, es provechoso para los investigadores el dedicarlos a tareas de desarrollo, en las cuales la experiencia adquirida durante muchos años en determinado campo de actividad, puede ser de gran valor para el grupo. Es creencia general, que la nueva asignación debe de efectuarse en el mismo campo científico-técnico en el cual se produjo la especialización. Si las circunstancias indican que la línea de investigación en la cual se trabajó no es interesante y las nuevas orientaciones son diferentes a las que en su día fueron objeto de su especialidad, entonces la solución se hace más difícil. Por ello, es aconsejable el efectuar algún esfuerzo en la adquisición de conocimientos en una segunda línea de conocimientos.

En los casos en donde las anteriores circunstancias no se pudiesen llevar a término, es posible el encontrar otras vías, bien en el equipo innovador como enlace entre el laboratorio de I+D y la aplicación, en la etapa de lanzamiento del producto-proceso, o en funciones administrativas en los laboratorios, tales como supervisión de la situación de los proyectos de I+D, consultor en su especialidad, etc.

Bibliografía

1. Lora-Tamayo Manuel *Un clima para la ciencia*, pág. 14. Edit. Gredos, Madrid, 1969.
2. Guilford J.P. *Structure of Intelligence*, Department of Psychology, University of Southern California, June, 1968.
3. William H. Easton *Creative thinking and how to develop it*, Mechanical Engineering, August 1946.
4. Santiago Ramon y Cajal, *Los tónicos de la voluntad*, pág. 37, Colección Austral, Edit. Espasa-Calpe, S. A., Madrid, 1944.
5. Pierre Rousseau, *Histoire de la Science*, pág. 703. Edit. Fayard, Paris, 1945.
6. Noltingk B.F. *The Art of Research - a guide for the graduate*, pág. 20, edit. Elsevier, Amsterdam, 1965.
7. Pierre Rousseau, *Histoire de la Science*, pág. 708. Edit. Fayard, Paris, 1945.
8. Massagué i Solé J. *Fer el cinc de deu*, pág. 12, Fundació Catalana de la Recerca, Barcelona, 1999.
9. Noltingk B.E. *The human element in research management*, pág. 3, Elsevier Publishing Co., London, 1959.
10. Kouzes M. J. Posner, Z. B. *The Leadership Challenger: How to Get Extraordinary Things Done y Organizations*, pág. 1-27, Edit. Jossey-Bass, San Francisco, 1987.
11. Wallace P. Wells, Tesis doctoral «*Group Age and Scientific Performance*», Michigan University, 1962.

Otras obras de consulta

Primo Yúfera, Eduardo *Introducción a la investigación científica y tecnológica*. Edit. Alianza Universidad, Madrid, 1994.

Santiago Ramón y Cajal, *Los tónicos de la voluntad*. Edit. Espasa-Calpe, Argentina, 1944.

Aranguren, José Luis *La comunicación humana*. Edit. Guadarrama, Madrid, 1967.

Los métodos de la investigación

5.1. Introducción

Aunque en las ciencias experimentales la experiencia ocupa un lugar preeminente, también es cierto que las construcciones teóricas tienen un papel muy importante. Por ello, se ha indicado ⁽¹⁾ que en la actividad científica se distinguen dos procesos: uno *ascendente* que conduce a la formación de entidades teóricas (conceptos, leyes y teorías) y otro *descendente* que consiste en la comprobación experimental de las construcciones teóricas.

Entre las ciencias experimentales, la física puede considerarse como un ejemplo del primer tipo de procesos, y Newton y Einstein como el tipo de investigadores que construyeron sus estructuras teóricas sobre conceptos y «como invenciones libres del intelecto humano». En ambos casos, el segundo de los procesos, la experimentación, demostró la validez de dichas teorías. Las teorías deben explicar los hechos experimentales y ser congruentes con ellos, pero estos no son la fuente principal del desarrollo de aquéllas, ya que las hipótesis de las que se parte son abstractas y alejadas de la experiencia, según Einstein. Por ejemplo, Newton buscaba un conocimiento de la naturaleza por medio de conceptos matemáticos y para ello concibió un sistema ideal formado por puntos dotados de masa y sometidos a fuerzas, los cuales no existen en la naturaleza, de tal modo que las definiciones, enunciados y demostraciones, se refieren a los puntos-masa de forma inmediata y sólo de forma mediata al Sol, la Tierra y demás planetas que constituyen la realidad. Por lo general, el objeto ficticio que sustituye al real es necesario para formulaciones matemáticas como las de la mecánica y recibe el nombre de *objeto científico* ⁽²⁾.

El objeto científico no existe realmente, y por lo tanto hay que construirlo a través de conceptos seleccionados que permitan su estudio mediante experiencias controladas. Los conceptos seleccionados son aquellos que definen las *propiedades relevantes* del sistema y se prescinde de los otros que se consideran irrelevantes; ello no es sólo válido para ciencias como la física, sino que

también es válido para describir los procedimientos utilizados en otras ciencias experimentales, química, biología, etc. Por ejemplo, en la teoría de la difusión de las moléculas de los colorantes en medios heterogéneos, las fibras textiles, aplicando las ecuaciones de Fick, se idealizan aquéllas como sólidos homogéneos de conformaciones geométricas que no corresponden ni a su morfología interna ni externa, a fin de poder tratar la difusión mediante las ecuaciones matemáticas planteadas para un caso ideal.

Sin entrar en las consideraciones formales a tener en cuenta para la construcción del objeto científico, lo que haría necesario la construcción de modelos ideales ⁽³⁾, que se apartaría de la finalidad de esta obra, sí consideramos, antes de entrar en el método utilizado por el investigador, el hacer algunas referencias a los métodos *hipotético-deductivo* y al *inductivo*.

5.1.1. El método hipotético-deductivo

El método hipotético-deductivo lo empleamos corrientemente tanto en la vida ordinaria como en la investigación científica. Es el camino lógico para buscar la solución a los problemas que nos planteamos. Consiste en emitir hipótesis acerca de las posibles soluciones al problema planteado y en comprobar con los datos disponibles si estos están de acuerdo con aquéllas. Cuando el problema está próximo al nivel observacional, el caso más simple, las hipótesis podemos clasificarlas como empíricas, mientras que en los casos más complejos, sistemas teóricos, las hipótesis son de tipo abstracto. Así, en los ámbitos de la óptica, electricidad, química analítica, cinética química, etc., en los que se dispone de métodos observacionales adecuados con los cuales se puede obtener magnitudes muy precisas, las hipótesis pueden verificarse con gran seguridad; sin embargo, las hipótesis acerca de la evolución de los seres vivos, la creación del universo, etc., en donde la relación entre la hipótesis propuesta y los datos disponibles es muy indirecta y/o la verificación es difícil, origina el que las hipótesis sean cambiantes en el tiempo, de acuerdo con los datos que se van obteniendo. En estos casos, cabe preguntarse si existen criterios que permitan juzgar la validez de las hipótesis generales.

Según M. Artigas ⁽⁴⁾ existen cinco criterios para juzgar la validez de las hipótesis generales, aplicables tanto a las hipótesis próximas a la experimentación como a las de elevado nivel teórico. Estos criterios son:

- a) *El poder explicativo*. «La capacidad de las hipótesis de dar razón de los problemas planteados y de los datos disponibles. Por ejemplo la estructura en doble hélice del ADN explicó de modo satisfactorio la conservación y transmisión del material genético. El modelo fue admitido inmediatamente, aunque las pruebas empíricas concluyentes tardaran cierto tiempo en ser propuestas».
- b) *El poder predictivo*. «Si de una hipótesis se deduce una determinada consecuencia, puede decirse que la hipótesis predice y explica dicha

consecuencia. Este criterio es especialmente importante cuando se trata de predicciones antes desconocidas. Por ejemplo, el efecto de un planeta sobre otros, tal como lo predecía la mecánica newtoniana, condujo al descubrimiento de Neptuno y Plutón, en las posiciones calculadas por la teoría».

- c) *La precisión de las explicaciones y las predicciones.* «Este criterio refuerza a los dos anteriores, ya que en la ciencia experimental el progreso se debe en buena parte a la exactitud de los cálculos y comprobaciones. Por ejemplo, Kepler invirtió dos años en sus primeros estudios sobre la órbita de Marte, pero recomenzó al comprobar un desacuerdo de 8 minutos de arco respecto a los datos de Ticho Brahe. Posteriormente, las predicciones fueron comprobadas con gran precisión por unas expediciones de astrónomos a Brasil y África para comprobar la desviación gravitatoria de la luz».
- d) *La convergencia de pruebas variadas e independientes.* «Este criterio refuerza la fiabilidad de las teorías. Por ejemplo, el modelo de la gran explosión propuesto en la década de los veinte recibió un apoyo decisivo cuando Penzias y Wilson detectaron en 1964 la radiación de fondo predicha por la teoría. Este modelo es coherente también con otros datos obtenidos acerca de otros fenómenos, tales como la abundancia de los elementos ligeros en el universo y la distribución de la materia a gran escala. El hecho de que estos fenómenos se estudian y comprueban de modo diferente, es una razón importante en favor de la teoría que los predice y explica».
- e) *El apoyo mutuo entre las teorías.* «Es una buena prueba de la validez de las hipótesis. Por ejemplo, la teoría atómica fue ganando fiabilidad al integrarse en las explicaciones de diversas disciplinas, al contar con pruebas específicas sobre los modelos atómicos y constituir, además, un elemento importantes de las teorías químicas y de la biología molecular. Las teorías se entrelazan formando un red en la cual las comprobaciones de algunas consecuencias experimentales refuerzan la validez de todo el conjunto».

5.1.2. El método inductivo

Conjuntamente con el anterior es utilizado en la ciencia experimental. Consiste en basarse en *enunciados singulares*, tales como descripciones de los resultados de observaciones o experiencias para plantear *enunciados universales*, tales como hipótesis o teorías. Ello es como decir que la naturaleza se comporta siempre igual cuando se dan las mismas circunstancias, lo cual es como admitir que bajo las mismas condiciones experimentales se obtienen los mismos resultados, base de la repetitibilidad de las experiencias, lógicamente aceptado. Pero basar en esto que desde unos hechos concretos se puede llegar a establecer una teoría general, sería tanto como admitir que no pueden darse hechos distin-

tos en el campo general de dicha teoría, lo cual no parece lógico ni sensato, pues nos llevaría a admitir un determinismo absoluto, que tal y como hemos visto, (Cap. 1), no es admisible actualmente. Por otra parte, la inducción equivale a la extrapolación, lo cual puede ser un recurso en el campo experimental, que no se confirma siempre. Por todo ello, mediante sólo la inducción, o sea, una colección de datos experimentales para construir leyes y teorías científicas auxiliada por la lógica, es difícil elaborar una teoría científicamente admisible.

Karl R. Popper al tratar el problema de la inducción ⁽⁵⁾ indica que «algunas personas que creen en la lógica inductiva se precipitan a señalar “que la totalidad de la ciencia acepta sin reservas el principio de la inducción, y que nadie puede dudar de este principio en la vida corriente”. No obstante, aun suponiendo que ello fuera así, remarca K. R. Popper, yo seguiría afirmando que es superfluo todo principio de inducción, y que lleva forzosamente incompatibilidades lógicas».

A pesar de lo expuesto, el método inductivo tiene su importancia en el estudio de los fenómenos científicos. Así, la gran cantidad de medidas efectuadas por Tycho Brahe durante veinte años sobre los planetas, le sirvieron a Johann Kepler para formular y confirmar el modelo que se conoce como las tres leyes de Kepler, de tal manera, que si se presuponen estas leyes, se pueden calcular las posiciones de los planetas para cualquier tiempo, pasado o futuro. Kepler comprobó sus predicciones, principalmente con las observaciones del planeta Marte. Por otra parte, Faraday pudo probar que los diversos fenómenos que se apreciaban en la electricidad se debían a una misma causa, que posteriormente se atribuyó al flujo de los electrones.

Los interesados en la discusión filosófica de los métodos deductivo e inductivo pueden consultar la obra de M. Artigas *Filosofía de la ciencia experimental* (Cap. 3) y la de Karl R. Popper *La lógica de la investigación científica* (Cap. 1).

5.2. Los métodos de investigación

Habiendo indicado los rasgos fundamentales de los métodos deductivo e inductivo, conviene, ya en un plano más concreto, citar cuáles son los métodos utilizados en la investigación científica y en la tecnológica. No obstante, hemos de advertir que en muchos casos se utilizan juntos algunos de ellos, por lo que es difícil establecer una línea de división nítida en estos casos. Por otra parte, tampoco pretendemos que esta clasificación sea totalmente completa y profunda en el contenido de cada uno de los métodos.

5.2.1. La investigación teórica

Queda encuadrada en esta, aquella investigación cuya finalidad es la concepción de las grandes teorías que son el fundamento de determinadas cien-

cias tales como las matemáticas y la física. El trabajo del investigador puede realizarse con papel y lápiz y las hipótesis planteadas se construyen sobre conceptos y «son invenciones del intelecto humano». La obra de Isaac Newton (1642-1727) publicada en 1686 *Philosophie Naturalis Principia Mathematica*, constituye un ejemplo de este tipo de investigación, al establecer las leyes newtonianas del movimiento y la ley de la gravitación universal. Otro ejemplo de este tipo de investigación es la llevada a término por Albert Einstein, considerado por muchos físicos como el mayor científico que ha existido, quien con su *Teoría de la Relatividad* transformó hondamente el pensamiento científico en cuestiones tan importantes como el espacio, el tiempo, el movimiento, la masa, la energía, etc.

En estos casos, las hipótesis planteadas en la teoría general deben de recibir una confirmación experimental posteriormente para que la teoría sea aceptada. La utilización posterior de nuevas y más precisas técnicas experimentales pueden poner en duda la validez de una teoría ya aceptada, con lo cual se produce un avance del conocimiento, sin que ello invalide el método empleado.

5.2.2. La investigación experimental

Aunque el método empleado en la investigación experimental posee una unidad conceptual y operativa, según el problema planteado se pueden apreciar algunas diferencias entre sus diferentes variedades. Sin pretender presentar una detallada exposición de ellas, podemos considerar las siguientes:

5.2.2.1. Planteamiento de hipótesis, experimentación, comprobación

Este método tiene una cierta semejanza con el empleado en la *investigación teórica* pero se diferencia en que no tiene por objeto el plantear grandes teorías globales, sino más bien el descubrir determinados comportamientos de los fenómenos naturales, para conocer sus tendencias o leyes, a fin de mejorar el conocimiento de los mismos, con el objeto de poder controlarlos. Por lo general, se apoya en conocimientos validados experimentalmente y que «en su momento se daban como verdaderos», pero que a la luz de nuevos descubrimientos dentro de su área o próximos a ella, llevan a plantear nuevas hipótesis que deben ser, a su vez validadas experimentalmente, de forma que si los resultados las confirman, el nuevo conocimiento invalida al anterior. Por ejemplo, John Dalton (1766-1844) discutiendo la *ley de Proust* o de las *proporciones definidas*, llegó a formular la *ley de las proporciones múltiples* o *ley de Dalton*, a través del conocimiento de los compuestos oxigenados del nitrógeno, en los cuales el oxígeno se combinaba «en partes enteras». Esto le llevó a formular la hipótesis (1808) de que «todo sucedía como si esas partes fuesen *partículas o sea átomos*», produciendo con ello un gran alboroto en el campo científico. Después de las discusiones entre «atomistas» y «equivalentistas», Ernest

Rutherford, observando el espectro del helio concluyó que los corpúsculos alfa no eran otra cosa que átomos de helio. En 1911, Rutherford traza un esquema de un átomo parecido a un sistema solar en miniatura, con un núcleo central cargado positivamente y gravitando alrededor de él los electrones cargados negativamente. Se llega a la noción de los átomos, diferenciándose los unos de los otros en el número electrones y pensando que esta diferencia era la que producía las diferencias de las propiedades químicas de los cuerpos. Entre 1911 y 1913 se suceden una serie de descubrimientos importantes, que llevan a Niels Bohr a presentar su modelo atómico con las capas de electrones estratificadas en órbitas circulares alrededor del núcleo, basándose en el modelo de Rutherford, en la teoría electromagnética y en los cuantos de acción de Plank. En 1931 Sommerfeld aplica la teoría de Bohr a las órbitas elípticas, con lo cual se amplía a otros muchos átomos además del hidrógeno. Posteriormente, se presenta la nueva teoría cuántica para el átomo y las nubes de probabilidad electrónica. De esta manera se va construyendo todo el edificio de la estructura atómica de los cuerpos a partir del modelo atómico de Niels Bohr.

5.2.2.2. *Experimentación sin hipótesis previa*

Es un método corrientemente empleado en aquellos casos en donde la investigación tiene por objeto el provocar determinados fenómenos que no se presentan usualmente en la naturaleza y cuyo conocimiento puede ser interesante o importante en el avance de la ciencia o la tecnología. Constituye un método de investigación muy importante, tanto por su amplitud como por su utilización en el campo tecnológico. Entre ellas, podemos citar:

- A. *Experimentación para conocer la estructura íntima de la materia.* Este tipo de investigación puede abarcar experimentaciones que tengan por objeto el conocer la constitución íntima de la materia mediante los aceleradores de partículas, experiencias en ausencia parcial de gravedad, tales como las que se realizan en los transbordadores espaciales, las cuales requieren instalaciones muy complejas y de elevado coste.
- B. *Experimentación para obtención de nuevos compuestos.* En muchos procesos de síntesis se desea conocer qué tipo de compuesto se obtiene haciendo reaccionar en determinadas condiciones dos o más compuestos, bien para obtener un compuesto nuevo que no existe en la naturaleza, o para sintetizar uno existente. El primer caso lo tenemos, por ejemplo, en la síntesis de nuevos polímeros, de nuevos colorantes, nuevos compuestos inorgánicos, metalúrgicos, etc.; el segundo lo encontramos en la síntesis de algunos productos farmacéuticos, aromas, colorantes naturales, etc.
- C. *Experimentación para modificar las propiedades de los cuerpos sometidos a determinadas acciones físicas, químicas o ambientales.* En estos casos se pretende conocer cómo se modifican algunas propiedades de los cuerpos cuando se someten a condiciones que no son normales en su estado natu-

ral. Así, la oxidación de la celulosa en determinadas condiciones es importante para determinar los oxidantes adecuados para su blanqueo sin alterar sus buenas propiedades; en otros casos, interesa conocer la modificación superficial de un cuerpo por el medio ambiente, rayos láser, etc.

D. *Experimentación para conocer determinados parámetros científicos o tecnológicos.* Entran en este apartado, experiencias que se efectúan en laboratorios químicos para establecer la cinética de una reacción y la influencia de variables, temperatura, concentración de productos, etc., sobre la constante de velocidad, o meramente tecnológicas en las cuales, por ejemplo, se desea conocer el comportamiento de determinados recubrimientos acerca de su duración a la acción abrasiva de un determinado material utilizado como eje de un sistema motriz.

E. *Experimentación analítica.* La investigación analítica, propiamente dicha, es aquella que pone a punto nuevos sistemas de análisis, instrumentos y/o métodos, para descubrir la composición química de los elementos existentes en un compuesto, bien que este se encuentre en la naturaleza, minerales, plantas, líquidos, etc. o de un producto obtenido en una nueva síntesis, para determinar la naturaleza de sus componentes y el grado de pureza logrado. Lo mismo se puede indicar en el caso del análisis de las propiedades físicas de los cuerpos. Este tipo de investigación experimental es de gran importancia, tanto desde el punto de vista científico como tecnológico. La investigación analítica utiliza hoy potentes medios instrumentales, tanto para determinar la composición de los cuerpos como para detectar sus propiedades, constituyendo una verdadera especialización en el manejo de tales medios instrumentales.

No se puede considerar como investigación analítica la puesta a punto de una técnica ya conocida, o la determinación analítica de las propiedades físicas o químicas de las sustancias.

5.2.2.3. *Experimentación según el método prueba-error o éxito*

Se utiliza este método cuando no se tiene un conocimiento previo que permita establecer un plan concreto de trabajo para abordar el tema objeto de la investigación. Esta se inicia al azar, experimentando, generalmente, con un número elevado de compuestos o elementos, con la esperanza de encontrar algún resultado que dé una pista acerca de la posible solución, o permita establecer una hipótesis inicial, que en el transcurso de la experimentación se va perfilando hasta establecerla de forma más definitiva.

Este método experimental ha sido utilizado en la industria química de colorantes azoicos insolubles, para obtener un determinado pigmento de características colorísticas y de solidez determinadas. Para ello, se efectúan cientos de reacciones de copulación, entre compuestos naftólicos y bases diazotadas, observando la coloración obtenida y determinando su propiedades de solidez a

determinados agentes, luz, intemperie, lavado, frote, etc. Los resultados obtenidos en una primera fase permiten acotar entre qué combinaciones naftol-base diazotada se encuentra el resultado más próximo al esperado. Se elige la que parece más apropiada y en los dos componentes se efectúan modificaciones de estructura química apropiadas, para en una segunda experiencia ver si alguna de ellas permite orquillar mejor el resultado apetecido. Se continúa de esta manera en una tercera o cuarta fase de experiencias hasta resolver el problema o darlo por no alcanzable.

Otros casos citados en la literatura hacen referencia al empleo de este método para el descubrimiento del tetraetil-plomo como antidetonante de la gasolina y el del Salvarsan para la curación de la sífilis.

E. Experimentación con modelos

Cuando la investigación no permite la utilización de los elementos reales, bien por razones de seguridad o porque la utilización del elemento real enmascararía el valor de los resultados y no se podría sacar una conclusión adecuada, se utilizan modelos «artificiales» para llevar a término la experimentación.

Ejemplo del primer caso, razones de seguridad, es la utilización de sofisticados maniqués en la investigación del daño causado por un impacto frontal o lateral sobre los ocupantes de un vehículo; en este caso, el maniquí va provisto de una serie de sensores que permiten conocer la acción del impacto sobre determinados órganos del cuerpo y proceder a las correcciones correspondientes de la estructura resistente del vehículo para hacerlo más seguro, y dotarlo de elementos protectores (*airbag*). Caso similar son los materiales para vestidos contra el fuego, en donde también se efectúan los ensayos con maniqués.

Ejemplo de la segunda posibilidad lo tenemos en las investigaciones que se efectúan en los túneles aerodinámicos de pruebas con modelos reducidos de coches, aviones, en los que se determina el perfil más adecuado para ofrecer una menor resistencia al aire a velocidades elevadas, y por consiguiente, un menor consumo de combustible. Determinados estudios sobre la difusión de colorantes en medios heterogéneos como son las fibras textiles naturales, de forma geométrica no bien definida matemáticamente, también se efectúan utilizando polímeros manufacturados de similar composición química y configuración geométrica definida, para poder aplicar las ecuaciones pertinentes que permiten el cálculo de los coeficientes de difusión aparentes, que sirven para establecer comparación de esta propiedad entre diferentes estructuras químicas.

5.2.3. La investigación combinatoria

Este método de investigación, aunque en una de sus etapas, es esencialmente experimental, las otras etapas que configuran el método escapan de su encuadre en dicha clasificación.

La síntesis de los compuestos biológicos orgánicos ha estado influenciada durante los últimos cien años por la metodología siguiente: elección de una posible molécula de estructura definida, su síntesis, purificación y ensayos de su actividad. La actividad es entonces optimizada parcialmente de forma sistemática o por variaciones intuitivas de la estructura inicial. La nueva sustancia activa se obtiene por «ensayo y error» hasta que se obtiene el producto de las características deseadas; ello puede llevar a la necesidad de miles de variaciones de estructuras moleculares. Este proceso es lento y caro, haciendo que la investigación de nuevos productos farmacéuticos y protectores de la agricultura requiera mucho tiempo y dinero.

Por otra parte, el progreso en biología molecular en la última década, la utilización en biología molecular de métodos para identificar y preparar proteínas es muy importante en la investigación de fármacos. Esta nueva situación hizo que fuese necesaria una nueva metodología para sintetizar rápidamente nuevas estructuras de forma que su optimización pueda ser acelerada.

Esta nueva metodología se denomina *Química Combinatoria* y se caracteriza por sintetizar *simultáneamente* diferentes productos con estructura bien definida. Si bien en principio se ha aplicado a los productos farmacéuticos ⁽⁶⁾, se empieza a introducir en otros campos tales como para el descubrimiento de nuevos catalizadores ⁽⁷⁾ y de materiales luminiscentes ⁽⁸⁾.

La química combinatoria está basada en un principio simple y revolucionario: en vez de unir inicialmente dos productos **A** y **B** para dar un producto **AB**, se utilizan diferentes bloques de producto **A** (**A**₁ - **A**₁₀) con diferentes bloques del producto **B** (**B**₁ - **B**₁₀) de acuerdo con el principio combinatorio, con lo cual con los 10 productos de cada sustancia se obtienen 100 productos. En el caso de tres productos **A**, **B**, **C**, se obtendrían 1.000 productos y así sucesivamente.

La química combinatoria consta de tres etapas: síntesis rápida paralela de una biblioteca de muchos productos de estructura relacionada, ensayo paralelo de estos productos para una determinada propiedad mediante un test adecuado e identificación de los compuestos que muestran la mejor respuesta a la propiedad deseada. Posteriormente, otra nueva biblioteca de los nuevos productos seleccionados en un área más restringida se puede sintetizar bajo el principio de la química combinatoria. Una vez obtenido el producto o productos que reúnen las mejores propiedades, es necesario el continuar con las pruebas de tipo clínico o agrícola, según el tipo de producto.

5.2.4. La investigación por observación de la naturaleza

5.2.4.1. La observación de la naturaleza

El ser humano aprovecha la capacidad que posee de observar las cosas que se presentan en la naturaleza para descubrir sus formas externas e internas, sus características, manera de actuar, en una palabra para conocerlas en mayor o

menor grado, de acuerdo con la capacidad de cada observador y el interés que en él despierta la cosa observada. Esta capacidad e interés, unida a determinada metodología en la observación, constituye un método empleado en la investigación científica y tecnológica. La investigación por observación, nos permite avanzar en el conocimiento de todo lo que nos rodea, desde lo más pequeño, la célula, hasta lo más distante del universo.

Fue mediante la observación del cielo cómo los sumerios y los egipcios, empleando sistemas rudimentarios de cálculo, calcularon la duración del día, la noche, la marcha de los planetas, si bien con ciertos errores de cálculo. Para el día, en el caso de los más largos, estimaban unas 16 horas y para los más cortos 8 horas, mientras que las cifras verdaderas son de 14 h 11 m y 9 h 49 m.

La observación de determinadas especies por Charles Darwin durante los cuatro años de su permanencia en el navío inglés *Beagle*, conjuntamente con informaciones recibidas de todo el Imperio británico, fue el fundamento de su obra *Origen de las especies* (1859) que sentó los principios del evolucionismo. Linee que mediante el estudio de las plantas dejó en su obra *Systema naturae* (1735) el medio de clasificar a los seres vivos, por vez primera, de una manera científica. Este método, auxiliado por los avances en la microscopía, es el sistema empleado por biólogos, botánicos, entomólogos y otros investigadores en el campo de las ciencias naturales.

Este tipo de investigación puede efectuarse por observación directa sin o con ayuda de equipo muy simple, tal como hizo Darwin para formular su teoría evolucionista. En otros casos, la observación requiere de la ayuda de dispositivos más complejos que permitan apreciar al observador lo que a simple vista no puede ser descubierto. Así, la invención del microscopio ocular le permitió a Ramón y Cajal sus estudios neurológicos, auxiliándose entonces por medio del dibujo de ofrecer la visión percibida del sistema nervioso; posteriormente, los perfeccionamientos del microscopio ocular equipados con cámaras de vídeo y el electrónico han permitido avanzar en el conocimiento de la histología, anatomía, microbiología, etc., adquiriendo la mera observación un carácter más experimental. El uso de un telescopio rudimentario le permitió a Galileo el observar con más detalle la luna y descubrir dos satélites de Júpiter. Hoy, la utilización de potentes telescopios, radiotelescopios, y el análisis posterior de las radiaciones emitidas permiten conocer la composición de los elementos constituyentes de otros cuerpos celestes. Es más, cuando la observación desde la Tierra no permite alcanzar el conocimiento deseado, el hombre utiliza observadores artificiales, inventados por él, tales como satélites artificiales, sondas espaciales, etc., que provistos de cámaras de precisión, dispositivos de recogida de muestras materiales, medios analíticos y sistemas de transmisión de los datos recogidos, le permiten obtener las imágenes y datos necesarios para avanzar en el conocimiento del universo.

Otro tipo de observaciones requiere un colectivo numeroso para que el conocimiento que se adquiera tenga una validez probabilística, mediante el uso de la estadística. Este método es frecuentemente utilizado en la investigación

de fármacos o normas de conducta para determinar la validez de los mismos en prever, curar o producir determinadas patologías. Así, mediante este tipo de investigaciones se ha podido indicar que la alimentación con productos ricos en grasas saturadas produce en las personas una mayor propensión a la aparición de enfermedades circulatorias, entre ellas, el infarto de miocardio, y que el tabaco perjudica a la salud y es una de las causas del cáncer de pulmón, etc.

5.2.4.2. Simulación por ordenador

La simulación por ordenador permite conocer con buena exactitud las realidades «no experimentables», o no «observables» en la naturaleza, tal como sucede en astrofísica, geofísica-tectónica, estructura de materiales a elevadísimas temperaturas y presiones.

Por ejemplo ⁽⁸⁾, el estudio en el centro de la Tierra de la estructura cristalina y líquida del hierro, requiere, para efectuarlo, la simulación por medio de supercomputadores que permiten los cálculos extremadamente largos y complejos que requieren el estudio de la estructura electrónica de tales fases, lo cual representa unas limitaciones, puesto que tales cálculos requieren mucho tiempo y son caros. Se puede adoptar también un método alternativo para el cálculo de todos los electrones, mediante el uso de pseudo-potenciales que permiten una aproximación para describir el potencial asociado a los electrones del núcleo y la densidad electrónica de los electrones de valencia, con una reducción en el CPU del computador, haciendo los cálculos más eficientes.

5.2.5. La investigación sociológica

Este tipo de investigación abarca el estudio del comportamiento sociológico, la ciencia política, etc. Su amplitud es considerable y la metodología empleada puede variar sensiblemente entre sus diferentes ramas. Estando este libro destinado a profundizar en la metodología científica y tecnológica, consideramos que algunos aspectos de la investigación sociológica, los referentes al comportamiento sociológico ante los cambios científicos y tecnológicos, así como a la influencia de estos sobre determinados aspectos de la economía, pueden ser interesantes para ampliar la visión del científico o del técnico acerca del impacto de la investigación que efectúa en el comportamiento de la sociedad.

La investigación sociológica nos permite mejorar el conocimiento de las actitudes y reacciones del ser humano ante determinados acontecimientos científicos o tecnológicos que se producen en su entorno social. Así, por ejemplo, la invención de la máquina de vapor provocó la industrialización y con ello la aparición de una clase obrera industrial que al principio fue duramente tratada, lo que le llevó a organizarse en una fuerza sindical para reivindicar unas mejoras de su situación social, lo cual a su vez estimuló a los empresarios a

adoptar innovaciones tecnológicas que contrarrestasen la presión sindical, abaratasen sus productos y los hicieran más asequibles a una mayor gama de consumidores. En la actualidad, en las postrimerías del siglo XX, las agresiones al medio ambiente a causa de la industrialización han provocado una fuerte inquietud social, dando lugar a la aparición de los grupos ecologistas, que haciéndose eco de dicha situación presionan a los poderes públicos para la puesta en marcha de una reglamentación a fin evitar las fuertes emanaciones de anhídrido carbónico a la atmósfera y la contaminación de las aguas; ello, obliga a las industrias a considerar estos aspectos en sus planes de innovación e industrialización, dando origen a nuevas investigaciones que en su desarrollo disminuyan o eviten estos efectos negativos.

El objetivo de la investigación social es detectar la opinión, las formas de comportamiento de las personas ante determinados acontecimientos que se producen en nuestro entorno. Este es cada vez más amplio a causa de la rapidez como se difunde la información a través de los medios de comunicación. Las fuentes de información están en la observación de estos estados de opinión o comportamiento, bien directamente por el propio investigador o por la información que puede tener, determinando a su vez la amplitud de las mismas, o sea si se circunscriben a un área reducida o por el contrario se han difundido más extensamente, hasta el punto de considerarse como un hecho mundialmente aceptado.

El método científico que se emplea en sociología es empírico y como características más sobresalientes se pueden citar ⁽¹⁰⁾: a) tiene una base empírica y ello lo acerca al método empleado en las ciencias naturales; b) se trata de un método basado en la inducción, si bien también utiliza la deducción, por lo que se rige por los principios de la lógica. Por metodología sociológica se entiende la descripción, explicación y justificación de los métodos utilizados, mientras que las técnicas de investigación se refieren a los procedimientos específicos que utiliza el sociólogo para reunir y ordenar los datos antes de someterlos a las operaciones lógicas o estadísticas.

El diseño de la investigación está en función de los objetivos que se desean, existiendo varios tipos de diseño según el estudio ⁽¹¹⁾. Así, existen:

- a) *Estudios exploratorios* para averiguar si existe o no un fenómeno, como primer paso a una investigación.
- b) *Estudios descriptivos* que examinan un fenómeno para describirlo más completamente o para diferenciarlo de otro.
- c) *Estudios predictivos* para identificar las relaciones que permiten especular acerca de una cosa sabiendo algo de otra.
- d) *Estudios explicativos* que procuran encontrar la relación causa-efecto entre dos o más fenómenos.
- e) *Estudios de acción* que orientan a solucionar un problema de tipo social, político, de mercado, etc.

Las técnicas más empleadas para la recogida de datos son: la encuesta, la entrevista, el análisis de los contenidos, no reactivas, secundarias. Cada una de ellas tiene una fuente diferente para la recogida de los datos. Una vez obtenidos éstos, se efectúa un tratamiento informático, se analizan e interpretan.

Bibliografía

1. Artigas M. *Filosofía de la ciencia experimental*, Cap. III, pág. 111. Edit. EUNSA, Pamplona, 1992.
2. Artigas M. *Íbid*, pág. 112.
3. Artigas M. *Íbid*., pág. 118.
4. Artigas M. *Íbid*, págs. 139-141.
5. Popper K. R. *La lógica de la investigación científica*, Cap. I, págs. 27-28. Edit. Tecnos, Madrid, 1997.
6. Balkenhohl F. vom dem Bussche-Hünnefeld C., Lansky A., Zechel C. *Combinatorial Synthesis of Small Organic Molecules*, Angew. Chem. Int. De. Engl., págs. 2288-2337, 35, 1996.
7. Maxwell I. E. *Connecting with catalysis*, Nature 394, pág. 325, 1988.
8. Danielson E. Golden J. H., McFarland E. W., Reaves C. M., Weinberg W. H., Xin Di Wu, *A combinatorial approach to the discovery and optimization of luminescent materials*, Nature 389, págs. 944-948, 1997.
9. Vocadlo L. Wijs G. A., Kresse G., Gillan M., Price G. D., *First principles calculations on crystalline and liquid iron at Earth's core conditions*, Faraday Discuss, 106, pág. 205-217, 1997.
10. Río G. M. J. *Metodología de la investigación social*, 1ª Parte, pág. 15-18. Edit. Aguaclara, Alicante, 1997.
11. Río G. M. J. *Íbid*, pág. 38-39.

Otras obras de consulta

Primo Yúfera E. *Introducción a la investigación científica y tecnológica*, Cap. I. Edit. Alianza Universidad, Madrid, 1994.

Un método general de la investigación

6.1. Introducción

En investigación científica o tecnológica, hay varias formas de atacar un problema, pero no todas son igualmente efectivas, siendo necesario la utilización de un método que permita obtener resultados eficientes en todos los casos. Ello no significa que con su aplicación se pueda resolver de forma satisfactoria el problema propuesto, pero al menos, el investigador estará seguro de no haber dejado de lado fases importantes del proceso investigador o haber efectuado experiencias innecesarias. Mediante el método, generalmente aplicado por la mayoría de los investigadores, e independiente del resultado positivo o negativo, se pretende llevar a término la investigación de manera eficiente con un mínimo de esfuerzo, tiempo y gasto.

Cuando se pregunta ¿qué método hay que emplear?, la respuesta de los investigadores experimentados suele ser «*Utilice el método científico*». Marshall Walker⁽¹⁾ indica que el método científico intenta la validación de un modelo mediante:

- Postula un modelo basado en las observaciones o mediciones experimentales existentes.
- Verifica las predicciones de este modelo con respecto a las observaciones o mediciones ulteriores.
- Ajusta o sustituye el modelo, conforme lo requieran las nuevas observaciones o mediciones.

El tercer paso conduce de nuevo al primero y el proceso continúa de forma interminable.

El método científico ha sido utilizado desde hace tiempo; Robert Boyle propuso en el siglo XVII las siguientes etapas:

1. Reunión de los hechos.
2. Construcción de una hipótesis relacionando los hechos.
3. Probar la hipótesis con nuevas experiencias.
4. Si estas desaprueban la hipótesis, construir una nueva con los hechos antiguos y los nuevos.
5. Repetir hasta encontrar la solución.

Aunque el esquema general sigue siendo válido, es necesario para el joven investigador el indicarle cómo debe de llevar a término, de la mejor manera posible, cada una de las etapas indicadas, de forma que de una manera más completa, el método científico comprende las seis etapas siguientes:

1. Planteamiento del *objetivo*.
2. Reunión de los *datos conocidos*.
3. *Organización* de los datos.
4. Propuesta de una posible *solución*.
5. *Prueba* de la solución
6. *Presentación* de los resultados.

De estas etapas, todas ellas importantes, es conveniente resaltar la importancia de la primera, hasta el punto de que se indica que lo más importante para encontrar la solución a un problema es *plantearlo* adecuadamente.

Desgraciadamente, muchos científicos e ingenieros no han sido instruidos convenientemente para aplicar el método científico de forma eficiente, con lo cual su productividad puede disminuir. Una de las ventajas de estudiar el método científico y aplicarlo, es que mediante su repetición se crea al hábito de emplearlo de forma casi automática, no únicamente en el campo de la investigación, sino en todos los tipos de problemas o aspectos del trabajo, con lo que se gana en efectividad. En un mundo donde la dinámica del cambio nos hace afrontar nuevos problemas casi cotidianamente, el tener un método para resolverlos, que constituya casi una segunda naturaleza, puede darnos una seguridad en nuestra forma de actuar y una mayor eficiencia para encontrar la solución.

6.2. Planteamiento del objetivo

6.2.1. Consideraciones generales acerca de la motivación

El objetivo de una investigación puede tener diferentes motivaciones, dependiendo de la naturaleza y situación del investigador y del centro en donde

se efectúa la investigación. Por ello, vamos a detenernos en examinar este aspecto del problema, antes de entrar en las consideraciones de los diferentes aspectos que hay que tener en cuenta al plantear el objetivo de un proyecto de investigación concreto.

Así, en la universidad la motivación debe abarcar dos aspectos: la *formación* de los doctorandos y el avance del *conocimiento científico o tecnológico*, de forma libre o dirigida. La primera es consustancial con la universidad, bien sea con fines de proveerse de sus futuros cuadros docentes-investigadores, o para la formación de aquéllos que posteriormente se integrarán en la industria. El segundo aspecto, no exclusivo de la universidad, sí ha sido y es uno de sus objetivos fundamentales en todos los campos del saber, tanto más propio cuanto más libre se plantea el objetivo a investigar. Sin embargo, actualmente y parece ser que cada vez será mayor, existe una tendencia en la universidad a investigar en áreas en donde los poderes públicos o la industria tienen un marcado interés por los efectos que la investigación en estos sectores pueda tener en determinadas estrategias políticas o empresariales. De esta forma, el investigador universitario puede obtener unas ayudas económicas que de otra manera serían bastante reducidas, ya que, generalmente, la universidad no dispone de fuentes económicas suficientes que permitan una investigación completamente libre. Cuando algún departamento o investigador decide seguir este camino, como sucede en algunos casos en matemáticas, física teórica, astronomía y algunas ciencias de la naturaleza, la universidad suele disponer de algunos recursos económicos para la subvención de estas investigaciones.

En los centros de investigación públicos o privados, la motivación se centra, por lo general, en el avance del *conocimiento científico o tecnológico* en determinadas áreas, pues aunque también la *formación* entra dentro de sus actividades, esta no tiene un carácter tan prioritario como en la universidad. Los centros de investigación públicos orientan sus investigaciones de acuerdo con las directrices emanadas de un centro coordinador, según determinadas necesidades de tipo general que se presentan a nivel supraestatal, estatal o regional. El centro coordinador define las áreas prioritarias a investigar, así como la cuantía económica dedicada a cada área, fijando el centro de investigación público los objetivos concretos a obtener, que deben ser aprobados por el centro coordinador. Así, la Unión Europea (UE), a través de numerosos comités de investigación, presenta sus Programas Marco en donde se incluyen las áreas prioritarias de investigación para un determinado periodo de tiempo y los recursos destinados a cada una; cada departamento universitario, instituto o centro de investigación público o privado, puede presentar su proyecto de investigación que tras un detenido examen por cada comisión de expertos, es aceptado o rechazado. En España, la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) actúa de forma más o menos similar a lo indicado por la UE, presentando unas líneas prioritarias de investigación a las que pueden presentar sus proyectos los centros de investigación públicos y las universidades; los proyectos presentados, son evaluados por expertos, asignándoseles unas cantidades que, actualmente y en la mayoría de los casos, son inferiores a las solicitadas. En algunas

autonomías también existen centros de coordinación para proyectos en donde la autonomía tenga un especial interés en su desarrollo, por ejemplo, en Cataluña el CIRIT se encarga de este cometido, pudiéndose presentar, además, proyectos de investigación por la industria.

En determinados países, generalmente muy desarrollados económica y científicamente, existen centros de investigación privados, dedicados a funciones similares a las de los centros de investigación públicos, pero en los cuales sus programas de investigación no dependen de un centro coordinador, sino de un Consejo de Dirección o Patronato, el cual orienta las investigaciones del centro hacia áreas muy específicas, en las cuales un determinado sector económico, industrial, agrícola, ganadero, minero, etc., representado en el Consejo, está interesado, obteniendo la financiación del sector económico correspondiente; en estos casos, la investigación suele tener un carácter más dirigista que en los centros de investigación públicos, atendiendo preferencialmente a las propuestas del sector económico que financia el centro. Entre estos podemos citar a título de ejemplo el Commonwealth Scientific Industrial Research Organisation, que en Australia se dedica a la investigación agrícola y ganadera del país, la Fundación Batelle en Suiza, que investiga proyectos por encargo de asociaciones de empresarios, particulares, etc.

Los centros de investigación de la industria tienen por finalidad la *supervivencia y la expansión* de la empresa en donde ejercen su cometido. Para ello, sus objetivos se centran en la *innovación tecnológica* dentro del área o áreas de un sector industrial determinado; los objetivos deben de enmarcarse en la *política general de la empresa* y, por consiguiente, su investigación está dirigida de una forma muy concreta por la dirección general de la empresa, de acuerdo con la estrategia que se ha planteado. Esta investigación tiene, por lo tanto, un fin utilitario y alcanza cuotas muy elevadas en las grandes empresas de tipo multinacional y en menor proporción en la pequeña y mediana empresa.

6.2.2. Planteamiento del objetivo

A través de esta corta exposición hemos podido ver las diferentes motivaciones que existen para fijar los proyectos de investigación, por lo que vamos a centrarnos ahora en las características generales que conviene tener presente al plantear el objetivo concreto de un proyecto de investigación.

- a) El objetivo de un proyecto de investigación debe seleccionarse teniendo en cuenta la especialidad e idoneidad del investigador o del grupo que debe llevarlo a término, a fin de aumentar las probabilidades de finalizar con éxito el problema planteado.
- b) El objetivo del proyecto debe estar *claramente definido*, de forma que no existan dudas o ambigüedades de lo que se pretende alcanzar. Ello puede hacerse por parte del investigador solamente o por el supervisor de la investigación, cuando este se encarga a un investigador princi-

piante; esta última modalidad no es muy aconsejable ya que casi anula la iniciativa del investigador. En estos casos, tanto el investigador como el supervisor deben de participar en la definición y asumir la responsabilidad de que el objetivo del proyecto quede perfectamente definido.

- c) El objetivo debe *plantearse positivamente*, y nunca formularlo de tal forma que se indique que el propósito es probar alguna cosa. Por ejemplo, si el objetivo es «probar la aptitud del compuesto W como un buen plástico»; de ningún modo prueba que el plástico W es mejor que el plástico Y. La solución al problema puede necesitar comparar determinadas propiedades de W con Y, y con ello, el objetivo puede ser logrado independientemente de cuál es el mejor. Por lo tanto, evitar el empleo del tipo de frase «probar» en el planteamiento del objetivo de un problema de investigación.
- d) Al plantear el objetivo es generalmente aconsejable el plantear un *objetivo general y un objetivo inmediato*. El primero pretende abarcar un campo más amplio que el segundo, dentro del mismo tipo de problema. El objetivo general invita al investigador a obtener algunos datos fuera del área común de la experimentación, lo cual puede llevar a resultados sorprendentes.

Por ejemplo, un problema puede plantearse a un investigador de la forma siguiente: «Mejorar el acabado en un proceso en planta, de forma que se obtenga un producto con el máximo grado de pureza». El objetivo general es la producción de un producto de una pureza deseada. Tal como ha sido planteado el objetivo, se supone que la operación de acabado debe ser mejorada. Si durante el curso de la investigación se observa que las mayores dificultades se producen en operaciones que preceden a la de acabado, entonces no se puede encontrar una adecuada solución del problema y este debería ser redefinido. El objetivo general continuaría siendo el alcanzar la pureza más elevada del producto, y el objetivo inmediato sería mejorar las operaciones previas a las de acabado.

En otros casos, puede plantearse un objetivo general y otro inmediato, que comprendido dentro del anterior, se considere desde un principio como prioritario o fundamental para el planteo de las siguientes etapas. Por ejemplo, se puede plantear el objetivo general de la forma siguiente: «Se desea conocer si un enzima X podría ser utilizado en condiciones óptimas para el tratamiento de una queratina Y, a fin de mejorar una propiedad Z de esta». Para ello, el problema puede abarcar los siguientes objetivos inmediatos, según el siguiente orden de prioridad: «Definir las condiciones óptimas para obtener la máxima actividad de la enzima X»; «Conocer si operando en el entorno de esas condiciones óptimas, la queratina Y experimenta la modificación deseada de la propiedad Z, sin degradar otras propiedades que se consideren importantes». En esta situación el objetivo debe de dilucidarse a través de dos etapas consecutivas.

- e) El objetivo debería reexaminarse después de cada etapa significativa durante la fase 5, *prueba de la solución*. Nuevos hechos pueden dar una visión más profunda del problema y puntualizar mejor el objetivo, bien reduciéndolo, ampliándolo o sustituyéndolo.

6.3. Reunión de los datos conocidos

6.3.1. Fase previa

Al abordar esta segunda etapa es necesario responder a la preguntas: ¿Qué datos? y ¿cuántos datos? No siempre es fácil de responder. Obtener todos aquellos que estén relacionados con el objetivo y sean necesarios para tener un verdadero conocimiento de lo que se ha efectuado hasta entonces, suele ser muchas veces una tarea complicada. El problema es más difícil para el investigador novel y cuanto menos experiencia se tenga en el campo en donde se encuadra el objetivo propuesto.

La solución suele ser en la mayoría de los casos una mezcla de acciones. Consultar en libros, revistas científicas o tecnológicas, en Resúmenes Anuales (Annual Review), en patentes, en actas de congresos, etc., lo que se ha publicado sobre el tema o temas colaterales relacionados con el trabajo. Consultar con colegas que tengan experiencia en el área del trabajo, o en informes internos no publicados. Efectuar una consulta sobre algún aspecto básico del problema y hacer alguna experiencia en el laboratorio que confirme los hechos. El camino a seguir dependerá de varias circunstancias: experiencia que se tenga en el grupo de trabajo sobre el campo a investigar, que el investigador sea experimentado o novel, ambiente cooperador dentro del grupo investigador, personalidad del director o supervisor del trabajo, facilidades en la adquisición de información, etc.

La opinión entre los investigadores experimentados es que en *primer lugar* se debe recapacitar sobre la propia experiencia en hechos pertinentes al problema, siempre, naturalmente, que el área no sea completamente nueva al investigador. En esta etapa preliminar, se debería pensar en posibles soluciones durante un cierto tiempo, antes de considerar lo que otros han efectuado previamente. De esta manera, se puede elaborar un plan provisional escrito que traduzca las ideas propias y frescas del investigador, demostración de su capacidad creativa, evitando los prejuicios que pueden producir los trabajos efectuados por otros.

Finalizada esta primera etapa y si el investigador forma parte de un grupo, lo lógico es discutir sus ideas con investigadores experimentados de su grupo y a partir de aquí, mantener o modificar, de acuerdo con su criterio, el esquema previo planteado. *El contacto personal con investigadores experimentados es muy importante*, en esta primera fase. A partir de aquí, es aconsejable un primer contacto con el laboratorio efectuando unas pocas experiencias, tipo «tubo

de ensayo» o similar, para familiarizarse con el problema. Después se puede iniciar la búsqueda de la información bibliográfica.

En el caso de que el objetivo del trabajo sea completamente nuevo, tal vez lo más aconsejable es documentarse en uno o varios libros, acerca de los aspectos fundamentales del problema. Posteriormente se debería efectuar una recopilación bibliográfica limitada, por ejemplo de los diez últimos estudios efectuados sobre temas similares. Una vez efectuado su estudio, se prepararía un plan provisional, dedicando un tiempo a su reflexión y modificación si procediese; dicho plan debe ponerse por escrito subrayando los aspectos que se consideren más importantes. Después es aconsejable, tal como hemos indicado en el caso precedente, unos primeros ensayos en el laboratorio. A continuación se procedería a la recopilación de la información bibliográfica.

6.3.2. Recopilación y revisión bibliográfica

Su objetivo es tener conocimiento de lo que se ha publicado relacionado con el proyecto de investigación; esta relación puede ser bastante directa o colateral. Ello es necesario por: no repetir un trabajo ya efectuado, por conocer lo que otros investigadores han efectuado en el área del nuevo trabajo, lo que nos puede sugerir nuevas ideas acerca de su planteamiento y, para conocer los métodos de trabajo empleados en casos similares. Tanto si la información es escrita como oral, el investigador debe de afrontarlas con espíritu crítico, comportándose siempre como un «*St. Tomás que duda*». El investigador debe tener presente que mucha información escrita sólo describe «medias verdades» o copias refundidas de varias publicaciones anteriores. Por eso, se requiere una buena selección de las fuentes de información. Por ejemplo, las revistas con revisión previa de los artículos son más aconsejables que aquellas que se publican sin este requisito, lo cual no quiere decir que en estas no se pueda encontrar información interesante; el investigador de un determinado campo suele conocer qué publicaciones son las más aconsejables para estar al corriente del «estado del arte» en su parcela. Por otra parte, en el caso de patentes, necesarias cuando se trata de nuevos productos, procesos, dispositivos, etc., se requiere un conocimiento de las mismas para evitar trabajos en vano o posteriores anulaciones o litigios; el conocimiento de las patentes es muy importante en determinados campos tales como el farmacéutico, el químico, el informático, etc.

De otra parte, cabe preguntarse ¿cuánta información es necesaria? La respuesta es difícil pues depende del objetivo de la investigación, del área de conocimiento, de la información publicada y recensionada y de los medios a disposición del investigador. Por lo general, el investigador experimentado posee un archivo ordenado en donde va almacenando lo que se publica en lo referente a su línea de trabajo, pudiendo mediante su examen, situar el punto de partida desde el cual debe empezar la recopilación bibliográfica, si es que fuera necesaria, mediante la utilización de los bancos de datos informatizados.

Si este no es el caso, es necesario efectuar un barrido bibliográfico, bien a través de los resúmenes informatizados o no, (*Abstracts*), que suelen publicarse en muchos campos científicos, o en los bancos de datos informatizados. La utilización de estos requiere una cuidadosa selección en los términos (palabras clave) empleados en la configuración de la pregunta, a fin de evitar la aparición de índices de títulos y/o resúmenes bibliográficos innecesarios, lo que no siempre puede lograrse, por diferentes causas. Puede ser aconsejable que durante el primer barrido de los datos informatizados, el investigador esté presente con la persona encargada de la manipulación del ordenador, a fin de efectuar la primera selección de la manera más adecuada. El inicio de la búsqueda bibliográfica, depende bastante del área en donde se sitúa el trabajo; en sectores muy dinámicos o en nuevas tecnologías es aconsejable situar el inicio hasta los 5-10 años, mientras que en áreas más tradicionales y dependiendo del tema, se puede ir más allá.

Una vez recogida la primera información y seleccionada aquella que se considera más idónea, se consultan en la biblioteca del centro, solicitando las correspondientes separatas, si es necesario, o bien se solicitan al exterior. La cantidad de información a solicitar en una primera fase no debe ser excesiva, pues ello puede generar confusión. A veces un *Annual Review*, seleccionando la información que contiene, podría ser suficiente, para ampliarse posteriormente, según las necesidades del trabajo.

Para aprovechar bien la información recogida se requiere un estudio inteligente de la misma, que permita una adecuada organización de los diferentes contenidos existentes, para poder efectuar posteriormente la planificación del trabajo.

6.4. Organización de los datos

El método científico sugiere que los datos deben ser ordenados de manera conveniente. Esta etapa, muy necesaria para extraer de la información recopilada aquella que en cada fase del planteamiento, de la ejecución y de la discusión, nos pueda ser de utilidad, es efectuada muchas veces de manera arbitraria.

Para una ordenación adecuada de los datos, puede ser de utilidad el plan provisional al que hemos hecho referencia anteriormente, pues mediante él podemos tener una idea, aunque sea algo aproximada, de las fases en que vamos a desarrollar el trabajo de investigación. En cada una de estas fases, debemos situar de una forma ordenada la información que podemos obtener durante el estudio y reflexión del contenido de los trabajos seleccionados. Aunque cada investigador tiene su forma peculiar de hacerlo, consideramos que una manera eficiente podría ser la siguiente:

6.4.1. Lectura del resumen y conclusiones

Con ello tenemos conocimiento del contenido general del trabajo y de las conclusiones importantes del mismo; en algunos resúmenes se indican también

las conclusiones, aunque de forma más esquemática. Esta primera lectura nos puede mostrar si el trabajo está en el área o línea de investigación que nos interesa y si las conclusiones obtenidas pueden indicarnos si lo que pretendemos lograr ha sido o no hallado previamente. Si este fuese el caso de forma total o parcial, sería necesario el cambio de objetivo o su reorientación. En caso de duda, es recomendable el estudio de la *Introducción*, pues nos pone en antecedentes del estado de la cuestión y del objetivo perseguido con el trabajo.

Esta primera lectura-estudio, nos permite reseleccionar la información que más directamente nos puede interesar.

6.4.2. Lista de los aspectos más importantes

De cada información es necesario hacer una lista de aquellos aspectos que se consideran importantes para ayudarnos a la solución, en cada etapa, del problema planteado. Se sugiere que se puedan agrupar de la siguiente manera:

6.4.2.1. *Campo científico o tecnológico implicado*

En este caso, no se trata de especificar un campo amplio, sino aquel que el conocimiento y experiencia del investigador considere que está más próximo al problema que se desea enfocar en la etapa considerada. Por ejemplo, equilibrio o cinética de reacciones, difusión, microestructura de polímeros, robótica, genética, etc. En cada campo científico se han desarrollado conceptos, teorías, leyes, con o sin expresiones matemáticas, que el investigador debe conocer para su posible aplicación al trabajo que desarrolla. En la tecnología, además de tener presente el campo científico en que está basada la etapa considerada, se requiere el conocimiento del sector tecnológico implicado: farmacéutico, hilatura, electrónico, motores de reacción, etc. Esta especificación puede ayudar a obtener un desglose de la fenomenología de los procesos en cada campo.

6.4.2.2. *Variables*

Determinado el campo del trabajo de investigación, es relativamente sencillo conocer las variables conocidas que intervienen, así como sus relaciones, por medio de expresiones matemáticas o el tipo de tendencia existente entre ellas. Por ejemplo, en electrocinética podemos determinar el potencial zeta considerando a la doble capa difusa como un condensador eléctrico con placas paralelas separadas por una distancia d cm, llevando cada una de ellas una carga e por cm y siendo D la constante dieléctrica del medio entre las hipotéticas placas del condensador; en otros casos, se puede determinar la presencia de un compuesto metálico por la longitud de onda en un espectrofotómetro de adsor-

ción atómica, etc. En determinados problemas, existen variables que no son conocidas suficientemente o se ignora su existencia, lo cual puede ser importante para la resolución del problema, por lo que se debe estar atento a la existencia de esta posibilidad.

6.4.2.3. Clase de datos necesarios

Conociendo el campo científico o tecnológico y las variables que intervienen, es usualmente fácil determinar los datos necesarios para atacar el problema. Por ejemplo, en problemas relacionados con estados de equilibrio es necesario conocer las concentraciones de los reactantes al llegar al equilibrio de la reacción para determinar la constante de equilibrio, en la determinación del *Módulo de Young* es necesario conocer la intensidad del esfuerzo de tracción y la deformación producida por esta, en problemas relacionados con relaciones entre fases, es obvio qué datos sobre el equilibrio de fases son necesarios.

Puede ser que algunos datos básicos no se encuentren y entonces se deben determinar por una experimentación cuidadosa, cuya mayor o menor exactitud dependerá del problema a resolver. Por ejemplo, en algunos casos se desean conocer determinadas propiedades físicas de un producto puro que no han sido referenciadas en la literatura, y para ello se requiere su purificación previa, por diferentes medios, para poder hallarla.

6.4.2.4. Métodos conocidos

El conocimiento de los métodos empleados en los diferentes trabajos examinados es otro de los aspectos que es interesante referenciar, ya que pueden ayudar a la elección de los que tenemos que emplear en el trabajo. Como es natural, en los métodos se describen los equipos empleados, las técnicas operatorias y la fiabilidad de los resultados con el error obtenido en su aplicación. Cuando los métodos empleados han sido estandarizados, generalmente su descripción es más precisa que en los otros casos, por lo que hemos de emplearlos siempre que sea posible. Además, y dentro del margen de precisión requerido, en la elección de un método deben considerarse los aspectos del equipo disponible en el laboratorio o planta, la facilidad de manipulación, el coste del ensayo y su rapidez, para elegir, en su momento, el más adecuado. En muchas investigaciones, cuando los métodos no son conocidos o lo son con poca fiabilidad, la puesta a punto de un método determinado puede significar una investigación importante.

6.4.2.5. Relaciones entre variables

Este tipo de relación puede encontrarse en forma de tendencias sin expresión matemática que las relacione o con expresiones matemáticas que expresen

el tipo de relación existente, lo cual es preferible. Estas relaciones matemáticas pueden ser simples o complejas. Para su posible utilización posterior en la investigación, y si el investigador no tiene los suficientes conocimientos, es aconsejable que se recurra a un experto que pueda ayudarle a calcular y comprender el significado de la expresión matemática.

Otro aspecto importante a considerar es el análisis dimensional de las variables utilizadas, pues mediante él se puede conocer qué puede aprenderse del resultado de la investigación *a priori*. También es importante para separar partes en problemas complejos. El investigador debe considerar el análisis dimensional como una herramienta eficaz para la solución de muchos problemas.

6.4.2.6. *Coste*

En algunos casos, el investigador no es muy amante de efectuar análisis de los costes de un trabajo, o si lo hace no tiende a obtener unos datos lo más aproximados posibles a lo que determinado proyecto puede costar. Esta tendencia suele ir desapareciendo gradualmente, sobre todo en proyectos de investigación subvencionados por entidades públicas o privadas, y sobre todo en la investigación en las empresas. No obstante, hay que tener en cuenta que el cálculo del coste siempre será aproximado, por la propia naturaleza incierta de todo proyecto de investigación, que hace difícil el predecir con exactitud su duración, así como los cambios que puede experimentar durante su desarrollo.

La determinación de coste parciales es justificada por dos razones: en primer lugar, permite seleccionar los métodos menos caros dentro de la posibilidad de elección que permite el proyecto; además, permite tener una visión aproximada de si el coste estimado merece la pena emplearlo en el proyecto. Estos aspectos, cada día más importantes en el proceso investigador por disponer de más ideas para investigar que financiación para ello, serán objeto de tratamiento especial en otro capítulo.

6.4.3. **Técnica de recopilación de la información**

En la técnica para archivar la información se pueden considerar dos aspectos: el sistema empleado para su clasificación y el medio utilizado. Para ello, debe seguirse una pauta que permita al investigador tener una fácil accesibilidad al dato que en un momento determinado pudiera interesarle. Aquí no pretendemos tratar el sistema o la técnica que el investigador debe emplear para recoger toda la información que sobre su especialidad vaya apareciendo, sino aquella recopilada para un trabajo específico, en donde en una separata pueden existir diferentes aspectos relacionados con el tema, que deben ser archivados teniendo en cuenta su similitud con los de otras separatas.

6.4.3.1. Sistema empleado

En cada dato recopilado debe constar:

Revista.- Autor Principal - N.º/Año/Pág.

Los diferentes aspectos tratados pueden clasificarse de acuerdo con varios criterios. Nos parece adecuado aquel que permite al investigador su facilidad de acceso, de acuerdo con el dato que puede interesar. Por ello, proponemos:

1. Estado del arte
 - 1.1. Aspectos científicos y/o tecnológicos
 - 1.2. Campo científico
 - 1.3. Campo tecnológico
2. Objetivo del estudio
 - 2.1. Científico
 - 2.2. Tecnológico
 - 2.3. Otro
3. Variables
 - 3.1. Conocidas y sus relaciones
 - 3.2. Datos a determinar
4. Planificación
 - 4.1. Una variable cada experiencia
 - 4.2. Varias variables simultáneas
 - 4.2.1. Planes factoriales
 - 4.2.2. Diseños experimentales
 - 4.2.3. Diseños no paramétricos
 - 4.3. Otro tipo
5. Experimental
 - 5.1. Materias y productos
 - 5.1.1. Clases, características y procedencia
 - 5.1.2. Técnicas de evaluación
 - 5.2. Equipo
 - 5.2.1. Tipos comerciales
 - 5.2.2. Diseños especiales
 - 5.3. Técnicas experimentales
 - 5.3.1. Desarrollo
 - 5.3.2. Técnica de evaluación de la respuesta
6. Resultados y discusión
 - 6.1. Tablas/Gráficos
 - 6.2. Métodos de cálculo

7. Conclusiones

Cada número (1-7) corresponde a un apartado que se subclasifica según el tipo de dato que se desea recopilar y que puede a su vez subclasificarse. El sistema propuesto no pretende ser completo y puede, por parte del investigador, adaptarse a sus necesidades, pero consideramos que recoge la mayoría de los aspectos que se pueden encontrar en una publicación.

6.4.3.2. Medio utilizado

Todos los datos que se recopilen deben de escribirse. La extensión que se dé dependerá del tipo de dato y de la complejidad del mismo. Por ejemplo, no es lo mismo caracterizar un producto con un método de evaluación estandarizado, que recopilar un diseño especial de la experimentación y la técnica de su empleo.

Para su archivo se puede emplear, bien un sistema de carpetas y subcarpetas en donde en hojas escritas se recogen los datos o un ordenador que confeccionando la base de datos codificada nos permita acceder al dato que buscamos. Consideramos conveniente el archivo por orden de fecha de la publicación.

6.5. Propuesta de solución

6.5.1. Consideraciones generales

Habiendo definido el objetivo, recopilado la información y agrupada esta de una manera ordenada, el investigador debe plantearse en esta etapa qué camino escoge para encontrar la solución a su investigación con los datos que posee, valiéndose de sus capacidades superiores de *conocimiento, inteligencia, juicio y creatividad*. La propuesta de solución constituye una etapa crucial para llevar a buen fin el objetivo de la investigación.

En el Capítulo 5 vimos que existen varios métodos principales de investigación: teórico, experimental, por observación de la naturaleza, etc. Es evidente que cada modo requiere diferente forma de enfocar la etapa que estamos considerando. No obstante, en cualquier caso, es necesario plantear una propuesta. En la investigación teórica o especulativa, la propuesta se presentará como «*creaciones libres de entendimiento humano*» (Einstein); en la investigación experimental la plantearemos como «*qué fenómenos existentes en la naturaleza debemos observar o provocar y cómo lo hacemos*»; cuando observamos la naturaleza inquiriremos «*qué camino vamos a seguir para que ésta nos desvele sus secretos*». Según la respuesta deseada, objetivo de nuestra investigación, así tendremos que formular nuestra pregunta y proponer los medios para obtenerla.

Como punto de partida y después de una intensa reflexión, se recomienda efectuar un listado del camino que se piensa seguir, a fin de potenciar el flujo de ideas. La discusión de estas con los colegas es fuente de estímulo para el pensamiento y para descubrir aspectos que no se habían tenido en cuenta. Buscar ideas mediante un pensamiento directamente intencionado durante tiempo y con esfuerzo mental, es el único camino que puede llevar a efectuar un planteamiento adecuado. Así Newton, durante su estancia de dos años en su casa de Woolsthorpe, después del cierre de la Universidad de Cambridge en donde cursaba sus estudios, en donde había dejado todos sus libros, liberando su espíritu a sus propias fuerzas y meditando intensamente en sus paseos por el campo, llegó a inventar el cálculo infinitesimal, descubrió la gravitación universal y enunció la teoría de la luz; puede pensarse que él fue un caso excepcional, pero la Historia de la Ciencia y de la Tecnología y la experiencia nos demuestran que el descubrimiento requiere un esfuerzo continuado. Este esfuerzo intencionado, primera fase del pensamiento creador, puede ser ayudado por la facultad creativa del investigador, la cual será objeto de otro capítulo. Es necesario escribir las ideas conforme van ocurriendo, evitando un juicio crítico en el momento; asimismo, conviene, posteriormente, compararlas con analogías.

Toda propuesta de investigación experimental requiere una planificación de la secuencia experimental, de los medios a utilizar, de la forma de obtener los resultados y de cómo vamos a interpretarlos. Todo ello debe ser previsto y escrito antes de empezar el trabajo experimental, a fin de que el proceso investigador se desarrolle sin anarquía y en el menor tiempo posible. Con ello no pretendemos decir que la propuesta debe ser como un rígido corsé, sino que hay que planificar y prever antes de actuar, lo cual no es una característica en la forma de hacer del temperamento latino.

6.5.2. Planificación de la secuencia experimental

El tipo de investigación y la experiencia en el campo investigador marcan la forma y la secuencia de cómo debemos efectuar la planificación. Aun a riesgo de ser calificado como simplista, considero que hay dos tipos de planificaciones. Aquellas que por la naturaleza de la investigación se pueden plantear totalmente desde el inicio con una cierta seguridad de conseguir el objetivo de la investigación; y aquellas que por su complejidad o poca experiencia en el tema requieren una planificación en más de una etapa, la primera para efectuar una exploración que dé alguna luz sobre el camino a seguir y una segunda o tercera para fijar el plan definitivo.

En el primer caso se pueden encuadrar aquellas investigaciones dentro del mismo campo experimental en donde se ha trabajado algunos años, y por consiguiente, se conocen las técnicas experimentales. Ellas pueden plantearse para obtener nuevos productos o procesos, o bien para conocer la influencia de determinadas variables en las características de un producto o proceso, con la intención de encontrar calidades que respondan a nuevas exigencias o procesos

más económicos. Por ejemplo, si tenemos el producto A con unas características determinadas (por ejemplo, pureza 95% y rendimiento 85%) obtenidas a través del proceso X, y se nos exige mejorar la calidad y el rendimiento, incidiendo sobre el proceso, necesariamente actuaremos sobre las variables que lo controlan, por ejemplo, tiempo y temperatura, fijando los límites extremos de cada una de las variables y sus intervalos de variación, estableciendo una secuencia de pruebas de mover una variable, cada vez, quedando fija la otra, o efectuar un diseño de la experiencia de mover ambas variables simultáneamente. Esta disyuntiva puede presentarse con tres, cuatro o más variables. En estos casos, el método de dar valores a una sola variable con valores fijos de las otras puede presentar el inconveniente de que la respuesta obtenida para la variable no fuera la misma si las otras variables tuvieran valores distintos.

La planificación o diseño de las experiencias de acuerdo con los métodos estadísticos puede ser una herramienta muy adecuada para solucionar estos casos, ya que permite al investigador, a través de sus diferentes formas de aplicación, la obtención de datos experimentales en un campo amplio de combinación de las variables, con el menor número de experiencias. Mediante estos métodos estadísticos se puede determinar la importancia de cada una de las variables y las de sus interacciones en las diferentes respuestas planteadas al problema investigado, todo ello con un tiempo de experimentación más reducido, lo cual es de gran importancia, tanto en el campo científico como en el tecnológico. Su utilización es, desde muchos puntos de vista, muy recomendable.

En otros casos, la planificación no puede efectuarse con tanta seguridad desde el inicio y es necesario avanzar por etapas en planificaciones parciales. Por ejemplo, Wallace H. Carothers fue encargado por Dupont de Nemours en EE UU de iniciar un programa para la producción de fibras sintéticas. Tomando como modelo la estructura del polímero de la seda constituida por unas cadenas de aminoácidos formando polipéptidos, su equipo realizó, en una primera fase, una serie de policondensaciones que dieran origen a polímeros de elevado peso molecular, sin obtener un resultado positivo, pues los polímeros encontrados eran de peso molecular bajo, ya que el agua formada en la reacción de policondensación hidrolizaba al polímero y no dejaba avanzar su peso molecular. Buscando una solución a este problema, tuvieron conocimiento de la existencia de los reactores con destilación molecular, mediante los cuales podían eliminar el agua formada en la reacción y de esta forma desplazar el equilibrio hacia polímeros de peso molecular más elevado. Empleando este tipo de reactor diseñaron una serie de experiencias de policondensación inicialmente con glicoles y ácidos dibásicos, obteniendo una serie de ésteres poliméricos, poliésteres, uno de los cuales fue el que dio idea a Carothers para la obtención de una fibra sintética. Las fibras así obtenidas no cumplían con las exigencias requeridas para su aplicación, por lo que estuvo a punto de abandonar aquel camino. Entonces Carothers pensó que la solución podría venir de la sustitución de los glicoles por diaminas o por aminoácidos. La nueva serie de experiencias dio como resultado una fibra de poliamida obtenida con la hexametilendiamina y el ácido adípico, conocida como Nylon 66 en el año 1935,

muy empleada durante la Segunda Guerra Mundial para la fabricación de paracaídas y de gran éxito comercial posteriormente para diversas aplicaciones tales como vestido, cordelería, redes, etc. Esta investigación, así como muchas otras realizadas similarmente, por ejemplo la investigación de colorantes, pueden encuadrarse en la investigación denominada de «ensayo y error».

6.5.3. Planificación de los medios a utilizar

En este apartado incluimos los materiales y/o productos a utilizar, el equipo necesario y sus técnicas operatorias.

6.5.3.1. Materiales-productos

El tipo de material con el que se va a efectuar la investigación debe quedar bien definido en cuanto a sus características principales, composición, estructura, constantes físicas o químicas, etc. En determinadas investigaciones es necesario un grado de pureza extrema, por ejemplo en la obtención de los reactivos empleados en análisis o de productos químicos de gran pureza; mientras que en otras, por ejemplo en las que tienen una finalidad industrial, suelen emplearse materiales que respondan en sus características a las que posteriormente tendrán los que se empleen industrialmente, ya que en caso contrario los resultados obtenidos no podría ser empleados con seguridad. Consideraciones análogas se pueden indicar para los productos que se emplean en determinadas reacciones, o en los análisis de los resultados obtenidos en los ensayos. Siempre que sea posible, deben utilizarse materiales y productos de los que se pueda disponer con relativa facilidad. Asimismo, se debe trabajar siempre con el mismo lote durante toda la investigación, pues ello asegura la uniformidad, lo cual siempre es deseable. Con ello queremos indicar que hay que tener una cierta previsión en la cantidad necesaria y tomar un margen de seguridad por exceso, a fin de prever la repetición de operaciones por fallos en las experiencias.

6.5.3.2. Equipo

El equipo de investigación ha experimentado una notable modificación si lo comparamos con el que utilizábamos hace sólo 30 años. Además de la existencia de un mayor número para efectuar diferentes tipos de operaciones o evaluaciones, el equipo se ha modificado haciéndose más complejo, más fiable, informatizado para almacenar la entrada, cálculo y recogida de datos, más rápido y, desde luego, más caro. Para algunos de ellos se requieren verdaderos especialistas, dada la complejidad de su manejo; estos constituyen una valiosa ayuda para el investigador evitándole un trabajo largo, tedioso y de poca creatividad. Su adquisición crea a veces verdaderos problemas de financiación a los centros de investigación, por lo que la necesidad de adquisición para un deter-

minado proyecto debe sopesarse cuidadosamente, buscándose alternativas, que pueden pasar por una modificación de la planificación que no altere el objetivo del proyecto, por la utilización mediante pago de equipos existentes en otros centros, sobre todo cuando el número de ensayos y la continuidad futura de su utilización no está garantizada, etc.

Efectuadas estas consideraciones, en el equipo necesario hemos de distinguir dos casos principales. La utilización de equipo estandarizado factible de encontrarse en casas comerciales especializadas o ya existente en instalaciones nacionales o supranacionales, dado su elevado coste de utilización general para sus miembros. La utilización de espectrofotómetros UV, IR, de absorción atómica, cromatógrafos HLPC, aparatos de RMN, viscosímetros, dinamómetros, regularímetros, equipos ópticos, etc., todos ellos automatizados y con ordenadores incorporados, son de uso frecuente en los laboratorios de investigación. En otros casos donde el coste suele ser de varios miles de millones, por ejemplo el CERN (Centre de Recherche Nuclear) para el estudio de partículas del átomo, o el ITER para los estudios de fisión nuclear, o las estaciones para estudios astrofísicos, es necesario recurrir a financiaciones supranacionales para poder dotarlos de los costosísimos equipos necesarios para este tipo de investigaciones.

En otras investigaciones, el equipo debe ser diseñado expresamente por los investigadores, valiéndose de componentes existentes en el mercado o que ellos deben construirse, demostrando con ello ingeniosidad y un conocimiento profundo de las fases de la experiencia y de las leyes que intervienen en el fenómeno. Ello es bastante frecuente en investigaciones de química industrial, *hardware* para informática, dispositivos en física textil, investigaciones en fluodinámica, etc. Al dispositivo básico suelen incorporarse los correspondientes aparatos de control, registradores, ordenadores, etc., o sea, todo aquello que pueda dar fiabilidad y rapidez a la experimentación.

6.5.3.3. Técnicas

Las técnicas experimentales las podemos considerar divididas en dos amplios grupos. Aquellas que se refieren al proceso/s que vamos a seguir para obtener respuestas del fenómeno que estamos estudiando y las relacionadas con el análisis de los diferentes parámetros que nos interesa conocer en la respuesta dada.

Las primeras son propias del trabajo de investigación que desarrollamos y la cuantificación y el número de sus variables han sido indicadas en la planificación para cada experiencia, debiéndose especificar el modo operatorio a seguir, la secuencia en que efectuaremos la toma de muestras cuando esto fuese necesario, etc. Así, por ejemplo, cuando deseamos establecer una isoterma de absorción al estado de equilibrio entre una proteína y un ácido, cuyas variables iniciales son conocidas, deberemos indicar cada cuánto tiempo efectuaremos la toma de muestra entre ambos compuestos, cómo la efectuaremos, qué

tipo de agitación emplearemos, etc., hasta llegar a encontrar una relación entre ellos constante a partir de un tiempo determinado experimentalmente. Todo ello debe quedar completamente escrito en sus partes más esenciales antes de empezar la experimentación.

Las relacionadas con el análisis de los diferentes parámetros necesarios para conocer la respuesta, bien sean técnicas conocidas estándar o sólo métodos analíticos por comprobar, será necesaria su puesta a punto experimental, así como conocer el error que se produce en la determinación, bien porque ya esté descrito y tengamos que comprobarlo, o porque sea necesario determinarlo experimentalmente, de acuerdo con los métodos estadísticos existentes para ello, por ejemplo el *Test de Student* u otros. Análogamente a lo indicado anteriormente, los métodos analíticos deben quedar escritos y comprobados antes del inicio de la experimentación, a fin de que los valores obtenidos de los resultados de la experiencia posean la necesaria validez.

Sucede a veces, que la planificación de las técnicas efectuada debe modificarse durante el curso de la experimentación, a tenor de los resultados que se obtienen. En estos casos, después de unos ensayos de tanteo, debe de volverse a describir la nueva técnica a seguir, anulando la primera.

6.5.3.4. Resultados y su discusión

Según la índole del trabajo convendrá o no separar estas dos partes para mayor claridad expositiva.

Los resultados suelen darse en forma de tablas numéricas, con la precisión que requieran los datos que posteriormente vamos a emplear en posibles cálculos, o mediante gráficos, pero no suelen emplearse ambos, al menos para unos mismos resultados experimentales. Las tablas pueden ser, en algunos casos, difíciles de interpretar y entonces es mejor recurrir a los gráficos. Es un problema que puede aplazarse y tomar la decisión más conveniente durante el desarrollo del trabajo, pero en cualquier caso tenemos que saber qué tipo de ecuaciones hay que emplear y por qué, una vez obtenidos los datos experimentales.

Los resultados de las experiencias y de los análisis pueden interpretarse sin necesidad de cálculos posteriores o requerir de estos para su utilización en la discusión. Por ejemplo, si durante una cinética tenemos como resultado directo de la experimentación la cantidad de cuerpo reaccionado en función del tiempo y la temperatura, y queremos conocer las constantes de la velocidad de reacción, k , y la energía aparente de activación, E_a , será necesario determinar dichas constantes mediante las ecuaciones correspondientes, y una vez determinadas estas para cada temperatura aplicaremos la ecuación de Arrhenius para obtener el valor de E_a .

La discusión de los datos obtenidos es de gran importancia. Consideramos que a través de ella se puede catalogar la profundidad de conocimientos del

investigador, su facultad de análisis y su objetividad y capacidad crítica. Algunos investigadores se contentan en expresar por escrito lo que ya es evidente por los datos obtenidos, lo cual puede resultar pobre como discusión que no pretende analizar las posibles causas. Otros, por el contrario, hacen una interpretación profunda contrastando los resultados obtenidos con los de otros investigadores, a la vez que exponen las posibles causas de su analogía o desavenencia. Siempre que sea posible hay que intentar esta última forma de hacer una discusión del trabajo. Es evidente que la discusión debe posponerse a la realización parcial o total del trabajo, pues pueden existir etapas intermedias donde sea necesario reflexionar acerca de los resultados que se van obteniendo; considero buena práctica esta opción.

Para ello, le pueden servir de ayuda los trabajos recopilados. Su reflexión previa, debe de plantearse bajo el supuesto de los posibles de los resultados experimentales a fin de tener unas líneas de interpretación escritas, según sean dichos valores.

6.6. Prueba de la solución propuesta

Una vez escrita la planificación del trabajo de investigación, la etapa siguiente consiste en materializar los diferentes aspectos del trabajo mediante su ejecución, bien sea en el laboratorio, la planta piloto, el campo de experimentación agrícola o ganadera, el túnel de ensayos, el observatorio, etc.

Es evidente que cada área de trabajo puede requerir una forma específica de llevarlo a término, y por ello nos limitaremos a exponer unas pautas de tipo general que puedan servir de guía al investigador principiante en el desarrollo de la experimentación.

Según nuestra opinión, los aspectos a considerar pueden tener relación con:

- La organización del trabajo.
- El plan de trabajo.
- El investigador.

6.6.1. La organización del trabajo

En cualquier actividad es necesario llevarla a término de forma organizada para que resulte más eficaz. El trabajo de investigación no es una excepción, debiendo tener presente que se necesita:

- a) Una previsión de los materiales, productos, equipo instrumental, material fungible, de forma que no se tenga que interrumpir la investigación por su carencia. Es una buena costumbre el disponer de una cierta cantidad superior a la necesaria, en previsión de experiencias mal ejecutadas y que

deben repetirse, o de experiencias que para una mayor precisión de los datos deben duplicarse sobre las previstas en el plan. El equipo instrumental a emplear debe ser revisado para asegurarse su buen funcionamiento, sobre todo en aquellos casos donde su utilización no es muy frecuente.

- b) La ejecución del trabajo experimental requiere la utilización de un espacio suficiente que permita una adecuada atmósfera de trabajo para disponer los materiales y aparatos de forma ordenada, en evitación de errores en la manipulación, accidentes, agobio del personal, etc.
- c) En el lugar de trabajo, además del orden, cada cosa en su sitio, se debe procurar la limpieza del material utilizado a medida de que ya no es necesario y su colocación, una vez limpio, en el sitio que se le tiene asignado para su almacenamiento y conservación. Causa impresión de desidia en el trabajo el observar los laboratorios o talleres experimentales llenos de objetos sucios y que no son utilizados.
- d) Especial cuidado debe tenerse con los equipos delicados y caros, tanto por lo costosas que son sus averías como por el retraso que se produce en la investigación cuando estas se producen. En muchos casos, los técnicos especializados del suministrador tardan en presentarse, sobre todo si tienen que recibir las piezas de recambio del extranjero. En la elección de un suministrador es conveniente asegurarse de la rapidez y eficacia de su servicio posventa; en igualdad de circunstancias, son preferibles aquellos que poseen *stocks* de reposición en áreas cercanas al centro investigador.
- e) El trabajo debe organizarse en las máximas condiciones de seguridad personal y para ello, el centro debe de disponer de lo necesario que exigen las normas de seguridad. Ello es importante en laboratorios que utilizan productos químicos agresivos, tóxicos, inflamables, etc., y en laboratorios o talleres mecánicos o eléctricos en donde es necesario que existan las salvaguardias necesarias para evitar accidentes. Estos aspectos deben tenerse hoy muy presentes en la instalación de un centro o laboratorio de investigación, ya que repercuten en la seguridad del personal y en su mejor rendimiento en el trabajo.

6.6.2. El plan de trabajo

En la ejecución del plan de trabajo establecido deben de tenerse en cuenta algunas consideraciones:

- a) La planificación establecida se considera el mejor camino para alcanzar el objetivo propuesto evitando la anarquía. Sin embargo, ello no quiere decir que su rigidez sea de tal naturaleza que nos impida su modificación cuando a través de los resultados, en muchos casos parciales, la reflexión y el razonamiento así lo aconsejen.

- b) La experiencia enseña que es conveniente, después de cada etapa de cierta entidad, reflexionar sobre los resultados obtenidos y considerar si ellos confirman lo esperado o por el contrario se apartan de lo que en buena lógica debía acontecer. En cualquier caso, es conveniente el comentar con los miembros del equipo de investigación el resultado parcial encontrado. En algunas investigaciones, un resultado inesperado ha sido fuente de nuevas ideas, enriquecedoras del conocimiento, dando origen a nuevas investigaciones, tal fue el caso de Henri Becquerel al descubrir la radiactividad.
- c) Al iniciar el trabajo experimental consideramos conveniente seguir las siguientes pautas:
- 1) *Como primera acción, poner a punto todas las técnicas analíticas a utilizar, con conocimiento de su error operacional.* Como ya hemos indicado, puede que alguna técnica constituya un trabajo de investigación colateral. No se debe iniciar el plan experimental propiamente dicho sin antes tener la seguridad del dominio de las técnicas analíticas, ya que con ellas vamos a evaluar los resultados de aquél.
 - 2) *Como segunda acción, se recomienda una duplicación, si es posible, de los casos extremos de la experiencia planificada.* Con la duplicación y sus resultados nos aseguramos que dominamos la técnica de la experiencia y con experimentación en los casos extremos pretendemos conocer si los límites de las variables elegidas son los adecuados, siempre que no se den puntos intermedios en donde aparezcan máximos o mínimos, lo cual también es factible.
- d) Durante el desarrollo de la experimentación, si bien no es posible hacer una lista exhaustiva de recomendaciones, sí que conviene indicar algunas de las más relevantes:
1. *Cada experiencia debe ser cuantitativa, dentro de los límites del equipo utilizado.* Esto significa que aún en experiencias tipo «*tubo de ensayo*» o similares, se debería obtener los datos, aunque sean aproximados, de forma que puedan ser referencia para experimentos ulteriores. Muchas horas de tiempo se emplean en querer duplicar experimentos preliminares por no haber tenido esta precaución.
 2. *Justificar todos los productos.* En algunos de los ensayos iniciales deberían identificarse todos los productos, gaseosos, líquidos o sólidos que se forman, así como su balance material.
 3. *Utilización del análisis de la variancia en el control de las variables críticas.* El análisis estadístico es de gran ayuda en la evaluación de los resultados de la experimentación. La experimentación debería diseñarse teniendo en cuenta su utilización.
 4. *Experimentar con una o varias variables cada vez.* En la experimentación donde no sea posible la utilización del análisis de la variancia,

cambiar sólo una variable en cada experiencia. Cuando se utilicen varias variables, el cambio de estas debe de efectuarse de acuerdo con unos esquemas establecidos que faciliten los cálculos posteriores, lo cual debe de tenerse en cuenta en la planificación.

5. *Seleccionar cuidadosamente las variables a medir.* En igualdad de circunstancias es preferible medir las variables que pueden dar una respuesta directa e importante acerca del problema. Por ejemplo, puede ser más fácil medir el cambio de conductividad de un metal y calcular el cambio de temperatura, que medir directamente el cambio de esta.
6. *Observar y recoger todos los resultados.* Sucede alguna vez que los datos más significativos de una experimentación son aquellos que a primera vista se consideran como erróneos. Por ello, todos los datos, buenos o malos, deben ser recogidos en el *Diario de Experiencias o de Laboratorio*, del cual nos ocuparemos posteriormente.

6.6.3. El investigador

6.6.3.1. Responsabilidad personal

La vigilancia personal de la ejecución del proyecto de investigación del cual es responsable, no se debe delegar. Existe una tendencia en algunos investigadores experimentados: el dejar la marcha de la experimentación a los asistentes del laboratorio o taller. Si así se hace, el investigador responsable debe inspeccionar y observar las experiencias frecuentemente, manteniendo una adecuada comunicación con ellos.

6.6.3.2. Observación

En general, la capacidad de observación del investigador es una cualidad que se desarrolla por la educación y se aumenta por la experiencia y cierta aptitud personal para fijarse en lo que sucede a su alrededor. En determinados casos, la observación visual de la marcha de la experiencia es de un valor incalculable para conocer el desarrollo del fenómeno, que sólo puede hacerse con la presencia *in situ* del investigador. La actitud, más que una observación, debe ser una *contemplación con reflexión sobre lo que está sucediendo*, de tal forma que casi se llegue a identificar personalmente con lo que sucede. Hemos podido comprobar esta circunstancia en varios casos en donde la observación fue la clave para cambiar las condiciones experimentales que condujeron al éxito del proyecto; a veces, un cambio de viscosidad con la temperatura, un cambio de color durante la experiencia, son datos importantes, que deben ser anotados para su interpretación posterior. El investigador experimentado debe hacer comprender al principiante la importancia de la observación durante el

desarrollo de las experiencias y la necesidad de anotar rápidamente lo observado, sin fiarse de la memoria.

En la investigación por observación de la naturaleza, esta actitud del investigador es condición imprescindible durante el desarrollo del trabajo.

6.6.3.3. Horario

Una investigación debe llegar a ser parte integrante de la vida del investigador, de forma que aun fuera de las horas de presencia en el laboratorio o taller, la inquietud por el desarrollo de la experimentación debe ser casi constante durante la duración de esta.

Siempre que sea posible, la experimentación debe hacerse compatible con un horario razonable. No obstante, existen circunstancias en donde ello no es posible, y en estos casos, el investigador debe supeditar su horario a la buena marcha de la experimentación. En algunas circunstancias, tales como fases clave de la experimentación, la presencia física durante el desarrollo del trabajo, debe ser prioritaria a otras actividades propias de su estatus, tales como asistencia a conferencias, congresos, seminarios, etc.

6.6.3.4. Relación personal

Los centros de investigación y los laboratorios o talleres correspondientes están organizados bajo una estructura de tipo piramidal y la buena armonía a lo largo de las relaciones verticales es probablemente el factor más importante para una buena marcha de la investigación.

Durante la experimentación, tres tipos de relación personal deben tenerse en cuenta para una buena marcha de aquélla. La relación entre el investigador experimentado, el principiante y el asistente, que son los que en mayor grado participan directamente en la ejecución de las experiencias. Si de acuerdo con la estructura piramidal, establecemos una escala jerárquica de esta relación, a fin de simplificar el esquema, que necesariamente no tiene que cumplirse siempre, se puede indicar lo siguiente acerca de las relaciones entre el investigador experimentado y el principiante.

- Es importante que el investigador experimentado escuche los puntos de vista del principiante, lo cual implica una correcta accesibilidad y trato atento hacia este. Sin embargo, debe ser precavido en intervenir directamente en los planes y programación del principiante, a fin de no coartar su creatividad.
- En el intercambio de sus puntos de vista, el investigador experimentado debe expresar su amplio conocimiento sobre la materia objeto del proyecto, indicando los elementos clave de la investigación y, por consiguiente,

las cuestiones importantes, dejando las contestaciones a estas a la responsabilidad del investigador principiante. Si fuese necesario le dará unos consejos para ayudarlo, pero la resolución final debe ser efectuada por este.

- El principio de dejar el detalle de la experimentación al investigador principiante no debe interpretarse demasiado estrictamente, pues existen determinados momentos, por ejemplo la puesta a punto de técnicas complicadas, la presencia de dificultades en el desarrollo del trabajo, que hacen necesaria la directa acción del investigador principal para que el trabajo vaya hacia adelante y para que él esté bien informado de la situación.
- La comunicación entre el investigador principal y los principiantes durante el desarrollo del trabajo debe efectuarse de manera informal y sin que requiera emplear mucho tiempo. La duración de una hora cada quince días puede ser una orientación adecuada. Los investigadores principiantes que intervengan, no más de cinco o seis, deben exponer aquellos aspectos más interesantes y las dificultades que se presentan en el desarrollo del trabajo, exponiendo sus puntos de vista para resolverlos, discutiéndolos pero sin esperar un «resuélvalo así».
- El investigador principal que dirige un grupo debe tener especial cuidado para crear entre todos un ambiente de cooperación, evitando situaciones de suspicacia o desconfianza que creen tensiones durante el trabajo y que primen la espontaneidad y la libre discusión entre todos en los momentos oportunos. Para ello, debe mantener una conducta neutral y objetiva en la valoración de la eficiencia del trabajo realizado por cada uno.

6.6.4. El Diario de Experiencias

Indicábamos anteriormente que de todo aquello que se observa o efectúa durante el desarrollo de la experimentación debe quedar constancia escrita, para evitar que la memoria olvide algunos aspectos que pueden ser decisivos el recordar durante el desarrollo del trabajo experimental. Para ello se utiliza el *Diario de Experiencias* (DE), también conocido como *Diario de Laboratorio* (DL) cuando la experimentación se efectúa en estos. Aunque existen varias maneras de llevarlo a la práctica, consideramos que puede ser de utilidad el proponer algunas pautas que la experiencia ha demostrado como adecuadas para el fin que debe cumplir este documento. De acuerdo con dicha propuesta, creemos conveniente el definir los siguientes aspectos del DE/DL: finalidad, contenido y estructura.

6.6.4.1. Finalidad

Este documento tiene por finalidad dejar constancia escrita, de forma clara, ordenada e inteligible, de cómo se ha efectuado cada experiencia y de las

observaciones a que ha dado lugar, a fin de poderla repetir, si fuese necesario, tanto por el propio investigador o por personas ajenas en un determinado periodo de tiempo, para contrastar los resultados experimentales obtenidos. Constituye un documento muy valioso de la investigación y nunca debe ser omitido durante el desarrollo del trabajo.

Su lectura y reflexión pausada nos permite una consideración tranquila de los datos, forma de llevar a cabo la experiencia, de los resultados obtenidos, de las modificaciones a introducir, caso de que las consideremos necesarias, así como si se cumplen o no las expectativas esperadas de la investigación en curso.

Por otra parte, es evidente que el contenido del DE/DL es fundamental para establecer la discusión de los resultados, las conclusiones del trabajo, su publicación, bien en forma de comunicación científica, bien para mejoramiento de nuestro «saber cómo hacer» (*know how*) o para la solicitud de una patente.

Se debe de ir efectuando simultáneamente a la experiencia, cuando los datos, observaciones y reflexión acerca de lo que acontece está viva en nuestra mente y el tiempo no nos desvirtúa la realidad de los hechos.

6.6.4.2. *Contenido*

En cuanto al contenido del Diario; pueden existir dos criterios. En uno, se incluyen en el mismo Diario la *planificación de las experiencias* conjuntamente con los datos y observaciones que la experimentación va mostrando; en otro, se separan la *planificación de las experiencias* en un documento aparte y en el Diario se anotan lo que es propio de este en el desarrollo experimental, consultándose en el primero cómo efectuar cada experimentación según la planificación programada, o las modificaciones de estas, que en transcurso del trabajo han sido introducidas. La utilización de una u otra forma puede depender de la amplitud del trabajo a desarrollar, siendo aconsejable la primera modalidad cuando la investigación no es muy extensa; y la segunda en el caso contrario; no obstante, en la adopción de una u otra también puede ser determinativo el hábito del investigador o las normas existentes en donde se investiga, laboratorio, centro de investigación, empresa, etc.

El contenido del Diario debe estructurarse de forma que sea fácil conocer el tema de la experimentación, el personal que ha intervenido, la fecha cuando se llevó a término, los detalles de cada experiencia, la discusión de los resultados importantes y las conclusiones del trabajo, así como las posibles futuras investigaciones a efectuar. Si nos centramos en el contenido fundamental del Diario, *la transcripción del desarrollo de cada experiencia* debe contener:

- Tipo de materiales y productos utilizados, con sus especificaciones.
- Tipo de instrumentos empleados y sus técnicas.
- Esquemas o planos de montaje de dispositivos utilizados.

- Técnica experimental empleada haciendo constar aquellos parámetros más importantes y las condiciones de desarrollo de la experiencia.
- Observaciones importantes, si las hubiere, durante el transcurso de la experimentación.
- Resultados numéricos obtenidos, expresados en sus unidades, bien en forma de tablas o de gráficos.
- Fórmulas empleadas en la elaboración de los resultados, así como los valores hallados con sus unidades. Caso de utilizar ordenadores para los cálculos, indicar el programa utilizado y su fuente original, adjuntando los valores obtenidos en una hoja que pueda adherirse al documento. Los nuevos resultados se presentarán en tablas o gráficos, según convenga para su mayor claridad y comprensión actual y futura.
- Discusión parcial de los resultados finales, indicando la concordancia, disconformidad o novedad con los hallados por otros investigadores, citando la bibliografía pertinente.
- Cualquier tipo de anotación que se considere conveniente o necesaria para ulteriores experiencias.
- Experiencias abandonadas y su justificación.
- Experiencias relacionadas de otros trabajos y su ubicación (archivo y fecha).
- Fecha de inicio y terminación de la experiencia.
- Firma del realizador/es de la experiencia, del investigador y del director de la investigación.

La escritura debe ser con caligrafía clara, escueta, indicando lo esencial. Los esquemas deben de bien definidos con las anotaciones correspondientes que permitan su buena comprensión. Los planos, si los hubiere, se efectuarán siguiendo las normas existentes para su elaboración.

6.6.4.3. Estructura

En relación a la estructura del Diario, podemos considerar su composición material y la forma de estructurar su contenido.

La experiencia aconseja que el Diario esté formado por hojas de tamaño holandesa, DIN A4, o similar, con encuadernación fija y tapas consistentes. Las hojas pueden llevar rayas horizontales, lo que favorece la escritura, o ser cuadrículadas, lo que facilita el diseño de esquemas, gráficos y tablas. Cuando su consumo es elevado en determinadas instituciones, se pueden diseñar específicamente, de acuerdo con la forma de combinación de rayas y cuadrículas que se adapte mejor al trabajo a efectuar. Deben de estar numeradas para facili-

tar su búsqueda en el índice de contenidos del Diario. En el caso que el trabajo requiera la utilización de más de una libreta, estas se numerarán desde la inicial a la final, en orden consecutivo a cómo se han efectuado las experiencias.

Aunque la mayoría de los investigadores utilizan un solo Diario para el trabajo experimental, algunos prefieren la utilización de dos diarios para el mismo trabajo. En este caso, se consideran dos niveles de datos. En un Diario, el más «bajo o sucio», se incluye todo lo efectuado y observado: figuras poco precisas, croquis mal hechos, tablas de experimentos abandonados de tentativas infructuosas, tachaduras de observaciones equivocadas, conjuntamente con el resto de información utilizable, en una palabra: «*todo*». El otro Diario, «alto o limpio», es de utilización menos frecuente y todo lo que se anote en él, debe de ser cuidadosamente anotado. Se extrae del Diario anterior de manera ordenada y clara, indicándose la discusión de los datos, sus conclusiones y nuevas propuestas, por lo que durante su ejecución, el investigador tiene tiempo de reflexionar y actuar como un científico.

Pueden existir variaciones de este método. Para el Diario «sucio» se utilizarán sólo un lado de las páginas. El otro lado puede ser utilizado para notas adicionales posteriores y por aquellas indicaciones que el investigador considere que pueden ser necesarias como referencias futuras en el desarrollo del trabajo.

Sea cual sea la estructura dada, uno o dos diarios, todo investigador debe tener bien claro que la utilización de «*hojas sueltas debe estar prohibida para efectuar las anotaciones*».

La forma de estructurar el contenido puede ser variada, siendo aconsejable la siguiente:

- a) La primera página debe de servir para la identificación del proyecto de investigación y su localización en el archivo, conteniendo: título, personas que intervienen, fecha de inicio, número de clasificación, etc.
- b) En las siguientes, a modo de introducción, se anotarán: el objetivo y las conclusiones más relevantes, de tal forma que puedan servir de guía al futuro interesado si el contenido del trabajo puede ser o no de su interés.
- c) A continuación se indicarán, de forma concisa, las referencias de trabajos anteriores del autor o de otros, que han servido de base para saber la situación del conocimiento (*state of art*) del área en la que se sitúa el trabajo de investigación.
- d) Después de las anotaciones anteriores se inicia, en páginas numeradas cada una de las experiencias, indicando su número, condiciones experimentales de forma detallada, observaciones durante el transcurso de la misma, los resultados y el análisis de los mismos. Deben anotarse tanto las experiencias positivas como las negativas, las repeticiones de experiencias, etc. Caso de tener que modificar el plan experimental, se argumentarán detalladamente las razones del cambio. El conjunto de

las anotaciones experimentales constituye la parte más importante del Diario.

- c) Cerrará la parte teórica y experimental un resumen de las discusiones más importantes y las conclusiones del trabajo, así como los posibles desarrollos futuros, si hubiere lugar a ello.
- d) Finalmente se anotará el tiempo transcurrido y la desviación sobre el tiempo previsto. Se efectuará un balance del coste de la experimentación, de acuerdo con los criterios generales establecidos en el Centro. Asimismo, se indicarán las participaciones externas, tanto desde el punto de vista experimental como las ayudas económicas recibidas y su fuente.
- f) Al final se pondrá un índice que facilite la búsqueda de algún dato concreto.

6.6.5. Análisis y discusión de los resultados

Ya indicábamos en el apartado de la Planificación las consideraciones a tener en cuenta acerca del análisis y discusión de los resultados (6.5.3.4.), podemos ahora concretar algo más acerca de ello en la etapa de la experimentación.

En primer lugar, hemos de indicar, tal como dijimos anteriormente (6.5.3), que según el tipo de investigación el análisis y discusión de los resultados puede efectuarse en determinadas fases de la experimentación que se consideran importantes para su posterior desarrollo o al final de la misma. Por lo general, en las investigaciones cuyas etapas posteriores se apoyan en los resultados obtenidos en etapas previas, es aconsejable la primera modalidad; sin embargo, en investigaciones planificadas con una programación estadística es necesario poseer los resultados del conjunto de experiencias para proceder a su análisis.

En esta etapa del método científico es donde se pone a prueba, más que en otras, ciertas capacidades del investigador tales como:

- Profundidad de sus conocimientos tanto en el tema del trabajo como en las ciencias básicas en las que se fundamenta. En algunos casos, el investigador necesita recurrir a colegas especializados en determinados campos no dominados por él o su grupo, con el fin de aclarar posibles interpretaciones de los resultados o efectuar determinados cálculos que sobrepasan su capacidad, bien por falta de conocimientos o por carecer de los equipos necesarios para ello.
- En esta etapa, también se demuestra su capacidad creativa en la interpretación de los resultados. Por lo general, en una primera fase se utiliza el *pensamiento lógico* para ello, pero si este no aporta la solución es necesario recurrir al *pensamiento creativo* (imaginación, iluminación o inspiración), para encontrar la solución al problema. Dada la importan-

cia que actualmente se atribuye a este para encontrar soluciones a problemas complejos, nos referiremos con más detalle a las diferentes formas y técnicas empleadas para su utilización en un capítulo posterior.

- La etapa de análisis y discusión de los resultados requiere un gran esfuerzo mental, tanto en tiempo como en intensidad, por lo que en muchas ocasiones se produce una cierta fatiga. En estos casos, es necesario tomarse un periodo de descanso, que sin olvidarse completamente del problema, se procure reducir su intensidad aplicándose a otras actividades: lectura, pasear, visitar exposiciones, etc. Después, puede volverse a atacar el problema.
- El análisis y discusión de los resultados puede efectuarse de varias maneras, dependiendo ello del método de investigación y del objetivo que se persiga. Bien exponiendo lo que muestran los resultados experimentales sin ninguna modificación que implique transformaciones de tipo matemático, aplicación de leyes físicas o químicas, tal como sucede en investigaciones de observación de la naturaleza, o utilizando aquéllas para obtener determinadas constantes, ecuaciones, leyes, etc. que, al mismo tiempo hagan más general su aplicación, permitan profundizar más en la fenomenología por la cual se rige el tema que se investiga. En cualquier caso, la discusión debe plantearse con la mayor profundidad científica o tecnológica posible.
- En la medida de lo posible, durante la discusión debe indicarse si los resultados obtenidos concuerdan o no con los hallados por otros investigadores, exponiendo las posibles causas que pudieran originar la similitud o discrepancia, así como la necesidad o no de confirmar los resultados mediante nuevas experiencias. Asimismo, se indicarán los posibles nuevos temas a investigar que sugieren los resultados obtenidos.

6.7. Presentación de los resultados

La presentación de los resultados es la última etapa del método científico. Como criterio general, se puede indicar que en la presentación final influye el lugar y circunstancia en donde estos deben exponerse.

Así, si el trabajo tiene por finalidad un estudio científico o técnico que pueda ser difundido en seminarios, simposios, congresos, revistas científicas o técnicas, su forma de presentación deberá atenerse a la normativa que en cada caso se dé a los autores, tanto en lo que hace referencia a la forma de estructurar la presentación como a su extensión. Por ejemplo, es muy corriente que estas exposiciones consten de: introducción, parte experimental, resultados, discusión, conclusiones, agradecimientos y bibliografía.

Si el trabajo ha sido efectuado con el objetivo de obtener un conocimiento que sólo puede comunicarse internamente, bien sea una empresa, institución

estatal, por ejemplo Defensa, o sea, que esté bajo cláusulas de confiabilidad, la exposición será de tal forma que se indique claramente si se ha alcanzado el objetivo propuesto y la forma de conseguirlo a escala industrial, indicando claramente las diferentes fases para ello. No interesan tanto los aspectos científicos o técnicos como «la forma de llevarlo a término». En el caso de la empresa, es usual que además del *Raport* completo para su archivo, se efectúe otro de contenido técnico para fabricación y otro de contenido para comercial-mercado.

Si bien en algunos casos sólo interesa un conocimiento de «cómo hacer» (*know-how*) determinado proceso o artefacto internamente, en otros, interesa buscar una protección al conocimiento adquirido y para ello se recurre a patentarlo, bien a nivel nacional o internacional. En estos casos, existe una norma para efectuar las patentes que deben ser seguidas por aquellos que desean utilizar este sistema de protección a sus descubrimientos. Normalmente, una patente consta de: introducción de la situación del conocimiento y el objeto perseguido por la patente, ejemplos de cómo deben obtenerse los resultados que se indican en el objetivo de la patente, bien mediante procesos o acompañando diseño de dispositivos, y las reivindicaciones que amparan lo patentado.

Dada la importancia de este apartado, dedicaremos posteriormente un capítulo para su exposición detallada.

Quedan así expuestas las seis etapas del denominado método científico utilizado, mayoritariamente, en investigación.

Obras consultadas

- Lewis E. Lloyd, *Techniques for Efficient Research*. Edit. Chemical Publishing Company Inc., New York, 1966.
- Noltingk B.E. *The Art of Research*. Edit. Elsevier Publishing Company, Amsterdam-London-New York, 1965.
- Noltingk B.E. *The human element in research management*. Edit. Elsevier Publishing Company, Amsterdam-London-New York, 1959.
- Cegarra J. *Apuntes curso metodología investigación e innovación tecnológica*, UPC, 1985.
- Howard M. Kanare, *Writing the Laboratory Notebook*. Edit. American Chem. Soc., 1985.
- Willis H. Waldo, *Better Report Writing 2º edit.* Edit. Reinhold Publishing Corporation, New York, 1965.
- Primo Yúfera, E. *Introducción a la investigación científica y tecnológica*, Edit. Alianza Editorial, Madrid, 1994.

La investigación en la industria

7.1. Introducción

En el Capítulo 3, al citar los diferentes tipos de investigación, definimos la Investigación Tecnológica (3.3) o de Desarrollo como aquella que tiene por finalidad la invención de artefactos o procesos con el objeto de ofrecerlos al mercado y obtener un beneficio económico. Asimismo, indicábamos su necesidad o no de apoyarse en la Investigación Aplicada, según el sector tecnológico en el que se trabaja. Por otra parte, dada su finalidad, cuando se ha alcanzado con éxito el objetivo propuesto, se lograba la innovación tecnológica, y que para ello era necesario cumplir con una serie de requisitos fundamentales, allí expuestos.

La innovación tecnológica viene justificada por la evolución, cada vez más rápida, de los productos y los métodos de producción que se dan en una economía de mercado globalizado, tan extraordinariamente competitivo como el actual. Ello obliga a las empresas a una conversión permanente, más acentuada en unos sectores, bajo pena de desaparecer o de ser reconvertidas en condiciones difíciles en los aspectos sociales, técnicos y financieros. Esta situación es válida tanto para las industrias más tradicionales como para aquellas consideradas como de avanzada tecnología.

Es un hecho conocido que la vida comercial de los productos técnicos de una empresa presenta, generalmente, una evolución como la indicada en la Figura 7.1, en donde se pueden apreciar las fases de introducción, lanzamiento, madurez y declive. Antes de que se produzca la última etapa, la empresa innovadora debe de tener a punto la sustitución total o parcial del producto, bien empleando técnicas comerciales, nuevos clientes, nuevos usos, o procediendo a su sustitución por otro de mejores características, producto de su innovación tecnológica.

Este ciclo varía de unos sectores industriales a otros, produciéndose actualmente una tendencia general hacia el acortamiento del tiempo de vida del producto.

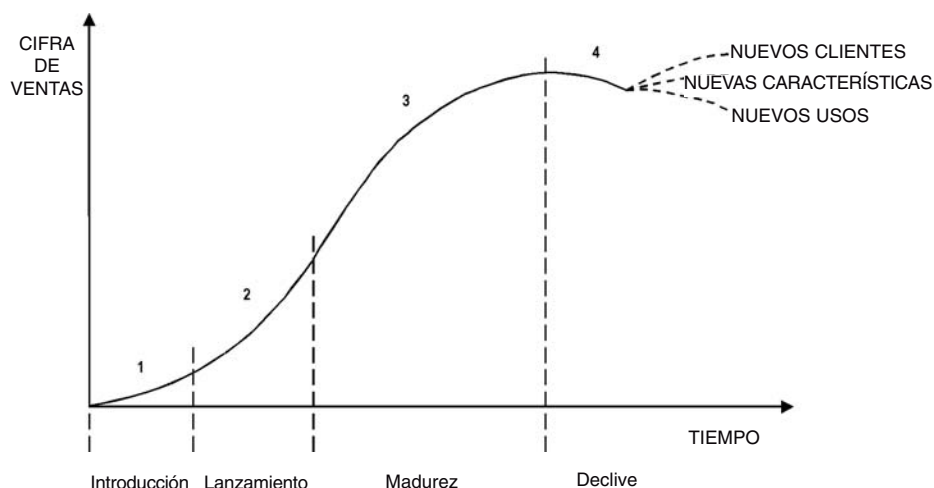


Figura 7.1. Ciclo de vida de un producto ⁽¹⁾.

La innovación tecnológica de la empresa puede conseguirse de varias formas:

- Por la adquisición de patentes o del «*know-how*» de otras empresas, consistiendo entonces en la denominada «innovación interna», es decir, la empresa adquiriente introduce en el mercado un nuevo producto que no tenía en su gama de oferta, pero que ya estaba en el mercado, en donde entra a competir.
- Mediante una información eficaz de los conocimientos técnicos y productos existentes, así como de los que aparecen continuamente en el mercado. En este caso, también la innovación es de tipo interno pero puede tener una mayor libertad para configurar el nuevo producto de su oferta, lo cual requiere una investigación de desarrollo.
- Realizando estudios sobre «Previsión Tecnológica», empleando las diversas técnicas existentes para ello y efectuando posteriormente el tipo de investigación más adecuada a su propósito.
- Efectuando investigación industrial que según el producto puede abarcar desde la aplicada a la de desarrollo.

La innovación tecnológica no es una acción simple, sino la totalización de una serie de acciones interrelacionadas. No es únicamente la concepción de una idea nueva, ni la invención de un nuevo producto, proceso o sistema a través de la investigación, ni el desarrollo de un nuevo mercado, pues el proceso innovador comprende todas esas acciones actuando *de forma integrada* para buscar el cambio tecnológico. Ello puede sintetizarse en la expresión.

Idea + Investigación + Desarrollo + Producción + Venta = INNOVACIÓN

Aunque existen varios modelos para describir el proceso innovador, preferimos el representado por el esquema propuesto por D. G. Marquis⁽²⁾, que mostramos en la Figura 7.2.

Dado el carácter de esta obra, sólo nos referiremos a las etapas que son la base para obtener la innovación tecnológica a través de la propia investigación, ya que acerca de otros problemas generales y específicos de la innovación tecnológica, tales como integración de la política innovadora en la política general de la empresa, estrategia innovadora, gestión, dirección, etc., ya existen varias obras en castellano y en otros idiomas perfectamente documentadas, algunas de cuyas fuentes incluimos^{(3), (4), (5), (6), (7), (8)}. Además, el tipo de innovación que estamos considerando es el que es denominado por D. G. Marquis como «innovación de tornillos y tuercas» que es el que acostumbran a efectuar la mayoría de las empresas.

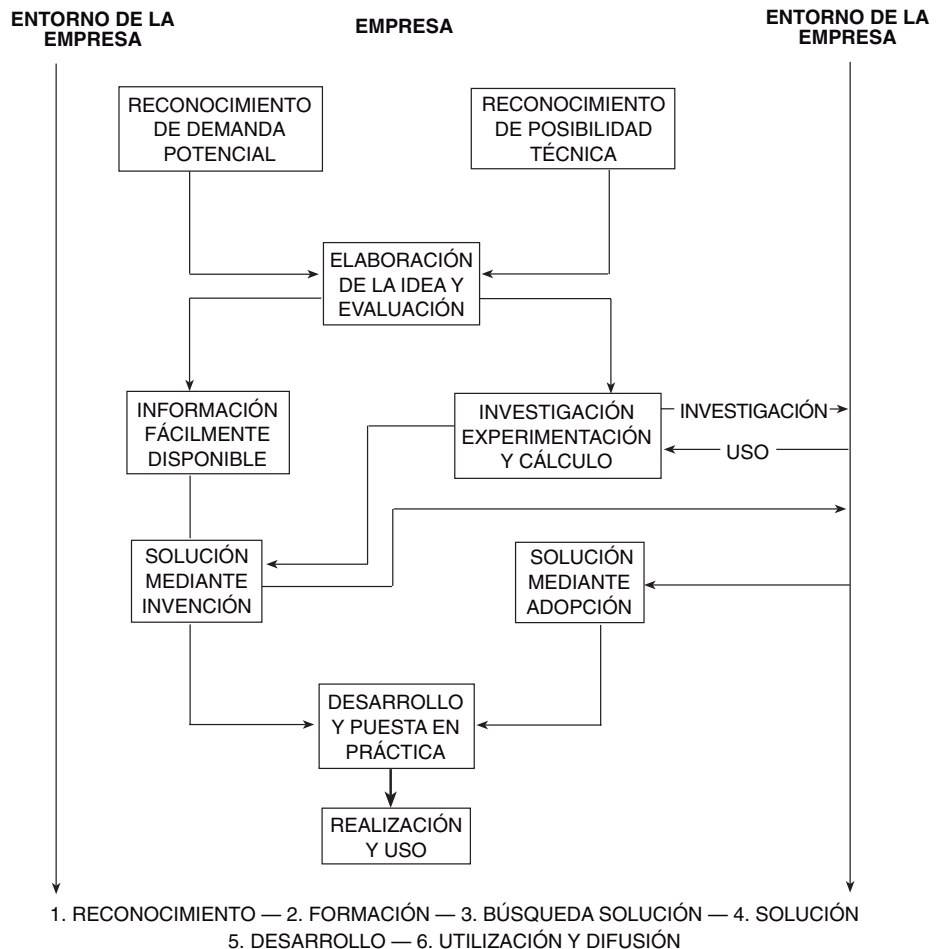


Figura 7.2. Etapas del proceso de la innovación tecnológica.

La investigación en la industria, tanto si en su primera fase es aplicada como en el caso sólo de desarrollo, sigue las mismas etapas que hemos indicado en el Capítulo 6. Sin embargo, al tener su finalidad en la puesta a punto de procesos, productos o artefactos en el mercado de forma competitiva, la forma de cubrir las etapas de todo el proceso investigador-innovador presentan características propias, algo diferentes a las que hemos expuestos al tratar de la investigación fundamental o aplicada. En su examen nos vamos a detener en el presente capítulo.

Análogamente a como ocurre en otros tipos de investigación, en la investigación industrial el riesgo que se corre es tanto mayor cuanto más se apoya en lo abstracto (investigación fundamental); como contrapartida, más importantes son las ventajas que se pueden esperar de sus resultados. Por lo general, esta investigación de alto riesgo sólo se efectúa por parte de grandes instituciones o empresas, las cuales dedican un cierto porcentaje de sus efectivos a su desarrollo.

7.2. Generación de la idea

Por establecer una comparación con las etapas indicadas en el Capítulo 6 acerca del método científico, podemos indicar que la *generación de la idea* guarda cierta similitud con la etapa *planteamiento del objetivo*.

Si en el esquema propuesto, Figura 7.2, observamos cuáles son las fuentes de la generación de la idea innovadora en la empresa, encontramos dos aspectos diferentes del problema:

- a) La fase correspondiente a las etapas en virtud de las cuales reconocemos y evaluamos una necesidad del mercado, de la empresa o una posibilidad técnica, que nos indica la posibilidad de «hacer algo nuevo».
- b) La fase denominada «búsqueda de la solución» en la cual generamos «sistemas» para conseguir el objetivo indicado anteriormente.

Ambos aspectos han sido profusamente estudiados en los países desarrollados, mediante encuestas efectuadas a determinado número de empresas, en épocas diferentes, en innovaciones que alcanzaron éxito en su implantación.

7.2.1 . Reconocimiento y formulación de la idea

En estas fases, los factores del mercado y las necesidades de producción suelen ser determinantes para generar la innovación. Esta se estimula con mercados en expansión, mediante innovaciones que tienden a satisfacer las crecientes demandas de productos por parte del mercado; en mercados no expansivos y cuando aumentan los costes, la innovación se orienta a reducir el coste

de los productos. Según se dé una u otra circunstancia, así se orienta la innovación y, por consiguiente, la investigación de la empresa. Además, en las empresas se empieza por la innovación de productos, sin que el coste sea un factor muy determinativo, y a medida que aparecen los productos competidores, se va adoptando gradualmente la innovación hacia la reducción de los costes de fabricación.

Otra fuente de innovación importante se origina como respuesta a los avances científico-tecnológicos, los cuales crean nuevas oportunidades, no sólo en su área sino en otros sectores industriales. Así, los avances en el sector informático han creado nuevas oportunidades en la creación de nuevos productos en el campo de las comunicaciones y en muchos sectores industriales, ayudando a la mejora del control de los procesos y a la robotización de los mismos.

Además, las empresas tienden a efectuar sus innovaciones en áreas donde son competentes y donde la obtención de beneficios se pueda obtener en plazos relativamente cortos.

Varios investigadores de esta área han analizado los orígenes de las ideas que han llevado a innovaciones con éxito. Los resultados se indican en la Tabla 7.1.

Si los datos de Myers y Marquis se analizan bajo otro punto de vista, los resultados (Tabla 7.2), muestran dónde se inició la idea innovadora.

Puede apreciarse que casi la mitad de las innovaciones tuvieron su origen en la demanda del mercado; la tercera parte por necesidades de la producción y una quinta parte porque alguien indicó que existía una oportunidad técnica que podía ser aprovechada.

Como puede apreciarse de los resultados de las Tablas 7.1 y 7.2, las fuentes donde se originan las ideas que dan origen a la innovación tecnológica son

Tabla 7.1. Porcentaje de innovaciones procedentes de

Autor	Mercado	Oportunidad	Tamaño
Baker y col. ⁽⁹⁾	77	23	303
Custer y Willians ⁽¹⁰⁾	74	27	137
Sherwin y Isemon ⁽¹¹⁾	61	34	710
Myers y Marquis ⁽¹²⁾	75	25	567

Tabla 7.2.

Innovación iniciada por	Nº de casos	%
Oportunidad técnica	120	21
Demanda del mercado	257	45
Necesidades de producción	169	30
Cambio administración pública	21	4
Total	567	100

variadas, Tabla 7.2, *predominando la demanda del mercado y las necesidades de la producción sobre el reconocimiento de una oportunidad técnica*. Por ello, entre otras características que más adelante expondremos, las empresas innovadoras deben de disponer de las estructuras y los medios necesarios para responder eficazmente a la pregunta, que luego analizaremos:

¿Cómo detectar convenientemente las necesidades actuales y potenciales del mercado en el área de su competencia?

Myers y Marquis⁽¹²⁾ investigaron, tanto en el interior como en el exterior de las empresas, la forma a través de qué fuentes se generó la idea inicial; la Tabla 7.3 presenta los resultados obtenidos.

Tabla 7.3. Fuentes de información de entrada de los datos clave

El informador obtuvo los datos	N.º de casos	%
Interior de la empresa		
Información escrita: revista, patentes, etc.	9	2
Contactos personales	25	4
Experiencia y formación del personal	230	41
Cursos organizados	1	0
Experimentación (I + D)	40	7
Total	305	54
Exterior de la empresa		
Información escrita: revista, patentes, etc.	33	6
Contactos personales	120	21
Experiencia y formación del personal	230	41
Cursos organizados	8	2
Total	200	36
Fuentes múltiples	62	10
	567	100

Del conjunto de los datos de la Tabla 7.3 se infiere que en el interior de la empresa se generan un 50% de los datos para la generación de la idea y en el exterior un 36% de los mismos, siendo la experiencia, la formación del personal y los contactos personales los que constituyen el 73% de los datos clave para la generación de la idea innovadora. Ello plantea la pregunta:

¿Qué debe hacer la empresa para tener un personal experimentado y con formación adecuada?

Por otra parte, E. A. von Hippel y col.⁽¹³⁾ han investigado sobre 160 productos de cuatro áreas (Instrumentación, Equipos para Procesos, Polímeros y Aditivos), la importancia de los usuarios como fuente de generación de ideas que posteriormente han sido comercializadas con éxito por las empresas manufactureras. Los resultados aparecen resumidos en la Tabla 7.4.

Tabla 7.4. Investigación en productos de distintas áreas

Campo de Innovación y criterio de selección	Primer dispositivo usado y desarrollado por Utilizador Producido/Manufacturador	
<i>Instrumentación</i>	Innovación instrumentos científicos	
Primer prototipo (4)	100%	0%
Mejoras funcionales importantes (44)	82%	18%
Mejoras funcionales menores (63)	70%	30%
<i>Equipos de proceso</i>	Innovación equipos electrónicos y semiconductores	
Primer prototipo comercial (7)	100%	0%
Mejoras funcionales importantes (22)	63%	37%
Mejoras funcionales menores (20)	20%	80%
<i>Polímeros</i>	Innovaciones en ingeniiería de polímeros desarrolladas en EE UU después de 1955 cuya producción en 1975 excede a 10 millones de libras (6)	
	0%	100%
<i>Aditivos</i>	Innovaciones en plastificaciones y estabilizadores ultravioleta desarrolladas en EE UU después de 1945 y utilizadas en cuanto grandes polímeros (16)	
	0%	100%

*Los números entre paréntesis indican el número de casos de cada muestra

Como puede apreciarse, existen sectores tecnológicos en donde la idea inicial y el primer desarrollo se efectúan por los usuarios, mientras que en otros son las propias empresas las que tienen la iniciativa.

Ante todas estas circunstancias y siguiendo con nuestra exposición damos paso a la siguiente pregunta y sus posibles soluciones.

7.2.1.1. *¿Cómo detectar convenientemente las necesidades actuales y potenciales del mercado y producción en el área de su competencia?*

Según Cegarra, la empresa debe plantearse y resolver eficazmente las siguientes cuestiones ⁽¹⁴⁾:

- ¿Se está en situación, por estructura y proximidad, de poder reconocer las necesidades reales del sector a corto y medio plazo?
- ¿Se dispone de un equipo multidisciplinar para formular correctamente la idea?
- ¿Se posee un sistema capaz de transmitir dichas necesidades de forma real y rápidamente para su posterior evaluación?

Aunque las funciones aludidas son básicas para plantear la idea correctamente, es evidente que la creación de un sistema de resolver adecuadamente las preguntas formuladas depende del tamaño de la empresa (multinacional, gran-

de, mediana y pequeña), de su área de actuación (nacional o internacional) y del rango que quiera ocupar (*leader*, seguir al *leader* o copiar inteligentemente).

Si centramos nuestro enfoque en las denominadas PYMES, puesto que gran número de las empresas pueden ser encuadradas en esta categoría, en la mayoría de los casos el contacto con el mercado del producto se efectúa a través de la sección comercial y el contacto con los avances técnicos mediante la sección de producción. Conforme aumenta el tamaño de la empresa, la Sección Comercial puede dividir sus funciones en la venta y en el estudio del mercado, siendo esta última la encargada de captar las necesidades de este, bien con el contacto con los clientes, en el caso de las necesidades actuales o bien mediante técnicas de prospección, por ejemplo Delphi⁽³⁾ en el caso de necesidades futuras.

En cuanto a las necesidades de producción, los mejores situados para conocerlas son el Director de Planta y su equipo de colaboradores, tanto en lo que se requiere para el mejoramiento de la instalación actual a fin de mejorar la calidad, productividad, seguridad en el trabajo, el impacto ambiental, etc., como las futuras demandas que pueden plantear la fabricación de nuevos productos. Para ello, los contactos personales con los constructores de equipos, la asistencia a ferias monográficas, la comunicación con la sección de mercado, la lectura de revistas especializadas, etc., suelen ser los medios más idóneos.

Como puede apreciarse en la Tabla 7.3, la incidencia del equipo de I+D en la generación de la idea no es muy significativa (7%). La misión de este será, una vez aceptada la idea, cómo llevarla a término con éxito, dentro de las coordenadas de la empresa. No obstante, como veremos más adelante, *la comunicación entre I+D y producción y marketing es absolutamente necesaria* para un buen enfoque en el planteamiento de cómo resolver el proyecto de investigación.

7.2.1.2. *¿Qué debe hacer la empresa para tener un personal experimentado y con formación adecuada?*

Como en la estructura innovadora de la empresa intervienen diversas funciones, tal como hemos visto anteriormente, es evidente que el conjunto del personal involucrado en la innovación es el que hay que tener presente para contestar adecuadamente a la pregunta expuesta en este apartado. No obstante, dado el ámbito de este libro y a fin de no sobrepasar unos determinados límites, nos referiremos concretamente a los componentes del equipo investigador, en el bien entendido de que las adecuadas respuestas para ellos, con pequeños matices, pueden hacerse extensivas a los que en producción, marketing y finanzas intervienen en el proceso de innovación en la empresa.

En el Capítulo 4, en sus apartados 4.5 y 4.6, se definieron las características que considerábamos más importantes del investigador y del grupo de investigación, así como algunos aspectos relacionados con la influencia de la política de la empresa con el grupo investigador para que se sienta motivado. Se trata, ahora y aquí, de cómo debe la empresa conocer la variación que a través del tiempo se

produce entre el personal investigador, en sus diferentes categorías, para que se cumpla el objetivo indicado en esta pregunta. Los aspectos más importantes que deben considerarse a los diferentes niveles y sobre los cuales la empresa debe obtener una respuesta para tomar la resolución conveniente, son los siguientes ⁽¹⁵⁾:

1. Director de I+D

- a) ¿Comprende la estrategia política de la empresa para encauzar la I+D de acuerdo con aquélla, al mismo tiempo que considera la importancia de I+D en la viabilidad de la empresa, teniendo suficiente experiencia y siendo un entusiasta de I+D?
- b) ¿Es reconocido por el personal de I+D como el director adecuado para obtener los objetivos propuestos por la dirección general y defender el papel desempeñado por I+D en el logro de aquellos en el pasado y los que hay que conseguir en un futuro muy competitivo?
- c) ¿Está convencido de la necesidad de una formación continuada a todos los niveles de su departamento, tanto en el interior como en el exterior de la empresa, impulsando las acciones necesarias para lograrlo, tales como reciclado en ciencias experimentales, nuevas tecnologías generales y de la especialidad, idiomas, recursos humanos, creatividad, etc.?

2. Jefe de laboratorio

- a) ¿Tienen conocimiento de la política de I+D de la empresa, la comparten y consideran la importancia que el buen funcionamiento de la unidad bajo su mando puede tener en la buena marcha de la empresa?
- b) ¿Comprenden bien las actitudes y pensamientos de la dirección de I+D, los comparten o discuten adecuadamente y se responsabilizan ante él de los resultados de su grupo? ¿Mantienen una adecuada comunicación con los otros jefes de laboratorio de I+D y sus homólogos en los otros departamentos involucrados en la innovación?
- c) En relación con los investigadores de su laboratorio, saberles fijar sus objetivos concretos y actuar como supervisor de sus trabajos o dejarles actuar como tales. Por otra parte, establecer la adecuada comunicación mediante contactos personales y a nivel de grupo, preocupándose de evitar tensiones internas, de la formación necesaria de cada miembro de su grupo, de su cualificación objetiva, de fijar los límites de su responsabilidad y de hacerlos partícipes de los éxitos o fracasos de su trabajo.

3. Investigadores

- a) ¿Mantienen una actitud de entusiasmo por su trabajo, teniendo presente que son investigadores de una empresa y de la importancia de su cometido en el logro de una buena marcha de la misma?

- b) ¿Se consideran con suficiente formación, experiencia y habilidad para investigar los temas que se les proponen, planteando adecuadamente su trabajo y recabando la formación necesaria para desarrollarlo con más competencia?
- c) ¿Procuran mantener una buena comunicación y colaboración con el jefe del laboratorio, con sus compañeros y ser asequible a las preguntas de sus ayudantes, resolviendo profesionalmente los problemas que estos le planteen en el desarrollo de la experimentación?

Como se puede apreciar por lo indicado, el tema del personal es clave en el buen funcionamiento de la innovación en la empresa. Muchas otras preguntas podrían haberse formulado para profundizar y solucionar los aspectos que no están suficientemente bien resueltos, y para ello invitamos al lector a consultar la bibliografía indicada ⁽¹⁵⁾.

7.2.1.3. *Formulación de la idea*

Una vez reconocida la idea por cualquier persona de la empresa, debe formularse correctamente, a fin de que pueda ser comprendida y aceptada para su posterior evaluación. Dado que hemos visto que las fuentes de generación de la idea pueden ser varias y que cada persona tiene su forma especial de expresar sus ideas, es aconsejable que la formulación no la efectúe únicamente la persona que la tuvo, sino que mediante un pequeño grupo multidisciplinar en donde intervengan las personas de mercado, producción e I+D, más directamente afines al problema planteado, se formule la idea de forma concisa, clara, explicando bien su contenido, el objetivo deseado, así como los antecedentes sobre los que se fundamenta. Ello debe hacerse en un pequeño formulario, que variará según se trate de una investigación aplicada, sobre producto, proceso, máquina, dispositivo, etc. En el Anexo de este Capítulo, pág. 188, se muestra un formulario para producto (n.º 1), a título orientativo. El formulario que contiene la idea debe de ser enviado al Comité de Dirección para su conocimiento y su aprobación, sugerencias o rechazo, según la visión más amplia que posee de los objetivos a corto o medio plazo de la empresa, antes de iniciar la evaluación de la idea. Si dicho Comité da su aprobación, la etapa siguiente es la evaluación de la idea propuesta.

7.3. Evaluación de la idea

Así como en la década de los cincuenta y sesenta la filosofía imperante sobre la I+D era que «*toda investigación era buena y cuanta más investigación mejor*» y por lo tanto se dedicaron enormes sumas de dinero a su financiación, en los últimos tiempos esta situación ha cambiado por varias razones: gran competitividad entre las empresas como consecuencia de la globalización de la economía, creciente coste de los proyectos de investigación, mayor complejidad de los proyectos, reducción del margen de beneficio de las empresas, ciclicidad de periodos de crisis, entre otras.

Además, en las empresas innovadoras existen, por regla general, más propuestas de proyectos que capacidad financiera para abordarlos. Todo ello ha hecho necesario el buscar una metodología para seleccionar los proyectos de investigación, a fin de obtener un rendimiento adecuado de las grandes cantidades que se dedican a este fin.

Para ello, es necesario establecer unos criterios que determinen la viabilidad técnico-económica de un proyecto antes de su inicio. Se piensa, que en el futuro se gastará tanto o más tiempo en decidir si un proyecto se lleva a cabo y cómo realizarlo que en su ejecución.

El problema es complejo, de solución no fácil y no completamente satisfactorio en ninguno de los métodos elegidos. A pesar de ello, las grandes empresas están de acuerdo de que es indispensable efectuar esta labor de evaluación, a pesar de sus limitaciones. Otro aspecto a tener en cuenta es que cada empresa necesita un sistema adecuado a sus características, lo cual es equivalente a decir que cada caso debe estudiarse específicamente y que es difícil la transferencia o el empleo de un sistema general aplicable a todos los casos. Además, existe un consenso general en que la evaluación no sólo debe abarcar el proyecto de investigación, sino extenderse al conjunto del proyecto de innovación. También es conveniente conocer que al seleccionar un proyecto siempre se corre un riesgo, menor, según nuestro criterio, que cuando la selección se efectúa dejándose llevar sólo por la intuición.

En las PYMES, este problema no está adecuadamente resuelto y la elección de un proyecto u otro, en el caso de existir varios, se deja a la intuición del gerente o director de I+D, lo cual puede llevar a resultados poco acordes con el fin perseguido, creando un desaliento en la empresa acerca de los beneficios que se pueden obtener del adecuado funcionamiento de I+D, lo que a veces lleva a optar por otros caminos para la innovación.

El problema se puede presentar de dos formas diferentes:

- A. Dado un proyecto concreto, evaluar si es mínimamente interesante para la empresa.
- B. Dados diversos proyectos, escoger aquél o aquéllos, en este caso indicando la prioridad, que tienen mayor interés para la empresa.

El caso A es de más fácil resolución que el B, requiriendo en este último caso consideraciones más amplias de la empresa, técnicas más complejas, cuya aplicación tampoco ofrece una completa garantía. Dados los límites que nos hemos impuesto a este tratado y al lector al que van dirigidas, nos limitaremos a exponer las líneas generales del caso A, que, por otra parte, es el más frecuente en el tipo de empresa mediana o pequeña. Para resolver el problema del tipo B, es absolutamente necesario que queden bien definidos los objetivos y estrategia general de la empresa, seleccionando los proyectos de acuerdo con ellos, teniendo en cuenta los resultados de la evaluación individual de cada proyecto.

De acuerdo con estas consideraciones, según nuestro criterio, podemos decir que el sistema general de evaluación comporta tres etapas: el método a emplear, la selección de los criterios que está relacionada con el método, y la evaluación propiamente dicha.

7.3.1. El método

Independiente del sistema o método elegido, en todo sistema de evaluación deben de tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- Idoneidad del Grupo de I+D.
- Factores de producción.
- Factores de mercado.
- Aspectos financieros.
- Probabilidad de éxito.

Existen muchos métodos de evaluación descritos en la literatura, los cuales pueden agruparse en dos:

- Métodos basados en *listas de control*, con diferentes variantes.
- Métodos basados en *índices de rentabilidad*, de varios tipos.

Los métodos basados en listas de control suelen ser empleados por las medianas y pequeñas empresas, y los de índices de rentabilidad por las empresas de gran tamaño o con proyectos de alto riesgo. Estas también suelen emplear los primeros en un estado inicial del proyecto y cuando este está «definítivamente perfilado», optan por el segundo.

Dado la índole de este tratado, nos limitaremos a dar unas líneas generales acerca de los fundamentos de cada método, dejando a los interesados en profundizar en esta problemática la consulta de textos más especializados, referenciados en la bibliografía de este capítulo ^{(16), (17), (18), (19), (18), (20), (21)}.

7.3.1.1. Métodos basados en listas de control

En principio, los métodos de las listas de control están concebidos para *clasificar los proyectos en orden de su mérito*, pero no dan una idea clara del valor intrínseco de cada proyecto, pues aun obteniendo un índice global, resulta difícil indicar cuál es el valor mínimo que dicho índice debe tener para aceptar o rechazar el proyecto. Para solucionar esta dificultad suele proponerse, en algunos métodos, efectuar un análisis de los valores alcanzados por proyectos anteriores que han resultado malos, aceptables, buenos o excelentes y que han sido evaluados con el método propuesto y comparar el valor obteni-

do por el proyecto que se valora entre la horquilla de valores encontrados anteriormente.

Los métodos basados en las listas de control están fundamentados en el establecimiento de unos criterios, considerados importantes, los cuales hay que tener en consideración para la evaluación del proyecto. Los criterios se suelen reunir en grupos homogéneos para su evaluación: I+D, producción, mercado, financieros, y otros. Cada grupo está compuesto de varios subcriterios, los cuales pueden ser evaluados cualitativamente, por ejemplo, como muy favorable, favorable, mediano, desfavorable, muy desfavorable, o utilizando clasificaciones menos extensas. Un ejemplo de este método se indica en la Tabla 7.5, propuesto para industria química.

Tabla 7.5. Métodos basados en la lista de control

CONCEPTOS	Fav.	Medio	Malo	CONCEPTOS	Fav.	Medio	Malo
<i>I+D</i>				<i>Mercado - Comercial</i>			
Novedad técnica				Ventajas del producto			
Estado patentes				Competencia producto			
Idoneidad equipo				Extensión mercado			
Adquisición equipo				Estabilidad mercado			
Personal necesario				Permanencia mercado			
Tiempo necesario				Demanda cíclica			
Tecnología Compañía				Demanda estacional			
Ganancia know-how				N.º Clientes potenciales			
<i>Producción</i>				Tasa crecimiento mercado			
Mejora proceso producción				Compatibilidad productos actuales			
Disponibilidad equipo				Exigencias de promoción			
Materias primas nuevas				Tiempo para implantación			
Desperdicios				Posibilidad licencias			
Polución				<i>Financieros</i>			
Compatible con procesos actuales				Volumen de ventas estimadas			
Conocimiento nuevo proceso				Tiempo para alcanzar el volumen de ventas			
Nuevas adquisiciones equipo				Coste total innovación			
Necesidad nueva mano de obra				Ratio Ventas anuales/ Coste I/D			
Rentabilidad				Tiempo recuperación inversión total			

Con este tipo de evaluación se obtiene una visión global que ayuda a comparar, subcriterio a subcriterio, los proyectos entre sí; ello ayuda a formar un juicio que permite definir mejor una decisión que la basada únicamente en una apreciación global del proyecto.

En el caso de evaluación cuantitativa se pueden adoptar varias formas, siendo una de las más sencillas la conocida como método del «*perfil*», tal como se muestra en la Tabla 7.6, que sirve para apreciar los puntos fuertes y débiles del proyecto, estableciendo un escalado de 1-5 o 1-10 para cada concepto, antes del inicio de aquél, y obrar en consecuencia.

Tabla 7.6. Método del perfil

CONCEPTOS	VALORES						
<i>Factores técnicos</i>	1	2	3	4	5	6	7
<i>Posibilidades equipo</i>	1	2	3	4	5	6	7
<i>Comunicación entre secciones</i>	1	2	3	4	5	6	7
<i>Posibilidades de fabricación</i>	1	2	3	4	5	6	7
<i>Posibilidades de comercialización</i>	1	2	3	4	5	6	7
<i>Posibilidades de financiación</i>	1	2	3	4	5	6	7

Marcando el valor de cada grupo y uniéndolos entre sí da una imagen sobre los factores fuertes y flojos en la evaluación del proyecto. Una de las ventajas de este método es su simplicidad y que no requiere excesivo «papeleo», sólo, eso sí, que los evaluadores sean expertos en cada uno de los factores que evalúan. En algunos casos se forman grupos de evaluadores para un grupo de factores, según la competencia de los expertos para evaluar varios factores, separadamente de los otros grupos.

El método del «perfil» tiene la ventaja de que permite una representación gráfica que da una visión global del proyecto. Se recomienda para efectuar una valoración inicial de los proyectos que están en una fase preliminar de aceptación, pero no da explícitamente una medida en la que basar la selección. Además presenta el inconveniente, por otra parte común a otros métodos, de la dificultad al atribuir el valor a cada factor.

En el segundo caso, se da para cada grupo un valor numérico, suma de las diferentes valoraciones de cada factor; este valor puede ir o no afectado de la probabilidad de éxito correspondiente al grupo. Los valores de cada grupo se suman obteniéndose al final un valor, el cual, por comparación a una tabla, indica la posibilidad de éxito o fracaso del proyecto. La asignación de un valor numérico a cada grupo o factor es meramente subjetiva y se basa en la experiencia del o de los que proponen los diferentes criterios que entran en la valoración. Por ello, no es posible transferir los criterios y valoraciones de una empresa a otra, si bien en casos de empresas muy similares se pueden

adoptar aproximaciones que la experiencia debe de corroborar *a posteriori*. Para situar al lector acerca de la forma que suelen tener estas listas de criterios, exponemos dos ejemplos, pertenecientes ambos a la industria química.

Milton A. Glaser propuso un sistema de evaluación de proyectos de I+D que comprende los siguientes factores o grupos ⁽²⁰⁾.

<i>Factor</i>	<i>Valor</i>
1. Efectividad de la comunicación	20
1.1. Técnica con Marketing	10
1.2. Técnica con clientes	5
1.3. Técnica con técnica	5
2. Competencia científica y tecnológica	20
3. Presencia de un « <i>leader</i> »	15
4. Reconocimiento de una oportunidad de mercado	15
5. Reconocimiento de una oportunidad técnica	10
6. Grado de interés de la dirección	10
7. Factores competitivos	5
8. Tiempo	5
Total	100

Como puede apreciarse la comunicación entre los diferentes estamentos de la empresa y del mercado conectados con I+D es de gran importancia en la evaluación. De acuerdo con los criterios de Glaser y relacionando las puntuaciones obtenidas por diferentes proyectos de I+D y su éxito o fracaso, Glaser indicó que los proyectos con una evaluación inferior a 70 puntos no tuvieron éxito, siendo este tanto mayor conforme se acercaban al valor de 100.

El autor, después de estudiar diferentes métodos de listas de control que han aparecido en la literatura de I+D, ha elaborado una serie de listas de control para proyectos de I+D referidos a: investigación aplicada, proceso industrial y nuevos productos, en el sector de la química textil. Un ejemplo de lista de control para proyectos relacionados con el proceso industrial se indica a continuación, con un breve comentario para cada uno de los factores que integran cada grupo, en este caso: I+D, producción, finanzas.

Se trata de un proyecto para mejorar el proceso de fabricación manteniendo las características de producto elaborado. En el caso de que se modificasen las características del producto, la lista de control sería diferente, ya que debería incluir el grupo de Marketing.

Criterios de evaluación para proyectos de proceso Grupo I+D

Se evalúa la posibilidad de realización del equipo de I+D. El valor máximo total se fijó en 70 puntos.

Los criterios a evaluar son los siguientes:

	<i>Valor máximo</i>
1. <i>Conocimientos y experiencia en el área</i>	20
Se evalúa la experiencia y conocimiento de I+D en el área en donde hay que desarrollar el proyecto.	
2. <i>Medios disponibles para la realización</i>	10
Se evaluará si los medios disponibles son adecuados, tanto en el interior de la empresa como en el exterior, cuando lo requiera el proyecto.	
3. <i>Presencia de un jefe de proyecto</i>	10
Se entiende por tal la persona que tienen como misión la de empujar la realización del proyecto, ayudando a vencer las dificultades y actuando como «catalizador». Su presencia se considera muy importante.	
4. <i>Efectividad de la comunicación</i>	20
La comunicación entre los diferentes departamentos que intervienen en el proyecto se considera absolutamente necesaria. Se tienen en cuenta tres niveles:	
En el equipo de I+D	10
Entre equipo I+D y producción	5
Entre equipo I+D e ingeniería	5
5. <i>Factores competitivos</i>	5
La presencia de la competencia trabajando en proyectos similares sirve de incentivo. Tanto más elevada sea esta posibilidad tanto mayor debe ser la puntuación.	
6. <i>Tiempo necesario</i>	5
Es un factor importante, sobre todo cuando la competencia trabaja en proyectos similares. A mayor tiempo para finalizar el proyecto menor puntuación.	
Total.	100

Producción

Se evalúa la posibilidad de llevar a término el proceso por producción, teniendo en cuenta las modificaciones que se deban introducir en la situación actual. El valor máximo se fijó en 35 puntos.

Los criterios a evaluar son los siguientes:

	<i>Valor máximo</i>
1. <i>Conocimientos y experiencia</i>	15
Se cuantifican los conocimientos y experiencia de producción para la puesta a punto del nuevo proceso.	
2. <i>Modificación del equipo</i>	10
La producción con el mismo equipo es un condicionamiento favorable. Las modificaciones con inversión es desfavorable, tanto más cuanto más cuantiosa es esta.	
3. <i>Suministro de materias primas nuevas</i>	3
La mayor o menor dificultad en el suministro de nuevas materias puede ser una dificultad para el éxito del proyecto. A mayor dificultad, menor puntuación.	
4. <i>Consumo energético</i>	4
Dada la importancia del consumo energético en los costes, se valorará más el proyecto que tienda a disminuirlo.	
5. <i>Problemas ecológicos</i>	3
Los proyectos con menor impacto ecológico recibirán la mayor puntuación.	
Total.	100

Finanzas

Se incluyen los aspectos económicos relativos a la inversión necesaria para la realización del proyecto y la rentabilidad esperada.

Es evidente que como criterio puntuable la inversión no dice gran cosa y, por lo tanto, lo importante es la rentabilidad. No obstante, existen casos en donde no es posible el cálculo de la rentabilidad inicialmente, y en estos casos el conocimiento del valor de la inversión puede servir como un dato a tener en cuenta como concepto del riesgo financiero que se corre si el proyecto fracasa. En estos casos se omitirá la puntuación del grupo finanzas.

Concepto

	<i>Valor máximo</i>
1. <i>Inversión</i>	20
Se calculará por el total del proyecto de innovación. Deben incluirse los gastos de I+D, los de introducción del proceso en la empresa, etc.	

2. Rentabilidad

En la fase de evaluación previa se determinará el % de rentabilidad simple. En las revisiones posteriores y sobre todo en la fase final del proyecto, se deberá efectuar un estudio financiero más ajustado, a ser posible por el método de «*cash flow*».

Según el valor de la rentabilidad estimada se adoptó, en este caso, la siguiente puntuación:

<i>% de rentabilidad simple</i>	<i>Valor</i>
Superior a 40	25
40	20
35	15
30	10
25	5

De acuerdo con la experiencia adquirida el proyecto en su aspecto global podía ser clasificado según la puntuación obtenida durante la evaluación, de la siguiente manera:

	<i>Rechazado</i>	<i>Aceptable</i>	<i>Recomendable</i>	<i>Interesante</i>
Puntos	<85	86 - 112	113 - 126	>127

Este informe se elevaba al Comité de Dirección, el cual tomaba la decisión final sobre el proyecto, atendiendo además a la oportunidad o estrategia de la empresa en el momento.

7.3.1.2. Métodos basados en índices de rentabilidad

Existe una gran variedad de fórmulas para valorar los proyectos de I+D. En general, las fórmulas evalúan un proyecto según un «*índice de mérito (IM)*» obtenido mediante cálculo de una expresión matemática que reúne varios factores elegidos por la empresa. Estas fórmulas son del tipo

$$IM = P \times V$$

P es la probabilidad estimada de éxito.

V es un índice que de alguna manera expresa el atractivo económico del proyecto para la empresa.

Estos métodos presentan la ventaja de que se expresan en valores monetarios que engloban a todos los sectores de la empresa, permitiendo comparar el

proyecto con otras posibilidades de inversión. En general, estas fórmulas son incompletas y se componen de un gran número de datos inciertos y difíciles de concretar.

A título de ejemplo indicamos algunas de las presentadas en la literatura técnica⁽¹⁶⁾.

Fórmula de Gordon Teal (Texas Instruments)

Sirve para comparar entre diversos productos nuevos posibles.

$$IM = \frac{B}{25D} \times \frac{B}{0,135 \times CI} \times \frac{25f}{F} \times \frac{2f}{M} \quad (7.1)$$

IM = Índice de mérito del producto. Se elegirá el más elevado.

B = Beneficio neto durante la vida del producto.

D = Gastos totales en investigación y desarrollo durante la vida del producto.

CI = Capital a invertir en la producción.

f = Cifra de negocios anual realizada por el nuevo producto.

F = Cifra de negocios total durante la vida del nuevo producto.

M = Mercado total de los productos de la misma categoría.

Las *ratio* propuestas tienen la siguiente significación:

$\frac{B}{25D}$ = La I+D son pagados por la firma y se admite que un 4% de los proyectos tengan éxito. Para las firmas pequeñas la tasa es más elevada. $\frac{B}{0,135 \times CI}$ Se exige una remuneración del 13,5% del capital invertido $\frac{25f}{F}$. Se renuncia a todo proyecto que no aumente la cifra de negocios un 4% como mínimo. $\frac{2f}{M}$. Se desea como mínimo un 50% de los productos similares. Este factor puede ser más pequeño para una empresa pequeña.

Fórmula de Carl Pacifico (Alcolac Chemical Corp)

En esta fórmula se establece para el IM la relación entre beneficios probables y costes totales. El IM se obtiene

$$IM = \frac{Rc \times RT \times (P - C) V \times t}{CT} \quad (7.2)$$

Para una rentabilidad correcta se exige que I.M. sea ≤ 2

Rc Probabilidad de éxito comercial.

RT Probabilidad de éxito técnico.

- P Precio del producto (pts/kg, dólar/libra).
- C Coste de producción y de venta (pts/kg, dólar/libra).
- V Volumen de ventas (kg o libras por año).
- t Duración de la vida comercial del producto en años.
- CT Coste total: Investigación + Desarrollo + Implantación de producción + Capital + etc.

La fórmula ha sido aplicada para proyectos de corta duración y de poco riesgo; el 50% tuvo éxito.

Método del «cash-flow»

El método que parece más indicado para efectuar una evaluación adecuada es el de utilizar las curvas del flujo de caja («*cash-flow*») esperado en función del tiempo. No obstante, su uso viene limitado por necesitar un gran número de datos y para poder aplicarlo el proyecto debe de estar completamente definido, lo cual es difícil de conseguir al iniciarse el proyecto. Como la presentación completa de este método excede a los límites de este tratado y por otra parte se puede encontrar su sistemática en tratados sobre contabilidad o finanzas, sólo daremos unas indicaciones de tipo general para que se tenga una idea acerca de los parámetros importantes que lo configuran, teniendo en cuenta que su aplicación a los proyectos de investigación es, por lo general, sólo empleado por las grandes compañías en proyectos de cierta envergadura.

Los datos necesarios para elaborar las curvas del flujo de caja esperado en función del tiempo son:

- a. Costes de I+D.
- b. Inversiones, que dependen de ciertos criterios.
- c. Costes de producción.
- d. Costes de precomercialización.
- e. Capital circulante.
- f. Impuestos a pagar.
- g. Ingresos obtenidos por venta del producto o proceso.
- h. Ingresos obtenidos por venta o cesiones de licencia.
- i. Valor residual de la instalación, una vez acabada su utilización para el proyecto.

Los parámetros más importantes de las curvas de flujo acumulado son:

- Cantidad máxima de fondos utilizados en el proyecto ($C_{\text{máx.}}$).
- Tiempo necesario para recuperar la inversión efectuada (T).
- Caja acumulada al finalizar el proyecto (C_f).

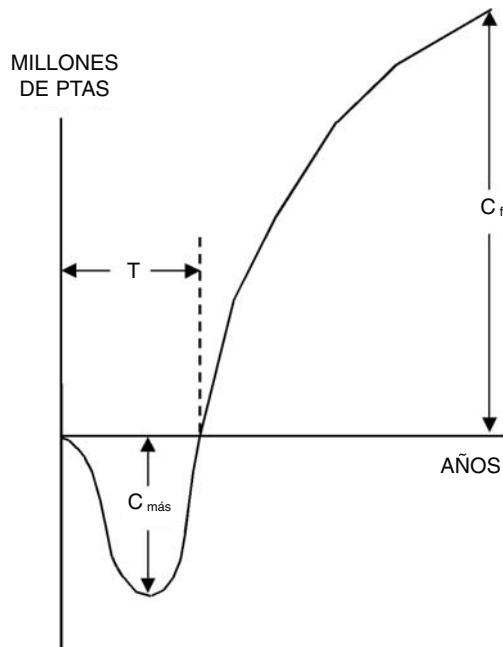


Figura 7.3. *Cash Flow* acumulado.

Como resumen de lo expuesto, en las fases iniciales de un proyecto sólo debe de emplearse una evaluación cualitativa a base de listas de criterios. A medida que se va avanzando en el proyecto y el grado de incertidumbre asociado a los datos va disminuyendo se pueden aplicar métodos semicuantitativos y finalmente cuantitativos.

La evaluación de un proyecto de investigación debe efectuarse periódicamente, por ejemplo cada 3-6-12 meses según la índole del proyecto, para comprobar si el proyecto sigue vigente, ya que durante el tiempo de su ejecución pueden variar las condiciones iniciales, tanto desde el punto de vista de los resultados de I+D, como de su enfoque técnico o comercial. Asimismo, la evaluación debe de efectuarse al finalizar etapas, por ejemplo, al acabar la investigación e iniciar el desarrollo, etc.

Al mismo tiempo que se efectúa la revisión, se debe ejercer un control acerca del tiempo empleado como de los recursos económicos consumidos y del tiempo y financiación para la terminación del proyecto, a fin de prever si existen o no desviaciones sobre el plan inicial y tomar las decisiones más aconsejables.

7.4. Ejecución del proyecto

Una vez la evaluación del proyecto ha sido aprobada, su ejecución pasa a depender del departamento de I+D a través de su director, el cual, según su

magnitud o características lo encarga a un laboratorio o a varios para su ejecución. Corresponde, pues, a los investigadores responsables de estos la búsqueda de la solución del problema siguiendo las pautas indicadas en los Capítulos 5 en relación con el método y en el Capítulo 6 acerca del planteamiento general de la investigación.

El método empleado es el experimental (5.2.2.), en sus diversas modalidades, con preferencia los de relacionados con la obtención de nuevos productos (*b2*), con la modificación de sus propiedades (*b3*), para conocer determinados parámetros científicos o tecnológicos (*b4*), el analítico (*b5*), el de prueba y error (*c*) y con modelos (*d*), cada uno o varios conjuntamente según el tipo de problema a resolver.

El método de investigación se suele efectuar siguiendo el denominado «*método científico*», si bien en ciertos casos su aplicación se simplifica según la formación, experiencia y creatividad del investigador o del responsable del proyecto. Por lo general, la investigación consta de dos etapas: una primera que podemos considerarla como investigación aplicada, y otra posterior como investigación de desarrollo.

La primera se efectúa en el «laboratorio» o en el «taller-laboratorio», si el estudio requiere la investigación de la influencia de ciertos parámetros sobre determinadas propiedades de los productos, síntesis de estos, etc., tal como ocurre en química, biología, agricultura, etc.; el taller-laboratorio es más propio para la investigación acerca de las características que deben reunir los dispositivos esenciales para el funcionamiento de un artefacto. Así, la obtención de un nuevo producto podríamos considerarlo como un ejemplo del primer caso, mientras que el estudio de un nuevo mecanismo para ser instalado en una máquina podría ser el ejemplo del segundo caso. En estos estudios de laboratorio, que se repiten si la obtención del producto está compuesta de varias fases o si la máquina consta de varios mecanismos esenciales, suele emplearse la misma metodología que la indicada para la fase experimental, resultados y discusión, ya descritos en el Capítulo 5, por lo que no vamos a repetirlos nuevamente aquí. En bastantes casos se recurre a laboratorios externos a los de la empresa, departamentos universitarios, centros de investigación privados u oficiales, cuando la empresa no está equipada adecuadamente para llevarlos a término, bien por falta de especialistas o de equipo, puesto que algunos estudios al ser muy específicos de un proyecto, no suelen repetirse y, por lo tanto, resulta más económica la cooperación externa, a la cual se le exige confidencialidad.

Una vez acabada la fase primera, que puede ser muy extensa, se inicia la investigación de desarrollo propiamente dicha, la cual tiene, como meta final, la obtención de un producto, dispositivo o proceso capaz de ser implantado en fabricación. Por lo general, los ensayos efectuados en el laboratorio o en el taller-laboratorio y los resultados obtenidos no son aplicables al cien por cien en la fase de desarrollo, tanto por las características de los materiales empleados, como por el diseño de las instalaciones y la exactitud de las condiciones

operativas. Por todo ello, la etapa de desarrollo siempre suele efectuarse en la industria.

Si nos referimos a los productos es muy conveniente disponer de una planta piloto, que en muchos casos ya se dispone de proyectos anteriores, en otros debe de adquirirse en el mercado y en otros diseñarse expresamente, lo cual, en algunos casos, se convierte en una investigación colateral a la del proyecto principal. Las plantas piloto deben ir equipadas con una serie de dispositivos de control y registros, hoy completamente informatizados, por lo general superiores a los que existen en la planta de fabricación, que permiten conocer las condiciones exactas en las cuales se realiza la experimentación y su exacta repetición, a fin de introducir las modificaciones necesarias en las variables estudiadas en el laboratorio para alcanzar las deseadas características del producto. El producto obtenido se somete a los análisis correspondientes, y con los resultados de estos se procede o no a nuevas correcciones en el proceso, lo cual requiere nuevos ensayos hasta obtener el producto deseado.

Cuando se trata de dispositivos mecánicos que se incorporan a máquinas existentes para su mejora productiva en calidad o cantidad, el dispositivo empleado en el taller-laboratorio durante la investigación debe ser rediseñado para adaptarlo al conjunto de la máquina en donde se instalará, equipándolo con los correspondientes sistemas de control y registro de datos, para obtener la información necesaria de su comportamiento en el conjunto de la máquina en donde se instala y efectuar las modificaciones necesarias, si fuera el caso. Análogamente a lo indicado para los productos, se requieren ensayos repetidos para obtener una idea de las condiciones de operabilidad del nuevo dispositivo a fin de fijar los límites de su aplicación, pues en muchos casos se requiere el trabajar en diferentes condiciones, según el tipo de máquina y lo que con ella se obtiene, lo cual debe de ser conocido para una correcta utilización de la máquina.

Análogamente a lo indicado para el trabajo en laboratorio, todos los ensayos deben de quedar registrados, tanto en sus condiciones operacionales como en los resultados obtenidos. Asimismo, se justificarán por escrito las modificaciones que se introducen, de tal forma que se pueda apreciar la lógica de las mismas.

En la investigación industrial, cuando I+D considera que su cometido en el proyecto ha finalizado, supongamos con éxito, es necesario efectuar una evaluación del mismo más amplia que la que se puede lograr, por regla general, en el interior de I+D de la empresa innovadora. Para ello, y antes de decidir la fabricación, se requiere el concurso de la colaboración externa a I+D, bien en el interior de la empresa, si se trata de productos que pueden ser ensayados con el equipo existente en fabricación, o en el exterior de la empresa, cuando ello no sea posible.

7.5. Finalización del desarrollo

Estos últimos ensayos de la fase de desarrollo deben de efectuarse con equipo industrial que, en muchos casos, puede ser el de la misma empresa. En estas

circunstancias, debe producirse una buena coordinación entre I+D y producción. Para ello, el responsable del proyecto deberá estar acompañado en el desarrollo de los ensayos por el responsable de fabricación que se encargará, en su día, de la fabricación del producto o de la implantación del nuevo proceso. En estos ensayos se pueden presentar los problemas derivados de la diferencia de condiciones que se dan entre un equipo piloto y el equipo industrial; por ejemplo, no es lo mismo efectuar una reacción en un reactor piloto de 500 kg que en un reactor industrial de 5.000 kg en donde el efecto de escala puede producir variaciones que aconsejen la modificación de algunos parámetros o de determinados componentes del equipo industrial para lograr las condiciones óptimas de fabricación.

Cuando el producto o proceso a ensayar no puede efectuarse en la empresa, bien porque esta no disponga del equipo de fabricación adecuado para ensayar el nuevo producto, o porque sea necesario el ensayarlo en diversas condiciones de aplicación que no se pueden dar en la empresa, el planteamiento del ensayo externo debe contar además de I+D y producción con la cooperación de Marketing. Este debe seleccionar el cliente o clientes en donde conviene efectuar los ensayos para que estos se efectúen de manera rápida y eficaz, pues hay clientes poco favorables a este tipo de cooperación y, como es natural, estos no deben ser elegidos. He podido apreciar que esta última fase del proceso de desarrollo es, en algunos casos, difícil y puede hacer que se tenga que lanzar un producto o proceso al mercado sin las suficientes garantías de un probable éxito. En ciertas circunstancias, las reticencias de los clientes suelen vencerse mediante contrapartidas económicas o favorecedoras de su posición en el mercado durante un determinado tiempo; por ejemplo, la exclusividad del producto o de la utilización del proceso durante un periodo de tiempo convenido.

En otros casos, se efectúa una fabricación limitada del prototipo concebido y estos se someten a diferentes condiciones de ensayo, con objeto de cubrir una amplia gama de posibles utilidades en el mercado. Por ejemplo, la aparición de un nuevo modelo de coche requiere este tipo de ensayo, tal como ha sucedido con el nuevo modelo de Seat-León, que antes de su lanzamiento al mercado ha sido experimentado con 90 prototipos que han recorrido más de 2.300.000 km de pruebas para afinar diferentes aspectos constructivos y de diseño.

El resultado de estos últimos ensayos se utiliza como una retroalimentación de I+D para acabar de poner a punto el producto, el proceso o el dispositivo. Es posible que del examen de estos últimos ensayos se deduzca que las posibilidades del objetivo industrial fijado en el proyecto de I+D sólo se cumplen en parte, y entonces se presentan varias opciones que dependen de la situación del mercado, económicas de la inversión en I+D, etc. Entre estas opciones podemos citar:

- a) Lanzar el producto, proceso o dispositivo al mercado conociendo sus limitaciones y reservando su aplicación a determinadas áreas.
- b) Efectuar las correcciones necesarias para cumplir las condiciones deseadas, lo cual requiere tiempo y dinero.

- c) Optar por lo indicado en a) y al mismo tiempo ir actuando en I+D para acabar de perfeccionar el objetivo de la investigación.

La adopción de una u otra posibilidad resulta, a veces, difícil y comporta un cierto riesgo que puede ser tanto mayor cuanto más diversificado sea el campo de aplicación del objetivo del proyecto. La decisión tomada debe efectuarse conjuntamente entre I+D, producción, marketing y la dirección de la empresa, después de un detenido examen de los pros y contras de cada una de las opciones.

Si se considera que el desarrollo puede darse por terminado, el proyecto entra en la fase conocida como «*transición*» hacia la fabricación.

7.6. Etapa de transición

Esta etapa comprende desde que el desarrollo se considera finalizado hasta que la fabricación puede considerarse resuelta. Como la serie de posibilidades que se pueden presentar son muy variadas, nos limitaremos a exponer unas pautas de tipo general para orientación del lector.

Cuando el desarrollo se da por finalizado deben confeccionarse tres tipos de documentos. Uno de ellos contiene todos los datos experimentales, científicos y técnicos que se extraen del Diario del Laboratorio-Taller a modo de un resumen de este y que pueden servir para futuros trabajos de I+D, solicitud de patentes, presentación y publicación de trabajos en reuniones técnicas, etcétera. Otro documento va destinado a fabricación, en cual se dan datos precisos para que esta pueda iniciar la confección de sus propios documentos; para ello, es necesario una estrecha colaboración entre I+D y fabricación. Por último, ello puede ser optativo en algunos casos, se debe elaborar un documento destinado a marketing en donde se expongan las características más sobresalientes del nuevo producto, proceso o artefacto, que faciliten su introducción en el mercado, indicando la serie de ventajas sobre los otros existentes o la novedad de la innovación, con argumentos que puedan servir para su mejor aceptación por el mercado. Por lo indicado, puede apreciarse que son tres documentos de características diferentes, según el departamento hacia donde va dirigido y por la finalidad que debe cumplir en cada caso.

En relación a los documentos destinados a fabricación, estos tienen que contener todos los datos que necesita la planificación de producción para la fabricación y solamente estos. En estos documentos, I+D debe omitir comentarios de tipo científico o técnico que no sean precisos para la fabricación. La transposición de los resultados de I+D en documentos para la fabricación es un trabajo muy importante y lleno de responsabilidad, que exige mucha comprensión por ambas partes y debe llevarse a término por personal especializado de ambos departamentos en este tipo de transferencia.

Así, tratándose de un nuevo producto, la transcripción debería contener:

- Materias primas a utilizar con sus especificaciones de calidad, tipos de análisis para su control. Posibles suministradores.
- Equipo de producción con sus especificaciones referentes a materiales, construcción, controles, etc.
- Proceso productivo bien detallado en todo lo referente a adición de materias, temperaturas, agitación, pH, etapas de finalización, etc.
- Límites permisibles de los parámetros de fabricación para no modificar la calidad del producto.
- Tipos de análisis de calidad para el control del producto fabricado, así como sus tolerancias.

Los documentos de transferencia y los de fabricación se efectúan según normas establecidas por cada empresa y su contenido y precisión dependen de las características del producto a fabricar y de la normativa general existente en la empresa.

Bibliografía

1. Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación de Barcelona, *Investigación e innovación tecnológica en la industria*, pág. 32, Barcelona, 1971.
2. Marquis D.G. *The Anatomy of Successful Innovations*, National Science Foundation, págs. 29-37, 1977.
3. De la Sierra F. *Estrategia de la innovación tecnológica*, Edit. Sección de Publicaciones de la ETS Ingenieros Industriales, Madrid, 1981.
4. Lowe J. y Crawford N. *Innovation and Technology transfer for the growing firm*, Edit. Pergamon Press, Oxford, 1984.
5. Suris J.M. *La empresa industrial española ante la Innovación Tecnológica*, Edit. Hispano Europea, Barcelona, 1986.
6. Twiss B. *Managing Technological Innovation*. Edit. Pitman Publishing Limited, London, 1986.
7. Ruiz Gonzalez M. y Mandado Pérez E. *La innovación tecnológica y su gestión*, Edit. Marcombo S. A., Barcelona, 1989.
8. Escorsa Castell P. Valls Pasola J. *Tecnología e Innovación en la empresa, Dirección y Gestión*, Edicions UPC, Barcelona 1997.
9. Baker N.R. Siegman J. A.H. Rubenstein, *IEEE Trans. Eng. Manage.* Edit. E-M, December 1967.
10. Carter C.F. Williams B.R. *Industry and Technical Progress*. Oxford Univ. Press, London, 1957.
11. Sherwin C.W. Isenson R.S. *Science*, 1971, 1967.
12. Myers S. Marquis D.G. *Successful Commercial Innovation*. N.S.F. 69-71, Washington, 1969.
13. Eric A. von Hippel, *Technology Review*. Vol. 80, n.º 3, págs. 3-11, M.I.T. Massachusetts, 1978.

14. Cegarra J. *Jornadas Asociación Ing. Industriales*. Boletín Inst. Investigación Textil, págs. 335-338 abril 1982.
15. *President's Direct, R&D System Control Checklist*, pág. I-59-64, Published in Japan by International Technical Information Institut, 1980.
16. Saint-Paul R. *Recherche et Developpement*. Edit. Dunot, Paris, 1966.
17. Saint-Paul R. Ténrière-Buchot P. F. *Innovation et Evaluation Technologiques*. Edit. Entreprise Moderne d'Edition, Paris 1974.
18. Seiler R. E. *Efectividad en la investigación y el desarrollo*. Edit. Labor S. A., Barcelona, 1974.
19. Pere Escorsa, Jaume Valls, *Tecnología e innovación en la empresa*. Edit. U P C, Barcelona, 1997.
20. Milton A. Glaser, *Chemical Week*, October 29, pág. 23, 1975.
21. Dimitri N. Chorafas, *La investigación en la empresa*. Edit. Aguilar S. A., Madrid, 1964.

La creatividad en la investigación

8.1. Introducción

Durante el siglo XIX y a principios del siglo XX era creencia general que el descubrimiento científico se producía como consecuencia de un proceso lógico. En *El discurso del método*, Descartes afirmaba «*Porque, en fin, ya estemos despiertos, ya durmamos, no debemos dejarnos persuadir más que por la evidencia de nuestra razón y en ningún caso por nuestra imaginación, o por nuestros sentidos*». Se llegó a pensar que la imaginación era sospechosa de oponerse al concepto del proceso científico. A mitad del siglo XX se produce un cambio de actitud y, principalmente, la escuela anglosajona rehabilita la imaginación dentro de la investigación. Albert Einstein decía que «*la imaginación es más importante que el conocimiento*». Hoy se reconoce que el pensamiento creador tiene un papel muy importante en la investigación y que conjuntamente con el razonamiento son necesarios para el descubrimiento científico y tecnológico. La creatividad desempeña un papel fundamental en la investigación experimental.

En el Capítulo 4 (4.2) definíamos la *Creatividad* como «la facultad intelectual de las personas para proponer nuevas vías de solución para el avance del conocimiento, que no utiliza solamente el razonamiento lógico en la búsqueda de la solución al problema planteado». Además, indicábamos cuáles eran las aptitudes creativas que se daban en las personas que tenían dicha facultad, así como los rasgos más sobresalientes del pensador creativo y, por consiguiente, del investigador creativo.

Otros autores definen a la creatividad como «la aptitud para producir nuevas soluciones sin utilizar un proceso lógico, sino estableciendo relaciones de orden lejano entre los hechos». Un ejemplo paradigmático de creatividad es la determinación del volumen de la corona del rey de Siracusa por Arquímedes; para ello, sumergió la corona en una bañera y por el volumen del agua desplazada calculó el volumen de la corona de oro, lo que le hizo exclamar su conocido grito de *¡Eureka!*

El tipo de pensamiento creativo que nos interesa no tiene nada que ver con la facultad de ciertas personas de poseer información extrasensorial de una manera diferente al proceso que se da en el pensamiento normal, ya que se reconoce que estos casos poco han contribuido al avance de las artes o de la ciencia. Por otra parte, tampoco son de interés para nuestro objetivo, aquellos tipos de pensamiento creativo de ilusiones, sueños, etc., capaces de construir, valga la expresión, castillos en el aire.

El pensador creativo eficiente usa el proceso creativo *deliberadamente* persiguiendo un fin específico y disfruta haciéndolo de esta forma. Parece ser algo instintivo y nadie necesita ser instruido de cómo utilizar su imaginación o cómo reconocer la inspiración cuando esta se presenta. Sin embargo, *el uso eficiente del proceso* es algo diferente, ya que se trata de obtener los mejores resultados en el menor tiempo, con el menor esfuerzo mental y energía nerviosa posibles.

Para utilizar las herramientas para el pensamiento creativo, uno necesita conocer⁽¹⁾:

1. Qué proceso se debe emplear bajo unas determinadas circunstancias.
2. Cuáles son sus capacidades y limitaciones en este tipo de pensamiento.
3. Qué condiciones favorecen o inhiben la actividad del cada proceso.
4. Qué posibilidades de control se posee de cada una.

Dentro de las limitaciones que nos hemos impuesto al tratar este tema, sí que es nuestro objetivo el concienciar a los investigadores al principio de su formación, y a los que ya están formados, pero que por diversas circunstancias el aspecto creativo del proceso investigador no ha sido tomado con la consideración e importancia que merece, de la necesidad de conocer algunos aspectos importantes del mismo, para tenerlo presente en algunas de las etapas del proceso investigador, a fin de mejorar su creatividad, tanto en el ámbito individual como en grupo.

8.2. Tipos de pensamiento creativo

El pensamiento creativo muestra durante su proceso tres etapas bien definidas, a veces no bien comprendidas, las cuales son diferentes en su forma de actuar, resultados y controlabilidad. Serán expuestas atendiendo a su mayor o menor controlabilidad por el pensador creativo.

8.2.1. Imaginación o pensamiento creativo deliberado

La imaginación es la facultad del pensador que le permite combinar ideas para obtener otras nuevas, de manera deliberada. Por ello, la imaginación es el

soporte fundamental del pensamiento creativo deliberado. Como primera etapa de este se utiliza la imaginación para construir un marco que sirve como base para un trabajo futuro; dicho marco se construye partiendo de *la experiencia y el conocimiento*, utilizando la imaginación y está cercanamente supervisado por la razón. Esta, considera cada propuesta o idea y la rechaza o acepta como adecuada al objetivo propuesto.

Para que la etapa imaginativa se desarrolle de manera eficiente se considera conveniente que:

- Las ideas que van surgiendo se escriban, sin efectuar una censura demasiado estricta de su validez o nulidad, la cual se hará posteriormente.
- El marco creado imaginativamente no es definitivo y necesita ser subdividido en partes para su resolución, bien de forma imaginativa o razonadamente, mediante la experiencia y conocimiento del área en donde se encuadra el objetivo. La resolución por partes se efectúa de forma semejante a cómo resolvemos un crucigrama, es decir, actuando sobre las partes más fáciles, para despertar nuestro interés y de esta forma ir buscando soluciones más difíciles hasta que el crucigrama está completo, equivalente en nuestro caso a haber resuelto el problema.
- Como las ideas surgen del conocimiento y experiencia en el área que se trabaja, resulta evidente que a mayor abundamiento de estos, aunque sea en áreas colaterales, mayor posibilidades existen de generar ideas válidas. Es más fácil para un químico tener ideas para resolver un problema de química que no para un poeta.
- La imaginación no siempre está dispuesta a prestarnos su ayuda y necesita de un estado personal dispuesto a ello. Aunque cada persona puede tener motivaciones algo diferentes, en general, un marcado interés en resolver el problema, un estado físico y mental relajado, una cierta «ansiedad» por encontrar la solución, pueden ser factores favorables para hacer trabajar la imaginación.
- El pensamiento imaginativo necesita concentrarse en un solo proyecto. El pretender actuar sobre varios proyectos a la vez lleva a no acabar ninguno de ellos. En los casos en donde el uso de la imaginación puede llevar a un estado de cansancio, lo más aconsejable es dedicarse a trabajos de rutina que no supongan una distracción del objetivo principal.

Entre los varios ejemplos que nos muestran la Historia de la Ciencia y la de la Tecnología de este tipo de proceder creativo, hemos escogido el de la invención de la imprenta por Johan Gutenberg⁽²⁾, que resumimos a continuación.

Johan Gutenberg (1394-1467), era hijo del orfebre del obispo de Maguncia y llegó a ser un hábil artesano metalúrgico, cualidad esencial, como veremos,

para lo que se podría denominar la invención de la prensa de imprenta de producción masiva. En aquellos días, la posesión de libros era escasa, pues era necesario obtener copias a mano. Sin embargo, es de suponer que a finales del siglo XIV los avances tecnológicos y los nuevos descubrimientos impulsaron la demanda de libros y, entre ellos, de la Biblia.

La solución de Gutenberg al problema de la impresión se divide en dos etapas muy diferentes. En primer lugar hubo de resolverla bajo un principio que podríamos llamar «teórico» y posteriormente de una manera más práctica que hoy podríamos encuadrar como de «desarrollo». La primera etapa fue sencilla, ya que propuso, razonadamente, la fabricación de troqueles de cada letra, puntos y otros signos de escritura, por ejemplo «Aes» mayúsculas, «aes» minúsculas, signos de puntuación, etc.; de cada elemento hizo fundir gran cantidad y almacenaba en una caja cada tipo. Si quería componer una página seleccionaba las letras deseadas, las colocaba en un molde por línea y una vez completada la página unía los moldes firmemente, los entintaba con una almohadilla y haciendo uso de una prensa similar a las utilizadas para prensar la uva, reproducía los caracteres sobre una página de papel. Sin embargo, este sistema no resultaba adecuado para una producción industrial, por lo que utilizando su imaginación concibió un sistema de molde y matriz y al mismo tiempo desarrolló una aleación de estaño, plomo y cinc para que el metal no se pegara al molde o la matriz. Todo ello permitió el desarrollo industrial de su invento y la producción de grandes cantidades de libros de tal forma que en solo cincuenta años, a principios del siglo XVI, se habían impreso más libros que en los mil años anteriores. El primer libro impreso por Gutenberg fue la Biblia.

8.2.2. Iluminación

La iluminación es la próxima etapa secuencial de la imaginación en el pensamiento creativo. Durante ella se produce una gran actividad del subconsciente en la generación de la idea, pero a diferencia de la inspiración, se ejerce un cierto grado de control en el proceso creativo. Se puede indicar que este proceso se encuentra en el camino intermedio entre la imaginación y la inspiración, tal vez más próximo a la primera.

El proceso mental involucrado en la iluminación es controlado por ciertas formas de actuar y puede llevarse a término si se cumplen ciertas condiciones, que resumimos a continuación.

8.2.2.1. *El problema presenta dificultad*

El interés del investigador por el problema y su dificultad crea en él un estado de desasosiego acerca de su solución.

8.2.2.2. *El problema se ha intentado resolver en la etapa de imaginación*

Durante esta etapa se ha pensado activamente, enfocando la resolución desde diferentes ángulos *pero no se ha encontrado la solución*. Ello intensifica el interés del pensador creativo por el problema, de tal manera que su interés aumenta en proporción a la dificultad encontrada.

8.2.2.3. *El interés por la solución se ha mantenido*

A pesar de que la solución no se ha encontrado y ello pudiera suponer un decaimiento en el interés por resolver el problema, lo cual repercutiría en no encontrar la solución al mismo, el interés debe mantenerse. Si esto no ocurriera, es necesario desarrollar metódicamente el interés por el proyecto y no dejarlo de lado y pensar en otro proyecto; sin embargo, el mantenimiento del interés no debe ocupar un primer puesto en el pensamiento del investigador, el cual puede aplicarse a resolver problemas de poca complejidad o a trabajos de rutina, leer, pintar, escribir, etc.

8.2.2.4. *El pensador y la mente están relajados*

Se ha discutido si la mente, en estas circunstancias, se encuentra en un estado de relajación. Lo que sí ha sido comprobado es que el cuerpo debe estar relajado mediante un paseo, ejercicio, dormir, etc., ya que estas circunstancias favorecen la eliminación de la fatiga mental. De esta forma se favorece la aparición de la idea. Se argumenta que, en muchos casos, la iluminación ocurre frecuentemente en la mañana, antes de iniciar el trabajo diario.

Un ejemplo de iluminación en donde se dan las características señaladas es la invención por James Watt (1736-1819) de la máquina de vapor, para emplear la energía térmica de forma eficaz, lo cual revolucionó todo el ámbito industrial transformando las condiciones de vida de los países industrializados. Acabada su formación, la Universidad de Glasgow lo empleó como fabricante de instrumentos y le encargó de efectuar una maqueta de la máquina de vapor de Newcome. Advirtió que el cilindro se calentaba mucho cuando admitía el vapor y se enfriaba considerablemente en la fase de condensación, lo cual le llevó a deducir que se desperdiciaba demasiada energía calorífica en el ciclo. Aunque sus observaciones se efectuaron sobre un modelo reducido, le llevó a pensar que a mayor escala ocurriría en las máquinas industriales, las cuales tendrían un rendimiento muy bajo, con el considerable despilfarro de energía, que consideró de cerca de un 75% de la empleada.

Watt se propuso resolver este problema, pero la solución no era fácil. Observó que la temperatura del líquido al salir del cilindro era muy elevada;

habría hervido al vacío y estaba tan caliente que seguiría hirviendo hasta que este no disminuyera. El problema parecía insoluble. Si se pensaba desde el punto de vista económico, el cilindro debería mantenerse caliente de manera permanente; pero si se tenía en cuenta la energía debería enfriarse rápidamente. El objetivo, era pues, obtener el máximo de energía al menor costo. Watt se esforzó durante dos años en resolver el problema. La solución se le ocurrió el sábado de Pascua de 1765 en forma de un destello de comprensión e intuición mientras paseaba cerca de la «Gold House» en el Glasgow Green y que ha sido recordada por Usher⁽³⁾ como sigue:

«Yo había entrado en el jardín y había pasado el lavadero. Yo iba pensando en la máquina en aquel momento. Yo había pasado el corral cuando la idea se me apareció en mi mente: el vapor era un cuerpo elástico y podría entrar en el vacío, de tal forma que si se establecía una conexión entre el cilindro y un recipiente captador, el vapor iría hacia él y se podría condensar sin enfriar el cilindro... Yo no había avanzado mas allá de la “Gold House” cuando la solución del problema apareció clara en mi mente».

De este acontecimiento cabe señalar que Watt se había impuesto un objetivo, que después de dos años de buscar soluciones razonadas e imaginativas no había podido resolverlo. Que su interés persistía y que la solución se presentó después de un periodo de cierto relajamiento y descanso, era Pascua, sin ningún esfuerzo por su parte en aquel momento.

8.2.3. Inspiración

La inspiración es el menos controlable de los procesos mentales creativos. Después de que el pensador o investigador ha trabajado por medio de la imaginación o la iluminación, sin resultado, la inspiración se presenta sin el menor esfuerzo de parte del pensador. Varias características parece que son comunes a la mayoría de los casos de inspiración.

- La idea es totalmente nueva y usualmente no está relacionada con lo que la persona está haciendo en aquel momento. Por lo tanto, la idea se presenta de forma espontánea y fuera del control del pensador. En algunos casos, la idea se presenta lo suficientemente clara y detallada para constituir la solución completa al problema; en otros casos, la idea aparece como un marco en el cual, mediante la imaginación, se puede encontrar la solución deseada. Aunque el investigador ha dejado de pensar en el problema, debe seguir cultivando la parcela de conocimiento relacionada con su objetivo.
- La inspiración parece que obedece a dos factores: a) el contenido de conocimientos y experiencias de la persona; b) cualidades temperamentales del pensador. Con relación al primer factor, cabe indicar que el conocimiento de determinadas áreas y la experiencia es fundamental

para que se dé la inspiración, lo que equivale a indicar que un matemático experimentado puede tener inspiraciones dentro de su área pero difícilmente la tendría en biología; es decir, la inspiración se presenta en personas especialmente preparadas y con gran experiencia en su campo de conocimiento. Con respecto al segundo factor, se indica que hay personas especialmente aptas para este proceso mental, que está asociado a su subconsciente.

- La probabilidad de que la inspiración aparezca, aumenta al aumentar el contenido de las ideas y de la experiencia.

La figura de Issac Newton como pensador e investigador no puede encuadrarse en una sola de las fases en que hemos indicado que se desarrolla el pensamiento creativo, pues como dijo Laplace al comentar la obra *Principes* «Este libro quedará como un monumento de la profundidad del genio que nos ha revelado la ley más grande del universo». Sin embargo, si lo presentamos aquí como un ejemplo de la fase creativa de la inspiración, es por habersele atribuido que la teoría de la gravedad le fue inspirada por la caída de una manzana cuando descansaba de su paseo bajo un manzano.

Para situarnos un poco en el ambiente donde se produjeron estos descubrimientos, conviene, aunque sea de forma resumida, conocer los antecedentes que ocurrieron en la vida de Newton hasta la que podríamos llamar «la explosión de su genio creativo»^{(4) (5)}. Issac Newton nació el 4 de enero de 1643 en Woolsthorpe en Lincolnshire. Desde pequeño mostró afición y destreza en la construcción de juguetes mecánicos: un clase de bicicleta, un molino con una rata que actuaba para hacerlo funcionar, etc. A los 18 años entró como becario en la Universidad de Cambridge y escogió estudiar la geometría de Euclides y después la de Descartes, teniendo un excelente profesor de matemáticas, Issac Barrow (1630-1677), cuyas enseñanzas tuvieron cierta influencia en su formación. Sin embargo, entre el periodo 1661-1664 Issac Newton no destacó como un alumno particularmente brillante en los exámenes, siendo clasificado en 1663 en el puesto 84 entre un total de 140 concursantes. Al declararse la peste bubónica al año siguiente, se cerró la Universidad y Newton volvió a su casa de Woolsthorpe. Fue allí donde por primera vez resplandeció su gran inteligencia.

Había dejado todos sus libros en Cambridge y dejó su espíritu liberado a sus propias fuerzas, mientras paseaba por el campo meditando. En el transcurso de este periodo Newton inventó el cálculo infinitesimal, descubrió la gravitación universal e inició la teoría de la luz. No publicó nada de sus ideas. Transcurridos estos dos años volvió a Cambridge y después de un concurso, donde quedó el penúltimo, obtuvo la cátedra de matemáticas de su antiguo profesor Issac Barrow, explicando óptica y el telescopio que acababa de inventar. En 1672 fue recibido como miembro en Royal Society. En 1687 publicó *Principes mathematiques de la Philosophie natural*, la obra cumbre del pensamiento humano de aquella época y que influiría decisivamente en el pensamiento científico hasta el principio del siglo xx.

Vistas las diferentes fases que se dan en el pensamiento creador, cabe preguntarse en qué etapas del método científico la facultad creativa del investigador incide de manera más importante en la solución del problema planteado. En este sentido, se considera que la etapa 4 (Cap. 6, 6.5, pág. 144), *Propuesta de una posible solución o hipótesis*, es donde es más necesaria esta facultad. Las etapas 2 y 3 (Cap. 6, 6.3 pág. 134 y 6.4 pág. 138) ayudan a suministrar al investigador los conocimientos de amplia base para hacer trabajar a su imaginación.

Dado que no todas las personas dedicadas a la investigación poseen una capacidad creativa que podríamos considerar como sobresaliente, cabe preguntarse si es posible mejorar esta capacidad mediante métodos adecuados.

8.3. Consideraciones generales sobre los métodos creativos

Los métodos creativos son empleados para la resolución de los problemas *abiertos*, o sea, aquellos que pueden presentar varias alternativas para intentar su resolución, tal como acontece al formular la etapa 4 del método científico, u otros problemas que se pueden presentar en las organizaciones empresariales o de otro tipo. Por el contrario, la resolución de un problema *cerrado*, viene caracterizada por la existencia de unos límites fijos para obtener la solución buscada, mediante un proceso consciente, controlable y reconstruible lógicamente, tal como sucede en el cálculo de una ecuación, en las pruebas de significación estadística, etc.

Los problemas abiertos pueden ser abordados por una sola persona, el investigador, cuando el problema cae dentro del área de sus conocimientos y él se siente capaz de plantear la solución sin recurrir a la ayuda de otras personas. Sin embargo, cuando los problemas son complejos y abarcan diferentes áreas del conocimiento, se necesita el concurso de diferentes personas y el grupo creativo tiene su justificación.

Los métodos creativos tuvieron su aparición a la mitad del siglo xx, siendo la escuela anglosajona la que volvió a descubrir y rehabilitar la imaginación, la iluminación y la inspiración como fuentes creadoras de ideas. Ello ha sido posible mediante un estudio de las diferentes maneras de cómo se gestaron y aparecieron las nuevas ideas en los grandes científicos y artistas en el transcurso del tiempo a través de la documentación encontrada. A. Osborn (1957)⁽⁶⁾ fue el fundador de lo que se ha denominado «*brainstorming*» dando posteriormente E. Jantsch (1967)⁽⁷⁾ una contribución memorable al tema y a los principios generales de los sistemas abiertos. Posteriormente, los creadores de la *Synéctica*, W. J. J. Gordon (1961)⁽⁸⁾ y G. Prince (1970)⁽⁹⁾ dan un paso hacia adelante en la metodología de Osborn. E. de Bono (1970)⁽¹⁰⁾ presenta su obra sobre «*pensamiento lateral*». Posteriormente, otros autores han presentado modificaciones y extensiones a los trabajos iniciales que el lector puede encontrar en la bibliografía de la obra *La creatividad* de R. Tudor⁽¹¹⁾.

Todos estos métodos están basados en un carácter muy pragmático para que funcionen bien y, por otra parte, son muy evolutivos. Según A. Kaufman, M. Fustier y A. Drevet todos ellos pueden participar de los siguientes principios, de los cuales resumimos los aspectos más importantes, evitando, en lo posible, repeticiones de lo ya dicho anteriormente ⁽¹²⁾:

8.3.1. El proceso del descubrimiento se puede reproducir voluntariamente

En la mayoría de los casos, el proceso del descubrimiento está compuesto de tres fases: lógica, intuitiva y crítica. Las cuales fueron analizadas en el Cap. 6. Según Gordon *«el proceso de la invención puede ser descrito de una forma concreta, y se debe utilizar una descripción correcta para enseñar una metodología apta para mejorar el proceso creador de las personas»*. Los métodos intuitivos no suprimen las fases lógicas y críticas a las que estamos bien acostumbrados.

8.3.2. El proceso del descubrimiento es el mismo en todas las disciplinas

Según los fundadores de los métodos intuitivos no existen diferencias esenciales entre los diferentes tipos de creación, ya sea científica, literaria, filosófica o artística. Tampoco hay una diferencia de método esencial, según el nivel al que se sitúa la investigación. Existe una especie de «naturaleza descubridora», común a algunas personas, que se ejercita en el campo del conocimiento donde se ha adquirido una suficiente competencia.

Sea cual sea la naturaleza y el nivel de la investigación, parece ser que siempre nos encontramos con dos tipos de investigaciones: a) *intentamos comprender un fenómeno*; b) *intentamos crear un objeto*.

8.3.3. El descubrimiento se efectúa en el subconsciente

Tal como hemos visto en el apartado 8.2., en las fases del pensamiento creativo y en los ejemplos allí citados, la idea que lleva al descubrimiento aparece cuando menos la esperamos, después de una fase lógica y haciendo trabajar a la imaginación de forma algo controlada.

8.3.4. Para hacer trabajar el subconsciente es necesario liberar el espíritu de sus inhibiciones

Acostumbrados al empleo de la lógica y de la crítica como facultades mentales más corrientes en nuestro quehacer cotidiano, el subconsciente se

encuentra rodeado de una barrera que dificulta su acción creativa. Por ello, si eliminamos un cierto número de ideas preconcebidas, inhibiciones, etc., a medida que nos sentimos libres de ellas, el subconsciente potenciará nuestra facultad creativa. Así pues, para potenciar la creatividad en la investigación es necesario poner en duda casi todo. Gordon indica que *«Para realizar una obra creadora es necesario socavar ciertos cimientos del edificio de las leyes, desafiar, al menos aparentemente, las hipótesis fundamentales de la fenomenología»*. Los grandes descubridores de la humanidad, Galileo, Newton, Einsten, fueron lo suficientemente audaces para poner en duda las bases en las que se asentaban las ciencias de su época. Un cierto número de los teóricos de los métodos intuitivos, piden a los investigadores que se entreguen a una especie de destrucción del mundo que los rodea.

8.3.5. El descubrimiento se hace en un clima de esparcimiento, placer y pasión

La aventura es un elemento importante en el descubrimiento, en donde los elementos afectivos son más importantes que los intelectuales. Es como un juego apasionante que una vez comenzado no se puede abandonar y que una vez se presiente la solución, ya comprobada, origina una gran sensación de placer en el investigador, que le recompensa del esfuerzo efectuado en lograrla. El verdadero investigador creativo es el que es capaz de señalar esas nuevas vías para hacer avanzar el conocimiento; después de él, otros investigadores, que pueden no ser creativos, pueden acabar de rellenar el cuadro de conocimientos que la nueva vía ha abierto.

8.3.6. Las ideas para el descubrimiento no son emitidas, necesariamente, por expertos

El especialista o experto puede tener un conocimiento muy amplio de su parcela, pero puede quedar encerrado en ese campo y privarle ello de ver otras posibilidades para la resolución de los problemas. El descubridor es de otro tipo y al no tener prejuicios intelectuales, se presenta ante la cosa a descubrir como un ingenuo y con una libertad total de espíritu. Dice De Bono que *«quizá vale más no leer nada y correr el riesgo de descubrir algo que ya ha sido encontrado, que conocer bien todo lo que se ha descubierto, al precio de carecer de ideas propias»*. Hay veces en que en una misma persona se encuentra el experto y el ingenuo y entonces se producen avances espectaculares en cualquier campo del conocimiento. Cuando esta circunstancia no se da, que es lo más corriente, se requiere componer un equipo en donde coincidan ambos tipos. En estos casos, el equipo pluridisciplinario es la unidad operativa de investigación, tanto más necesario cuanto más novedosa debe ser la solución que se pretende encontrar.

8.3.7. El descubrimiento nace de la bisociación

Se entiende por bisociación el fenómeno por el que una idea, un concepto o una técnica se superpone con otra para originar una nueva idea, concepto o técnica en la que están como fundidas las dos anteriores. Una gran parte de los pequeños y grandes descubrimientos se han producido por bisociación, tal como demuestra la Historia de la Ciencia y la de la Tecnología.

8.3.8. El grupo pluridisciplinario es la unidad operativa de investigación

Tal como hemos indicado anteriormente, el grupo pluridisciplinario se está imponiendo como unidad operativa eficaz en la generación de ideas para la resolución de los problemas abiertos y de cierta complejidad. Con ello, no queremos significar que en campos muy especializados y donde el problema pueda ser de tipo cerrado, el grupo tenga que ser necesariamente tan pluridisciplinario como en los problemas de investigación abiertos.

Las razones que sustentan la necesidad de este tipo de grupo, se pueden resumir de la forma siguiente⁽¹³⁾:

- a) *La experiencia ha demostrado que la actuación del grupo conjuntamente produce mayor número de ideas que la suma de las ideas generadas por sus miembros actuando aisladamente*

Ello se cree que es debido a que la idea lanzada por un miembro es recogida y vista de forma diferente por otro miembro del grupo, el cual a su vez emite otra idea, que a su vez origina nuevas aportaciones. Se puede decir que se produce un efecto sinérgico. Las ideas que se emiten tienen mayor amplitud y flexibilidad de espíritu que cuando las emite una sola persona y se asemejan mucho a la forma de proceder de los grandes creativos.

- b) *El grupo es un estímulo social de la inspiración*

Cuando las ideas se presentan de forma muy vaga, la tendencia de las personas interesadas en su concreción es la de poder comunicarse con otras para explicar su situación y contrastar opiniones que puedan favorecer el esclarecimiento de su pensamiento. En otros casos, el estímulo puede encontrarse en el medio ambiente donde se mueve el investigador, tal como sucedía a Schiller al componer sus poemas con el olor a manzanas maduras, a Kepler con la maqueta de su modelo cósmico, o como casos que conozco, al visitar unos grandes almacenes o por el simple impacto de una luz de un semáforo cuando iba conduciendo en su automóvil y persistía en su interés por encontrar una solución al problema de investigación que tenía planteado.

- c) *El grupo actúa como mantenedor del entusiasmo creador*

Tal como hemos visto en el Capítulo 4, una de las características del investigador creativo es la constancia y la perseverancia a pesar de los fracasos

durante el desarrollo de la investigación. En la mayor parte de los investigadores eminentes y creativos se ha podido apreciar un enorme impulso vital, un gran optimismo y una gran fortaleza ante el desánimo. Sin embargo, cuando el número de investigadores se compone de un espectro más amplio de personalidades estas dotes no se encuentran, en gran número de ellos, en un grado tan elevado, que si embargo puede mejorarse.

El grupo puede favorecer el mantenimiento del entusiasmo creador, ya que al estar formado por personas de diferentes capacidades, en los momentos donde decae el ánimo y el flujo de ideas, es posible encontrar alguien que nuevamente genere un ambiente favorable que haga que se encienda la chispa creativa y el grupo continúe con su trabajo normalmente.

d) *El grupo posee una fuerza psíquica superior*

En el trabajo de investigación siempre se crea una ansiedad que va *incrementando* a medida que el trabajo avanza y que en muchos casos se apodera del investigador bloqueándolo de forma obsesiva, de tal manera que no le permite pensar en otra cosa o en otras posibles vías de solución. En estos casos, que también pueden presentarse en el grupo, este puede actuar rápidamente contrarrestando estos efectos, bien mediante expresiones que pueden adoptar una forma lúdica que desbloqueen la situación de ansiedad, provocando una convergencia de espíritu positiva entre todos los miembros que ayuda a que el grupo sea productivo.

e) *El grupo posee mayor capacidad de juicio crítico*

En las técnicas de trabajo creativo en grupo, después de lo que podríamos llamar la fase creativa o de emisión de ideas, es necesario efectuar una selección de aquellas que pueden ser útiles para alcanzar el objetivo buscado. Cuando un investigador efectúa solo este trabajo, a pesar de poner en ello toda su objetividad, y sobre todo si el tema es complejo, es difícil, en muchos casos, emitir un juicio crítico objetivo acerca de los resultados obtenidos.

El grupo, por su carácter pluridisciplinario, que en la fase crítica está formado por especialistas de las diferentes áreas de conocimiento que pueden estar incluidas en el proyecto investigador, puede ver desde diferentes ángulos el resultado de la fase creativa y por lo tanto emitir un juicio más amplio y objetivo que el que pudiera dar una sola persona.

8.4. Métodos para mejorar la creatividad del investigador o del grupo

Ya hemos indicado anteriormente que la creatividad es una facultad que, por razones que no son bien conocidas, se da más en unas personas que en otras. Por otra parte, el número de personas que se dedican a la investigación

en diferentes áreas del conocimiento es cada día más elevado y por lo tanto no se puede pretender el que todas posean una creatividad elevada. Por ello, los métodos o las técnicas de creatividad, pensadas para actuar en grupo también pueden aplicarse, en ciertos casos, individualmente para mejorar determinados aspectos de la forma de ser o de su comportamiento que pueda incidir favorablemente en su facultad creativa individual o en grupo.

Según M. Fustier, para obtener un mejoramiento en la facultad creativa es necesario mejorar el desarrollo de ciertas aptitudes que él clasifica en las siguientes⁽¹²⁾:

8.4.1. Aquéllas que tienen por objeto el conocimiento del mundo exterior

Para ser creativo es necesario tener en cuenta lo que existe fuera de nosotros. Para ello, se propone mejorar:

8.4.1.1. La apreciación de la realidad del mundo que nos rodea

Esta aptitud pretende hacernos comprender las significaciones, las funciones de los objetos físicos y morales, y de discernir las relaciones de causa o consecuencias que unen los unos a los otros.

8.4.1.2. La atención debida a los otros

Con ello intentamos salir afectiva e intelectualmente de nosotros mismos para intentar apreciar los sentimientos y los pensamientos de los otros.

8.4.2. Aquéllas en donde se encuentra nuestra capacidad para juzgar y transformar el mundo exterior

Esta es una facultad muy importante para la creatividad, ya que para tener ideas nuevas es necesaria una transformación de lo existente mediante la recombinación de los elementos existentes. Para ello, es necesario mejorar.

8.4.2.1. La facultad de poner en duda lo existente

Mediante esta actitud tomamos distancias, afectiva e intelectualmente, con relación a los hábitos existentes y nos proponemos ensayar nuevas vías de planteamiento o solución.

8.4.2.2. *La capacidad de adaptación y rapidez de reacción*

Aptitud para reaccionar rápidamente y con presencia de espíritu a las circunstancias no esperadas.

8.4.2.3. *El poder de abstracción*

Aptitud para ascender de lo particular a lo general y poner orden en los fenómenos complejos.

8.4.2.4. *La capacidad analógica*

Aptitud para encontrar las similitudes existentes entre los objetos o situaciones para comprender los unos a través de los otros.

8.4.2.5. *La atención interior*

Aptitud para relajarse intelectualmente, para concentrarse en uno mismo y dejar aflorar desde el subconsciente las soluciones buscadas.

El mejoramiento de estas aptitudes, que en cierta manera algunas ya se encuentran en muchas personas y en los investigadores, se necesitan en estos en mayor grado para aumentar su creatividad, que conjuntamente con su lógica científica los hace más aptos para encontrar las soluciones a las problemas planteados.

Mediante el mejoramiento de estas aptitudes potenciales y aplicando diferentes técnicas es posible la resolución de problemas de índole organizativa, técnicos, científicos, económicos, sociológicos, etc., bien individualmente o mejor en grupo.

En la obra de Fustier⁽¹²⁾, de Aznar⁽¹³⁾ y de Kaufman y otros⁽¹⁴⁾, se encuentran una serie de ejercicios prácticos que tienen por finalidad el mejoramiento de las aptitudes indicadas y que por la índole general de este libro no podemos tratar, pero que sí recomendamos al lector interesado en su práctica, la atenta lectura y los ejercicios que en estas obras se indican. En esta obra y por la importancia que tienen, sin menoscabo de las otras técnicas, ampliaremos el concepto y aplicación, con algunos ejemplos, de tres técnicas que consideramos importantes tanto para la potenciación de la creatividad individual o en grupo, como por su empleo en los métodos de *brainstorming* y sinéctica. Nos referiremos a: la «trituración», la «analogía» y la «metáfora o parábola».

Los dominios de aplicación de estas técnicas son muy variados y pueden ser utilizados en la investigación científica, tecnológica e industrial. Así, en los problemas científicos y tecnológicos, determinados ejercicios son adecuados

para mejorar el planteamiento de hipótesis y el descubrimiento de ideas para la solución. En otros casos, la investigación tecnológica e industrial puede utilizar estos métodos para mejorar la aptitud necesaria para el perfeccionamiento o invención de nuevos aparatos o procesos.

8.4.3. La trituration

Se denomina trituration al método utilizado en creatividad para *desarraigarnos del concepto que tenemos del mundo de los objetos, de las instituciones, de la concepción intelectual*, los cuales son tomados por nosotros como absolutos, de tal forma que el mundo que está instalado ante nosotros lo consideramos como inamovible. Así, cuando pensamos en una silla nos viene la imagen de que sirve sólo para sentarse como su única utilidad y no nos imaginamos otras posibilidades de su utilización; de análoga manera, la escuela nos trae a nuestra mente una determinada forma de comportarse, estudiar y evaluar nuestros conocimientos, de acuerdo con nuestra experiencia y la forma habitual de adquirir conocimientos y no intentamos romper el cliché establecido y proponer otras posibilidades.

La pregunta es *¿cómo salirnos de estas concepciones e idear otra manera de concebir ese objeto o esa institución?* Para lograrlo es necesario considerar el *universo técnico, el funcional y el sociológico*. Para ello, es conveniente, antes de iniciar la sesión de creatividad, el descomponer el objeto en sus elementos:

- *El concepto*. Una válvula viene unida al concepto de apertura y cierre.
- *Los componentes*. Partes de que consta, materiales de que están hechos cada parte, dimensiones, etc.
- *Las funciones*. Por ejemplo, una pluma tiene por función escribir sobre un papel u otro soporte, la descripción de un hecho, fórmula, etc., para dejar constancia de ello.
- *El entorno*. Aquel lugar o situación en donde situamos el objeto, etc.
- *El utilizador*. Persona, institución, máquina, dispositivo, etc., que hará servir el problema propuesto.

Para buscar nuevas formas o usos del problema propuesto es necesario plantearse alguna de las modificaciones siguientes: aumentar, disminuir, combinar, invertir, modificar, sensualizar, etc., de uno o varios de los elementos citados anteriormente. Así, por ejemplo, la clásica maleta de viaje, mediante el cambio de materiales ha disminuido su peso; a su vez, la adición de ruedas y un agarrador ocultable-extensible permite su fácil transporte en distancias relativamente largas, aeropuertos; y un nuevo sistema de cierre codificado a voluntad del usuario ha eliminado la necesidad de utilizar llaves. Muchos otros ejemplos pueden ser citados como aplicación de la trituration, a los cuales remitimos al lector a la bibliografía citada en ^(12,13,14).

8.4.4. La analogía

En este método se evoca la imagen de objetos sugeridos por el problema que se estudia. Tal como dice Gordon, «*se trata de poner en paralelo hechos, conocimientos o disciplinas diferentes*». La analogía se considera como un proceso fundamental del conocimiento, aunque el razonamiento analógico es objeto de opiniones contrarias. Los lógicos lo consideran como una forma primitiva y engañosa del conocimiento, mientras que para los psicólogos y poetas es, por el contrario, la única vía equilibrada del descubrimiento y del conocimiento del mundo. Sin profundizar en estos aspectos y desde la praxis, el método analógico puede ser empleado para: crear objetos físicamente nuevos, comprender los fenómenos de la naturaleza y estudiar los problemas morales o sociales.

La analogía como uno de los métodos creativos más importantes presenta diferentes formas de practicarla, algunas de las cuales resumimos:

8.4.4.1. Las relaciones analógicas

Es un ejercicio simple, practicado al iniciarse en el método analógico, que trata de que la persona adquiera experiencia en la búsqueda de las *relaciones analógicas* que existen entre diferentes objetos, fenómenos naturales, sociales o morales. Estas relaciones pueden ser muy variadas, de forma, de utilización, de composición, permanencia, etc.

8.4.4.2. La analogía de relación

Es una práctica más compleja que la anterior. Tiene por finalidad ejercitarse en la búsqueda de *estructuras análogas*, entendiendo por tales las formadas por dos entes, por ejemplo institución/persona, persona/persona, materia/objeto, etc. Por ejemplo, una empresa importante desea elevar el nivel cultural mediante la creación de una universidad de verano a través de una fundación, y para definir esta se buscan relaciones analógicas a la relación fundación/empresa tales como autonomía/Estado, sucursal/banco, ministro/jefe de Estado, etc.

8.4.4.3. La parábola

Es una forma particular de comparación y, por consiguiente, de analogía. La parábola es una analogía que debe ser bastante explícita para que la estructura mental que la sostiene pueda ser aplicada inmediatamente al fenómeno que a través de ella se intenta hacer comprender, mediante una especie de transposición global. La parábola pretende ejercer una acción de influencia

sobre los que la escucha tiene un valor pedagógico, y es a través de la parábola como Jesucristo explicó su Buena Nueva, pilar de la evangelización cristiana de Occidente. La búsqueda de parábolas es preferible efectuarla inicialmente individualmente y después en grupo.

8.4.4.4. *La metáfora*

Consiste en trasladar el sentido recto de las palabras a otro figurado. Por ejemplo, «Las perlas del rocío», «La primavera de la vida», «La fuente de la esperanza», etc. En cierto modo es una parábola menor. Suele emplearse en los ejercicios formales de sinéctica.

8.4.4.5. *La identificación corporal*

Es la interiorización de un problema, de tal manera que nuestro cuerpo y su mente busquen inconscientemente aquellas soluciones directas que su organismo puede imaginar y que mediante un esfuerzo lógico e intelectual son difíciles de alcanzar. Cada miembro del grupo debe actuar intensamente sintiéndose e identificándose con el objeto problema, explicado lo que hace y como lo siente, para que los otros miembros del grupo lo capten, anoten y les sirva para emitir nuevas ideas. Ejemplos clásicos de este modo de actuar fue el descubrimiento de Arquímedes al identificar su cuerpo con la corona de oro cuyo volumen debía calcular; otro ejemplo, es el citado por Gordon para resolver el problema de una caja negra en la cual se instala un regulador de velocidad, cuyo árbol de entrada gira entre 400 a 4.000 rpm y el árbol de salida debe girar siempre a la velocidad de 400 rpm. Es un ejercicio difícil que requiere un gran esfuerzo de concentración.

8.4.4.6. *El proceso*

El proceso de la práctica de la analogías se puede descomponer en tres fases:

La búsqueda de las analogías. En cada problema a estudiar se deberá buscar, mediante alguna de las técnicas descritas, qué objetos, instituciones, etc., tienen una analogía con el problema propuesto. Las analogías son obtenidas por una sollicitación intensa del subconsciente del grupo. El número de analogías obtenidas depende del tipo de problema; en los más simples suelen obtenerse entre diez a veinte analogías, mientras que en los problemas más complejos y emocionalmente más ricos se pueden alcanzar entre cincuenta o cien analogías.

La elección y clasificación de las analogías. Después de la etapa imaginativa, sucede la etapa crítica, en la cual se trata de eliminar aquellas analogías que son meras asociaciones o las que se consideran poco interesantes. Las res-

tantes se agrupan por categorías y para ello puede utilizarse la forma arborescente, en los casos más simples, o el círculo armónico de conceptos. Ello requiere bastante tiempo y son ejercicios intelectuales que desarrollan la capacidad de análisis y de síntesis, ambas muy importantes para el investigador.

La explotación de las analogías. Una vez que las analogías han sido clasificadas, es necesario proceder a un examen minucioso de cada una de ellas, a fin de ensayar la aplicación al problema propuesto las sugerencias de cada una de ellas. El examen no debe ser muy riguroso y deben dejarse aparecer las ideas de una forma pausada, viendo las semejanzas y desemejanzas que existen en cada una de ellas para solucionar el problema propuesto.

Esta fase del proceso es una fase en la que interviene el grupo, de forma que cada miembro desarrolla libremente el tema de cada analogía, exponiendo aquellas ideas que le vienen para solucionar el problema propuesto. Una vez que todas las ideas han sido anotadas, se vuelve a la fase crítica a fin de encontrar los principios de solución que son inmediatamente aplicables.

8.5. Técnicas individuales de creatividad

Bien porque se posean facultades personales de tipo creativo en grado suficiente o porque estas se hayan logrado mejorar mediante la práctica de los métodos indicados en 8.4, las personas tienden, en una primera instancia, a abordar el problema individualmente al considerarse el investigador *suficiente* para no necesitar la ayuda de otras personas. En estos casos, considero conveniente citar algunas de las técnicas empleadas individualmente o en grupo, en las fases creativas del problema a investigar.

8.5.1. Análisis morfológico

En los problemas complejos se suele utilizar la técnica del análisis morfológico, entendiendo por tal el análisis de las formas de un objeto o situación, a fin de que el investigador corra el menor riesgo posible en dejar de lado algún aspecto importante. Estos aspectos importantes reciben el nombre de *dimensiones*.

El método más simple es el intuitivo, en el cual el investigador piensa simplemente en los dos o tres aspectos más importantes y los considera como dimensiones clave del problema. Por ejemplo, el análisis morfológico de un hilo de filamento continuo comporta la clasificación de los elementos que lo forman: a) título del hilo; b) número de filamentos; c) título de cada filamento; d) sección de cada filamento; e) torsión del hilo; f) materia de la que está compuesto; g) sistema de fabricación empleado, como «dimensiones» más importantes de su morfología. A su vez, cada una de estas pueden descomponerse de la misma manera en otras formas que se denominan *subdimensiones*. Por ejem-

plo, la sección del filamento puede ser: d1) redonda; d2) plana; d3) elíptica; d4) arriñonada; d5) dilobal; d6) trilobal; d7) irregular, etc.

En muchos casos se suele formar una matriz de dos o más dimensiones, debiéndose tener en cuenta que cuanto mayor número de dimensiones intervienen más difícil es el análisis morfológico y más importante es la determinación rigurosa de sus dimensiones. En estos casos, el proceso intuitivo puede ser reemplazado por una síntesis descrita por M. J. Allen que utiliza las matrices como métodos de estímulo para el pensamiento creativo. Las fases del método son las siguientes⁽¹¹⁾, págs. 42-43:

1. Descomponer el problema en sus aspectos menores y escribirlos en una ficha.
2. Dejar el problema durante algún tiempo para que el subconsciente trabaje en él (periodo de incubación).
3. Volver al problema y añadir cualquier idea, pasándola a otra ficha.
4. Examinar las fichas y agrupar las que estén relacionadas.
5. Seguir sintetizando los grupos hasta obtener un número no superior a 7 de elementos importantes y distintos.
6. Representar cada dimensión como se indica en la Figura 8.1.
7. Examinar las diferentes combinaciones desplazando las tiras entre sí.

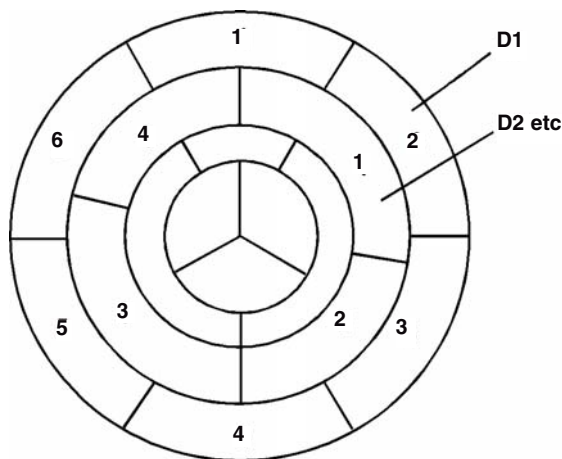


Figura 8.1. Representación alternativa de una matriz tetradimensional⁽¹¹⁾, pág. 43.

8.5.2. Listas de atributos

Las listas de atributos son una forma especial del análisis morfológico, aplicándose al análisis de un producto o proceso en términos de sus funciones o atributos. El sistema a estudiar, en el caso de los productos, puede considerarse

como estático, ya que el producto adquiere una forma que no se modifica con el tiempo, mientras que en el de los procesos suele ser dinámico, ya que durante el proceso se producen cambios que están relacionados con el tiempo de tratamiento, por ejemplo, un proceso de secado, y por ello se debe incluir el tiempo y el cambio deseado.

En el caso de productos, las listas de dimensiones para cumplir una determinada función no nos dan la solución al problema planteado, o sea, su descubrimiento, pero sirven como estímulo a la imaginación.

Supongamos, por ejemplo, que deseamos inventar un dispositivo o aparato, para «Captar pequeñas cantidades exactas de soluciones acuosas para evaluar el contenido de determinadas sustancias que puedan contener». La Tabla 8.1 muestra una posible lista de atributos a considerar para estimular la imaginación.

Tabla 8.1. Resultado tipo de una destilación ASTM D86 de una gasolina

Dimensiones	Elementos de la dimensión
Recipiente pequeño (A)	Tubo graduado, vaso graduado, tubo que contenga un recipiente de volumen determinado
Captación solución (B)	Succión por aparato regulador de volumen, succión bucal, succión con bola flexible
Material (C)	Transparente, translúcido, opaco
Resistencia a la rotura (D)	Elevada, media

Si a cada dimensión asignamos una letra, *A*, *B*, *C*, *D*, y a cada elemento de dimensión un número de subíndice, tendremos de cada dimensión los componentes $A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, B_3$, etc., con lo que el número de combinaciones teóricas posibles sería de $3 \times 3 \times 3 \times 2 = 54$. Es evidente que si queremos que, por ejemplo, el material sea sólo transparente, el número de combinaciones posibles sería de 18, y así sucesivamente. Con esta técnica no se pretende encontrar la solución del problema pero ayuda a estimular la imaginación para encontrarlo.

El análisis de los procesos dinámicos es utilizado en problemas relacionados con ingeniería, por ejemplo, reactores químicos, sistemas de secado por lotes o continuos, sistemas de extrusión de plásticos, sistemas de estirado de mechas de fibras, etc. En estos casos, en columna se sitúan las funciones a efectuar y en otra columna las alternativas existentes, obteniéndose, como en el caso anterior, el número de combinaciones teóricas posibles, que posteriormente pueden reducirse de según las limitaciones puestas a la solución. Así, de la lista de elementos y el análisis morfológico efectuado a los reactores de los cohetes en 1951, según las posibilidades de aquella época, se obtuvieron 36.864 posibilidades que posteriormente se redujeron a 576, entre las cuales se encontraban la bomba aérea alemana V-1 y el cohete V-2⁽¹²⁾, pág. 134.

8.5.3. Diagramas de planificación de la investigación

Los diagramas de planificación de la investigación es otra de las técnicas que pueden ser empleadas individualmente y ayudan a la creatividad del investigador en el momento de la planificación. Con ellos, puede configurarse un sistema de planificación que ayuda a visualizar los diferentes pasos y opciones que se pueden presentar. La lógica y configuración de los diagramas de planificación se ha tomado de los diagramas de flujo para ordenador y emplea el mismo simbolismo que estos: el principio y fin de la planificación simbolizado por un rectángulo con dos semicircunferencias en los extremos; las acciones por rectángulos; las decisiones por rombos y las acciones que deben finalizar antes de comenzar otras mediante una circunferencia. Esta forma de representación facilita al investigador la exposición explícita de los criterios de decisión y las posibilidades de fallo, e indica claramente los ciclos de repetición. La Figura 8.2 muestra un posible ejemplo.

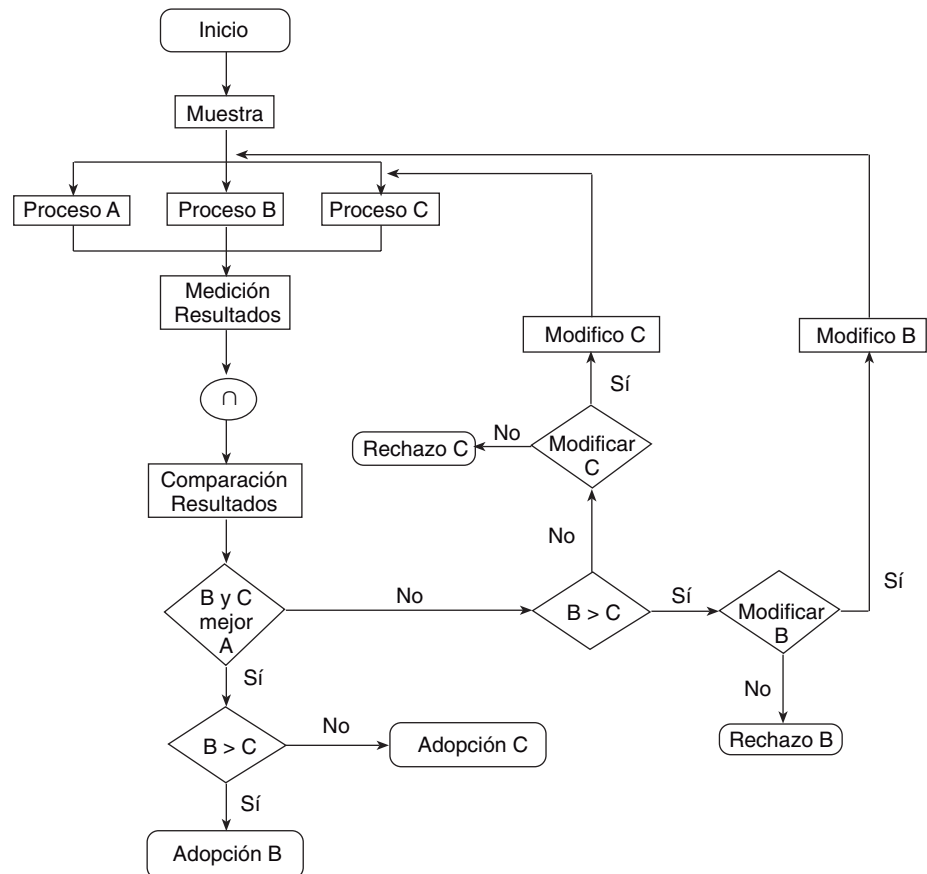


Figura 8.2. Diagrama de planificación de mejoramiento de proceso A por dos nuevos procesos B y C.

8.5.4. Métodos para definir y redefinir los problemas

En las etapas del método científico relativas a al *planteamiento del objetivo* y a la *propuesta de soluciones*, que consideramos como muy importantes en dicho método, se presentan casos, tanto a escala individual como de grupo, en donde la definición inicial no es suficientemente clara y precisa acerca de sus puntos clave, lo cual lleva a la necesidad de redefinirlo adecuadamente antes o durante el curso del trabajo, según aconseje el desarrollo del mismo.

Tudor Richard aconseja en su obra *La creatividad*⁽¹¹⁾, pág. 62, que antes de efectuar los diferentes tipos de técnicas para mejorar la definición o redefinición de los problemas, se efectúe un autoexamen de cuáles son los puntos débiles a mejorar en esta fase del problema. Dicho autoexamen se efectúa mediante una serie de preguntas cuya contestación *sí o no* puede indicar si se necesita mejorar: la claridad de la exposición, si somos demasiado rígidos en nuestros puntos de vista, si nos falta fluidez en presentar alternativas a la definición, si nuestras redefiniciones son poco originales, o son todas del mismo tipo. Según sea la respuesta, Tudor Richard propone una serie de técnicas para mejorar nuestra capacidad de definición o redefinición de los problemas, a las cuales remitimos al lector en la referencia indicada anteriormente.

8.6. La creatividad en grupo

En el apartado 8.3 se hicieron unas consideraciones generales acerca de los métodos intuitivos y en el punto 8.3.8 se indicaron las características del grupo como elemento de investigación superior al individuo para la generación de ideas que resuelvan problemas abiertos concretos. La utilización del grupo no está muy difundida en investigación fundamental, mientras que en investigación tecnológica industrial, así como en investigación organizativa y comercial de las empresas, su utilización es bastante frecuente. Es conveniente, dentro de los límites impuestos a esta obra, concretar algunos aspectos importantes acerca del grupo creativo.

8.6.1. Criterios para seleccionar los miembros del grupo

Aunque entre las técnicas de *Brainstorming* y *Sinéctica* pueden existir algunas diferencias, los criterios para seleccionar los componentes de un grupo creativo pueden resumirse del modo siguiente:

8.6.1.1. Número de miembros

El número de miembros de un grupo de creatividad no debe ser muy elevado, aunque existen opiniones diferentes. En algunas sesiones iniciales, denominadas

«sesiones de disparo», en donde se quiere recoger el mayor número de ideas, se suele admitir que el número de componentes sea mayor, 10-12 miembros, mientras que en las sesiones posteriores o normales, el número de miembros suele ser de 5-6 más el conductor o animador del grupo. Cuando los miembros del grupo tienen experiencia es aconsejable la cifra inferior.

8.6.1.2. Edad de los componentes

También existen diferencias de apreciación en relación con la edad de los componentes. Gordon situaba la edad idónea entre los 25-40 años, tal vez porque en las sesiones de sinéctica se requiere un esfuerzo considerable y porque el poder metafórico requiere una cierta experiencia, límite inferior, y tiene un umbral de eficacia en el límite superior de los 40 años. No obstante, existen muchos casos de investigadores en donde la creatividad se mantiene hasta los 50 años o más.

8.6.1.3. Áreas de conocimiento

El grupo debe tener una composición variada que represente tantas disciplinas como sea posible, siempre que sean capaces de comprender el problema y colaborar en él. No se debe seleccionar a los miembros por ser expertos en el área donde se puede encuadrar el problema; en los problemas técnicos puede ser necesaria una cierta formación científica en las diferentes áreas y es aconsejable la presencia de un especialista (el responsable del desarrollo de la idea). Como cualidades intelectuales son apreciadas la capacidad de establecer analogías, capaz de captar las relaciones existentes entre dos campos del pensamiento próximos o distantes, y la habilidad de establecer una síntesis entre el cúmulo de ideas generadas en una sesión de creatividad.

8.6.1.4. Carácter de los miembros

El miembro de un grupo debe mostrar una buena independencia de pensamiento, ser generoso en el trabajo que efectúa sin esperar la contrapartida que puede recibir por su esfuerzo y ser tenaz en la exposición de sus ideas. Debe haber mostrado un comportamiento constructivo en las reuniones que normalmente se hacen en los lugares de trabajo, de tal manera que se pueda establecer una buena armonía entre los miembros del grupo.

8.6.1.5. Nivel jerárquico

El grupo debe tener una cierta uniformidad en el nivel jerárquico de sus componentes, pues la existencia de una persona con un nivel muy superior

hace que, aun sin querer, las ideas emitidas por esta persona actúen condicionando las emitidas por los miembros de menor nivel. Por otra parte, aunque con grupos unisexuales se obtienen buenos resultados, se ha comprobado que los grupos heterosexuales son capaces de emitir ideas más variadas.

8.6.1.6. Pertenencia de los miembros

Los componentes del grupo pueden pertenecer todos a la misma institución o empresa, ser externos a estas o tener una composición mixta. El primer caso, presenta el inconveniente de estar marcados por una técnica única (todos son químicos, electrónicos, biólogos, etc.) y por la misma tradición empresarial, lo cual representa una desventaja ya que las ideas suelen estar muy condicionadas por su especialización y la forma tradicional de hacer las cosas. La ventaja de esta composición se da en que el trabajo en conjunto puede crear una aproximación entre ellos para «hacer algo nuevo». Cuando el grupo se forma con personas externas, es más fácil reunir a las personas idóneas, sin ningún ligamen jerárquico entre ellas; sin embargo, al no conocer el tipo de investigación que se realiza se puede crear una descordinación entre el grupo y la institución o la empresa. Por todo lo indicado, parece más aconsejable que el grupo sea mixto, o sea, que esté formado por dos o tres personas externas y por dos o tres personas internas conectadas con la investigación.

8.6.1.7. Animador

Como hemos indicado anteriormente, en el grupo debe de existir un conductor o animador, y su adecuada elección es muy importante para la eficacia del grupo y constituye uno de los aspectos más difíciles de solucionar. Un buen animador no se improvisa y su formación es más larga que la de los otros miembros del grupo.

El tipo de animador depende de si el tiempo de que se dispone para la formación del grupo es corto, una semana, o largo, tres meses, y de si el grupo debe mantenerse en actuación un corto periodo de tiempo, dos o tres semanas, o durante un periodo de un año o más. De acuerdo con los estudios efectuados por psicólogos americanos para medir la eficiencia de los grupos de creatividad, según el animador fuese «directivo» (autoritario) o «no directivo» (dejar hacer), las conclusiones indican:

- Cuando el plazo es corto, los grupos obtienen los mejores resultados rápidamente con animadores directivos.
- Cuando el plazo es largo, con animadores no directivos los grupos obtienen al principio resultados mediocres, pero después de un cierto tiempo sus resultados son superiores a los de los grupos con animadores directivos.

8.6.2. La formación del grupo

Para desarrollar en los miembros de un grupo la aptitud «creativa» es necesario actuar dinámicamente movilizándolo su afectividad para que los factores intelectuales se pongan a actuar. No se trata de dar una serie de lecciones como en una cátedra, sino hacer que los miembros puedan evadirse de lo racional, disminuyendo la resistencia mental al cambio de una forma dinámica, es decir, viviendo la actuación. La creatividad no se aprende, hay que eliminar mentalmente el miedo a crear.

Según G. Aznar⁽¹³⁾, (pág. 135) en el contenido para la formación del grupo se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

8.6.2.1. *La comunicación*

Es un elemento esencial para el buen funcionamiento del grupo y debe alcanzar un grado de excelencia para ser efectiva. No se trata de una comunicación por simpatía o cortesía sino de una comunicación que sea capaz de recibir los mensajes de los otros miembros lo mejor posible. La comunicación se establece en el plano verbal y en el de los gestos corporales.

La comunicación verbal, mediante la expresión oral de los mensajes o ideas, no requiere un lenguaje muy depurado, sino que la forma de expresión permita comprender lo que se desea decir. Se debe evitar la emisión de frases negativas hacia lo dicho por otro miembro del grupo, por ejemplo «esto ya se ha dicho, esta idea no vale, no estoy de acuerdo, etc.», ya que ello rompe y frena la emisión de las ideas. En la comunicación verbal se suelen emplear asociaciones semánticas, subjetivas, fonéticas, por imagen, etc.

La comunicación corporal mediante gestos, ejercicios corporales, etc., como medio de manifestar un mensaje, tal como muchas veces hacemos cuando no conocemos una lengua y nos comunicamos mediante signos que permiten que comprendan nuestros deseos, es también muy útil para expresar sentimientos que son difíciles de manifestar verbalmente. Es evidente que todo ello requiere un ejercicio y una práctica que no se puede aprender por medio de conferencias.

8.6.2.2. *La expresión corporal*

La investigación psicológica indica que existe una relación entre el funcionamiento de nuestro pensamiento y la manera de expresarse nuestro cuerpo. Mediante las técnicas de expresión corporal se trata de descubrir la riqueza de ciertos gestos simples que habitualmente no empleamos en nuestra vida cotidiana, pero que tienen un indudable valor como expresión afectiva de nuestro pensamiento. Las expresiones corporales más utilizadas en las sesiones de creatividad son la rítmica, la dramática, la gráfica, etc.

8.6.2.3. *La implicación*

Un objetivo de la formación es buscar un grado elevado de la implicación entre sus miembros, pues la creatividad de un grupo está en función directa de su grado de implicación. La implicación es más fácil cuando nadie se considera más genial o superior a los otros. Debe efectuarse un ejercicio de sinceridad de como cada uno se siente dentro del grupo, después de un determinado tiempo de contacto. La implicación no se puede imponer y el conductor del grupo debe sopesar el grado de implicación existente y procurar, mediante el contacto y los ejercicios que sea el más elevado posible, antes de iniciar las sesiones de trabajo.

8.6.2.4. *Las técnicas empleadas por los grupos creativos*

Ya hemos indicado anteriormente las referencias bibliográficas^{(12), (13), (14)}, en donde el lector puede encontrar algunas de las empleadas. En el apartado 8.5 nos hemos referido a algunas de las empleadas en la creatividad individual que también pueden ser utilizadas en los grupos. Más adelante nos referiremos a dos de las más utilizadas por los grupos creativos, una vez formados.

8.6.3. Definición del objetivo

En el Capítulo 6 sobre El Método Científico, y en el apartado 6.2 vimos el Planteamiento del Objetivo y su importancia. En las técnicas de creatividad en grupo y dado a que su planteamiento recae sobre problemas abiertos y dentro de los sectores industrial o de servicios, la definición del objetivo debe efectuarse teniendo en cuenta que el objeto del estudio pertenece a tres universos diferentes⁽¹⁴⁾, pág. 87:

- *El universo del medio sociológico.* Comprende el medio ambiente sociológico en donde debe emplearse el objeto o situación del problema que se pretende resolver. Así, en el caso de un ordenador, deberá definirse dónde se utilizará: oficina, casa, viaje, enseñanza, centro de cálculo, etc., ya que las características de forma, tamaño, etc., que se exigirán variarán según el uso a que va destinado.
- *El universo funcional.* Comprende el tipo de servicio que se espera que cumpla el objeto u organización que se presenta como problema. Así, en el caso del ordenador, además de las funciones generales comunes a todos ellos, en un ordenador de viaje para un profesional comercial, su función deberá comprender una buena capacidad de transmisión y recepción de datos de su empresa, una buena base de datos de los clientes a visitar y de las características o técnicas de aplicación de los productos que ofrece con demostraciones virtuales atractivas, ser ligero para su transporte, resistente mecánicamente, largo

tiempo de capacidad operativa sin estar conectado a una red de suministro eléctrico, etc.

- *El universo tecnológico.* Consta de los elementos que componen el objeto o servicio que se estudia. En el caso del ordenador habría que analizar las características de sus elementos principales tales como: tipo de procesador, memoria RAM, memoria de disco duro, unidad de disquete o de CDR, tipo de pantalla, tipo de sonido, etc.

Estos tres universos no están aislados sino que se encuentran ensamblados entre sí. El universo sociológico es el más amplio y abarca a los otros dos; le sigue el funcional, que a su vez comprende al tecnológico.

8.6.4. Elección de una técnica de creatividad

Las diferentes técnicas creativas para trabajar en grupo no son todas idóneas para resolver los diferentes casos que se pueden presentar. Por ello, una vez fijado el objetivo conviene aplicar aquella o aquellas técnicas que la experiencia ha demostrado como más útiles para intentar encontrar una solución al problema planteado.

Los problemas que se pueden plantear en la industria suelen ser de tipo muy diverso, entre los cuales podemos citar:

8.6.4.1. *Mejorar la calidad o presentación de los productos*

Para ello son aconsejables las siguientes técnicas:

La trituración. Consiste en diseñar algo nuevo demoliendo o modificando lo existente. Produce un gran número de ideas aceptables para el fin propuesto.

La analogía. A través de objetos parecidos al que se pretende mejorar se pueden obtener ideas para aplicarlas al producto inicial.

8.6.4.2. *Mejorar alguna de las funciones de un producto*

Este caso puede plantearse solo o conjuntamente con el anterior. Como técnicas son aconsejables:

La trituración y la analogía. Ya indicadas anteriormente, pero en este caso solamente aplicables al componente del producto cuya mejora se desea obtener.

La superposición. Mediante la selección al azar de una serie de objetos que no tienen relación directa con el objeto cuya función se intenta mejorar y comparar los elegidos con la función a mejorar. Se considera muy útil esta técnica para el fin propuesto.

8.6.4.3. Diseño de un nuevo producto

Mediante una prospección del mercado se observa que existe una necesidad real o futura de un nuevo producto. Este problema es más complejo que los anteriores. Los métodos más aconsejables para estos casos son:

La trituración y la analogía. Ya indicadas anteriormente.

La identificación. Se necesita identificarse con los deseos del mercado, en vez de con la función del producto y a través de aquellos identificar un objeto, separado de lo existente, que reúna las características deseadas por el futuro usuario.

Es evidente que se pueden presentar otros tipos de problemas a resolver en el ámbito social y organizativo de las empresas o de las instituciones, que por el marco a que hemos circunscrito esta publicación no vamos a tratar aquí. Por ello, aconsejamos al lector, que en estos casos consulte la bibliografía adecuada, siempre, eso sí, pensando que cada tipo de problema requiere una técnica adecuada y que estas técnicas es necesario el practicarlas durante un tiempo para poder actuar eficazmente en los grupos de creatividad.

8.6.5. Consideraciones generales sobre la sesión de trabajo

Entre las diferentes técnicas a emplear en la sesión de creatividad, se pueden encontrar una serie de pautas comunes que exponemos a continuación.

8.6.5.1. La preparación de la reunión

Por parte de la persona que desea que el grupo le dé ideas para resolver un problema, conjuntamente con el animador o director del grupo, se debe especificar clara y concisamente por escrito el problema que se desea resolver. Este escrito se enviará a cada uno de los componentes del grupo con antelación suficiente, una semana aproximadamente, para que piense acerca de posibles soluciones, antes de empezar las sesiones de creatividad.

8.6.5.2. El lugar de trabajo y su ambiente

Para el desarrollo de las sesiones de trabajo es conveniente la utilización de lugares tranquilos, fuera del ambiente de trabajo y sin comunicación con este, a fin de evitar tensiones que puedan distraer a los miembros del grupo del principal motivo por el que están reunidos. Una casa en el campo puede ser un lugar idóneo, eligiendo una sala con buena visibilidad y a ser posible con un panorama exterior agradable. El equipamiento interno debe ser sencillo, una mesa, sillas, tableros con bloques de papel o pizarras para anotar las ideas, etc.

Actualmente pueden utilizarse los ordenadores provistos de amplias pantallas para efectuar el diálogo grupo-ordenador.

El ambiente debe ser distendido, evitando el aburrimiento durante la sesión de trabajo, creando entre los miembros del grupo estímulos para su activa participación, funciones en las que el animador del grupo debe actuar de forma que no se produzca el decaimiento, sino todo lo contrario. Un buen momento para el inicio de la sesión es por la mañana temprano, cuando el grupo se encuentra relajado y potencialmente activo.

8.6.5.3. *Las alternancias*

En toda sesión creativa se producen situaciones contrapuestas, es decir, periodos en donde la imaginación está potenciada al máximo generando gran cantidad de ideas, más o menos extravagantes, y periodos en los cuales parece que las ideas no surgen o lo hacen con dificultad. En otro sentido, cuando el grupo intuye que se ha lanzado una idea que considera buena, se centra en ella y pierde su heterogeneidad, actuando más como una sola persona que como grupo.

Las fases imaginativas, de una duración entre 20-30 minutos, que no deben ser interrumpidas por el animador cuando se produce lo que se denomina «cuando el espíritu sopla», suelen ser seguidas de fases críticas por personas que no forman parte del grupo, entre las cuales debe estar la persona que ha propuesto el problema y algún especialista de dicha materia, a fin de seleccionar aquellas ideas que se consideran más aceptables, desde un punto de vista lógico o de sentido común. Estas ideas, escritas dentro de un orden de aproximación conceptual, se someten nuevamente al grupo creativo para que sobre ellas trabaje nuevamente su imaginación y emita nuevas ideas. Este ciclo se repite hasta que se considere, por parte del solicitante del problema, que existen una o varias ideas adecuadas para intentar resolver el problema planteado. A partir de este momento, se interrumpen las sesiones creativas.

8.6.5.4. *La invención y realización*

El investigador solicitante del problema, bien solo o asesorado por un grupo de expertos, podrá ponerse a trabajar y someter a prueba una o varias de las ideas que han sido emitidas en la sesión de creatividad. Para ello podrá realizar los prototipos que permitan corroborar si la idea o ideas emitidas son buenas o no, procediendo a los ensayos experimentales necesarios, aplicando la crítica y la reflexión sobre los resultados obtenidos. Si después de algunos días, semanas o meses los resultados no son los deseados, puede volver a consultar al grupo, en una determinada dirección que aparece como la más idónea, a fin de que este, mediante nuevas sesiones de creatividad, le ayude con el planteamiento de nuevas ideas, repitiendo el ciclo ya expuesto. Se considera que esta es la mejor

manera de obtener algo positivo, ya que un grupo que no esté apoyado y seguido por un investigador responsable y bien preparado suele ser estéril. En algunos casos, el investigador responsable puede llegar a ser un miembro del grupo si acepta estas técnicas como idóneas para la resolución de problemas abiertos.

8.7. Brainstorming

Entre las técnicas de grupo, una de las más conocidas y utilizadas es el *brainstorming*. Esta técnica fue ideada por Alex Osborn, ejecutivo publicitario, a fines de los años treinta. Osborn describió sus métodos en un libro importante bajo el título de *Imaginación aplicada* ⁽¹⁵⁾. El *brainstorming* es descrito como «una técnica de reunión mediante la cual un grupo intenta hallar una solución para un problema específico recogiendo todas las ideas aportadas espontáneamente por sus miembros». Para que la reunión pueda ser considerada como *brainstorming* es necesario que se sigan unas reglas determinadas, citadas en dicho libro.

Existen muchas obras acerca del *brainstorming* y las posteriores modificaciones que se han propuesto en la literatura profesional. Teniendo en cuenta lo ya dicho en el apartado 8.6 que recoge gran parte de las reglas que se siguen en esta técnica de grupo, nos limitaremos a indicar algunos aspectos complementarios que consideramos importantes y diferenciativos del *brainstorming*, según la versión inicial del propio Osborn.

El *brainstorming* es adecuado para aquellos problemas abiertos que no necesitan la presencia de un experto en el grupo y que requieran la generación de muchas ideas simples que abarquen en la mayor extensión posible diferentes aspectos del problema. Tipos de estos problemas se pueden encontrar en nuevos conceptos o aplicaciones para productos, procesos, mercados, problemas de gestión, etc.; no se consideran problemas que puedan ser resueltos por esta técnica, aquellos que requieran un número pequeño de respuestas, los que sean difusos o complejos, los que exigen un elevado nivel de preparación técnica que requieren un grupo homogéneo de especialistas, etc.

El grupo suele estar compuesto por 6-7 personas, no necesariamente expertas, de diferentes disciplinas, interesadas en el problema y en colaborar en su solución. Es aconsejable que la mitad de los miembros hayan ya participado en sesiones de *brainstorming* o sinéctica. El proponente del problema puede formar parte del grupo, si bien no es necesario desde el punto de vista de su funcionamiento.

La preparación del grupo se efectúa según hemos indicado en 8.6.5.1, por lo que no es necesario añadir ningún otro comentario.

La sesión de precalentamiento suele tener una duración aproximada de hora y media, de forma que al final de la misma los miembros del grupo se sientan cohesionados a trabajar todos juntos, se acepten y desarrollen ideas sin evaluarlas. Para ello, se dedican 5-20 minutos a su presentación, unos 30 minu-

tos a ensayar la originalidad, flexibilidad y fluidez de sus ideas mediante diversos ejercicios a juicio del monitor. Seguidamente se efectuarán ejercicios de redefinición durante 10-20 minutos, seguidos de ensayos en vacío del *brainstorming* para recordar sus reglas con ejemplos de ejercicios de buena aplicación de esta técnica.

Iniciada la sesión de *brainstorming*, el grupo debe producir ideas a tal velocidad que el animador pueda escribirlas en un bloc de papel, unas 5 o 6 por minuto, de tal forma que las ideas emitidas sirvan de estímulo para ir generando nuevas ideas. Después de la producción de las ideas iniciales, suele aparecer un periodo de sequía y entonces el monitor debe actuar de forma que el grupo reinicie su actividad, mediante aportación de ideas por su parte que puedan despertar al grupo de su bache productivo. Pasado este periodo, el grupo emite nuevas ideas más originales basadas, en muchos casos, en las producidas por los demás.

Al final de cada sesión de *brainstorming*, las ideas recogidas son presentadas al proponente, el cual, después de una reflexión detenida y según su opinión, retiene las que le parecen más interesantes y solicita al grupo de las aclare y amplíe las que desee. La nueva versión debe volver nuevamente al proponente para su reorganización, bien situando las más interesantes al principio de la lista o clasificándolas en grupos afines de contenido y colocando las más interesantes al principio de cada grupo, separándolas de las más especulativas, las cuales se deben conservar.

Posteriormente, el proponente solo o mejor con un grupo de expertos, seleccionarán una o varias de las que juzguen más apropiadas, las ensayarán experimentalmente, las valorarán aceptando alguna, que será sometida a nuevas pruebas hasta obtener un resultado que cumpla o no con el objetivo propuesto.

8.8. Sinéctica

W. J. J. Gordon en 1961 resumió los resultados de más de diez años de investigación acerca de los procesos creativos de los individuos, sugiriendo que estos estaban asociados a ciertos estados psicológicos, que de poderse inducir en las personas, aumentaría la probabilidad de su creatividad. Posteriormente, se dedicó al estudio de los grupos para tratar de producir en estos un estado psicológico especulativo mediante métodos analógicos y metafóricos. Todo ello lo condensó en un libro *Synectics*⁽⁸⁾. Posteriormente, G. Prince, que había trabajado con Gordon, profundizó la metodología para neutralizar las fuerzas que pueden inhibir a la creatividad, a fin de que los grupos pudieran ser más eficaces y productivos, lo cual presentó en su obra *The Practice of the Creativity*⁽⁹⁾.

La sinéctica ha sido definida como «*El estudio de los procesos que conducen a la invención para resolver problemas prácticos, mediante un grupo variado de personas imaginativas y capaces pero con intereses diferentes*». Gordon la definió como «*un proceso que lleva a la obtención de nuevas ideas mediante personas que no están relacionadas*». Hay que tener presente que la

sinéctica es un cuerpo de conocimientos complejo y muy cambiante, por lo que se presentan modalidades diferentes según el problema a tratar. En esta exposición efectuaremos un resumen de sus aspectos más importantes, según la concibieron Gordon y Prince.

La sinéctica es adecuada para aquellos problemas abiertos que necesitan de la presencia del proponente del problema a resolver (cliente), que sean problemas que requieran enfoques completamente nuevos y que las propuestas sean desarrolladas con una cierta profundidad. Estas características la diferencian del *brainstorming*.

Los ámbitos de aplicación de la sinéctica son los problemas abiertos relacionados con la administración, el marketing, la producción, la investigación, la mejora de procesos, y sobre todo, en el desarrollo de nuevos productos.

La selección del personal para la sinéctica no tiene unas reglas determinadas. En principio es aconsejable el asesoramiento de un experto en sinéctica y su supervisión posterior para acelerar el proceso de selección y de formación. En las empresas que ya tienen un grupo de creatividad suelen escogerse estas personas, reforzadas con otros miembros, para formarlas en cómo se opera en sinéctica, siempre que se interesen por esta técnica. En los casos generales se requieren personas con formación muy diversa, por ejemplo un químico, un ingeniero, un biólogo, algún ejecutivo de marketing, etc., mientras que en otros casos muy especializados se requerirán grupos con formaciones más específicas. Se ha comprobado que los resultados de los tests de creatividad no son muy adecuados para la selección del personal para sinéctica, si bien pueden ser una guía para evaluar la flexibilidad y la originalidad de las ideas de la persona.

Los cursos internos de formación, apoyados por la dirección, pueden llegar a conseguir el interés de las personas por esta técnica. Es necesaria la experimentación de la técnica antes de adoptarla. La elección del conductor del grupo o líder es uno de los problemas más difíciles de resolver y su actuación sólo se mejora con la experiencia; el líder debe orientar su actuación hacia el proceso, estimulando el funcionamiento del grupo y no hacia el contenido de las ideas, ni a su evaluación.

En la obra de Tudor Rickards⁽¹¹⁾, págs. 95-106, se indican tres fases en la composición de una experiencia sinéctica: informal, por un individuo en situación convencional; semiformal, por un líder experto con un grupo de trabajo; y formal, con un grupo de trabajo seleccionado.

8.8.1. Fase 1.– Comportamiento personal en reuniones convencionales

En esta fase se tiende a que el individuo adquiera o potencie determinadas características para participar en reuniones o discusiones convencionales de manera constructiva. Para ello, se consideran los siguientes elementos:

8.8.1.1. Escucha activa

La escucha activa tiene por finalidad aumentar la cantidad de información recogida en una reunión. No siempre se percibe bien todo lo que se oye; normalmente, al principio de una reunión se pone más atención y después esta decae. La escucha activa permite al orador conocer que los miembros del grupo han oído y comprendido lo esencial de su discurso y a estos los hará más eficaces como presentadores de ideas. Para ello utiliza la *retroacción* y la *paráfrasis*.

Mediante la retroacción se muestra que *se ha escuchado lo que se ha dicho* y por ello, los que practican la sinéctica utilizan al principio de sus intervenciones la expresión «Así que Vd. dice que...». Por la paráfrasis se conoce si *se ha comprendido lo que se ha dicho* y por ello suele decirse «Entiendo que su idea es...». Así como el rechazo de las ideas suele provocar un mayor rechazo por el grupo hacia la persona que lo hace, la escucha activa promueve una mejora de las actitudes y conducta del grupo.

8.8.1.2. Estructuras constructivas

Tienen por finalidad el tratamiento sistemático de cada idea y la potenciación de la mente para considerar nuevos modos de considerar un problema. Para ello se hace uso de la *fragmentación* y de la *orientación por objetivos*.

Por la fragmentación se efectúa, en cada idea, una exposición o redefinición del problema de forma imparcial y constructiva; ello requiere efectuar preguntas al proponente del problema del tipo «¿Ha tratado Vd. de...?» o «¿Qué cree Vd. que sucedería si...? Estas preguntas pueden situar al proponente o experto en el punto preciso y además constituyen una deferencia hacia él. No obstante, el número de preguntas no debe ser muy elevado y se aconseja a los miembros del grupo no expertos, que reduzcan el número de preguntas y las sustituyan por redefiniciones, o sea, nuevos modos de enfocar el problema.

La orientación por objetivos es una actitud mental que se puede practicar informalmente en cualquier reunión y tiene por misión nuevos modos de considerar un problema (objetivo), aceptando las diferencias de opinión como expresión de objetivos diferentes pero no conflictivos. En la práctica se pueden descubrir diferentes tipos de objetivos: los que reinterpretan las ideas de algún miembro del grupo, los que tienden hacia soluciones utópicas, los que ponen en duda situaciones limitativas, etc. A medida que el grupo desarrolla su orientación por objetivos se capacita mejor para la resolución de problemas abiertos.

8.8.2. Fase 2.—Un líder experto actúa como moderador de un grupo de trabajo

En esta fase se trata de reemplazar un moderador de la empresa por un *moderador o líder neutral* que se ocupa del *proceso* de funcionamiento de la

reunión pero que no contribuye al *contenido* de la misma con sus ideas. El líder debe prestar una atención especial a las reacciones del cliente, presente en el grupo, a las redefiniciones aportadas por el grupo y debe animar a este a presentar redefiniciones, disminuir el número excesivo de preguntas y practicar la retroacción, la paráfrasis y la orientación por objetivos. En la práctica, es aconsejable que el cliente efectúe sus valoraciones mediante la *fragmentación de la respuesta*, o sea, separando los elementos de las respuestas que considera útiles de los que requieren modificación.

8.8.3. Fase 3.—Reuniones formales de sinéctica: métodos analógicos y metafóricos

En las fases 1 y 2 se sigue un método informal que resulta extremadamente flexible, podríamos considerarlas como fases preparatorias o de entrenamiento, mientras que las reuniones formales de sinéctica se estructuran de una manera más formal, cuyos aspectos más importantes citamos a continuación.

- Se forma un grupo con el cliente, el líder y cinco o seis personas de diferente formación, que tengan alguna formación en sinéctica.
- El cliente informa al grupo de cuál es el problema y le orienta hacia el tipo de soluciones que desea, durante 5-10 minutos. En esta etapa los miembros del grupo pueden hacer uso de la retroacción y la paráfrasis.
- Durante esta exposición los miembros del grupo anotan la esencia de las ideas conforme se les ocurren. Estas se recogen como objetivos y el cliente identifica los objetivos potencialmente valiosos. Unos 15-20 minutos.
- En el examen de los objetivos por el cliente, este puede utilizar la paráfrasis y la respuesta fragmentada, identificando mediante esta los puntos fuertes (+) y los débiles (-) de las ideas. Estos últimos se toman como “subobjetivos” y se proponen soluciones para evitar cada uno de ellos.
- Si las soluciones aportadas no satisfacen al cliente, el líder puede proponer la denominada «*excursión*» utilizando las técnicas de analogía y la metáfora, durante unos 5 minutos para emitir ideas pertinentes. Las ideas surgidas son evaluadas por el cliente, paráfrasis y respuesta fragmentada, tal como se ha indicado anteriormente. La duración total del ciclo de excursión suele estar comprendida entre 5-15 minutos por objetivo. El ciclo puede repetirse.
- El tiempo total de la reunión es de hasta 2 h. Pueden efectuarse varias reuniones para resolver un solo problema.
- La fase final de la sesión debe incluir las disposiciones que el cliente debe tomar para aplicar la o las soluciones propuestas. Las soluciones propuestas deben ser contrastadas para conocer si: son nuevas, sin fun-

cionan resolviendo algún aspecto importante del problema y si el cliente puede aplicarlas dentro de su contexto de tiempo y posibilidades técnicas.

Bibliografía

1. Lewis E. Lloyd, *Techniques for Efficient Research*, págs. 70-82. Edit. Chemical Publishing Co, New York, 1966.
2. Cardwell D. *Historia de la tecnología*, págs. 64-69. Edit. Alianza Universidad, Madrid, 1996.
3. Abbot Paysson Usher, *History of Mechanical Inventions*, Harvard University Press, Cambridge.
4. Rousseau P. *Histoire de la Science*, págs. 252-262. Edit. Fayard, 1965.
5. Cardwell D. *Historia de la tecnología*, págs. 105-107. Edit. Alianza Universidad, Madrid, 1996.
6. Orborn A. *Applied Imagination*. Edit. C. Scribner & Sons, New York, 1957. Pesse-mier E.A. *Decisiones sobre nuevos productos* (traducción). Edit. Hispano-Europea, Barcelona, 1970.
7. Jantsch E. *Technological Forecasting in Perspective*. Edit. OECD, París, 1967.
8. Gordon W. J.J. *Synectics – The Development of Creative Capacity*. Edit. Harper & Row, New York, 1961.
9. Prince G. *The Prattice of Creativity*. Edit. Harper & Sons, New York, 1970.
10. De Bono E. *Lateral Thinking for Management*. Edit. McGraw-Hill, New York, (1971).
11. Tudor R. *La Creatividad*. Ediciones Deusto, Bilbao, 1974.
12. Fustier M. *Exercices Practiques de Creativité*, 4eme édition. Editions SME, Lyon, 1975.
13. Aznar G. *La Creativité dans l'Entreprise*. Editions d'Organisation, Paris, 1975.
14. Kaufman A., Fustier M., Drevet A. *La invéntica*, Ediciones Deusto, Bilbao, 1973.
15. Osborn A. *Applied Imagination*. Edit. C. Sribner & Sons, New York, 1957.

Nombre de la Sociedad					Solicitud de estudio de I&D			
Título del estudio Desarrollo de un fibra 1.5 Dtex Br/40 apta para ser procesada en máquina de OE BRD-200 de Investa					Fecha	Solicitante		N.º
					19-2-03	Antonio Sanz	Comercial	3
Origen Idea Clientes de OE con BD-200 Investa					INNOVACIÓN	PROCESO	SI	
						PRODUCTO	SI	
<p>Definición y objetivo</p> <p>Obtener una fibra de 1,5 Dtex Br/40 para ser hilada en máquina OE BRD-200 Investa en el límite de hilabilidad (título del hilo 22 Tex y coeficiente de torsión Tex 40) y sin formación de depósitos de polvo en el dispositivo disgregador.</p> <p>Fundamento de la petición</p> <p>Los clientes de este tipo de máquina no pueden hilar con la fibra que actualmente le suministramos.</p> <p>Otras fuentes de información</p> <p>Existen fibras en el mercado con las cuales es posible la hilatura en este tipo de máquinas, por ejemplo Dralon y Orlon.</p>								
Visados					Posibilidades éxito	Puntuación	Puntuación obtenida	
Solic.	Jefe	Inform. proceso	Inform. producto	I-D	Dudosa	< 95		
					Probable	110		
					Segura	> 140	130	

La difusión de la investigación

9.1. Introducción

La difusión de la investigación constituye una etapa importante, por lo general final, del trabajo efectuado. Podríamos decir que es el medio por el cual la sociedad conoce el trabajo llevado a término y reconoce el mayor o menor grado de valía de los investigadores. En líneas generales, el investigador debe presentar su comunicación de forma que suscite el interés, sea fácilmente comprensible y bien organizada, para comunicar a quienes va dirigida, los resultados esenciales de su investigación.

Hay dos formas de difundir la investigación. La escrita mediante publicaciones de diferentes tipos, y la oral a través de exposición verbal en reuniones de expertos.

En la difusión de la investigación es importante la forma cómo esta se presenta, pues debe efectuarse de tal manera que responda a las preguntas: *quién, qué, cuándo, dónde y cómo*. Es decir, a quién va dirigida, qué debe contener, cuándo debe efectuarse, dónde es conveniente presentarla y cómo hay que hacerlo. El tener en cuenta correctamente los aspectos indicados, tiende a aumentar el reconocimiento y la validez de lo comunicado. Así, estudios efectuados muestran que en el hemisferio norte la actividad intelectual decrece durante los meses de julio y agosto y que la atención está dirigida a otros asuntos, descanso, diversión, viajes, etc., lo cual reduce la posibilidad de estar atentos a lo que se difunde en el campo de la investigación; sin embargo, en los meses de otoño, invierno y primavera, se presta más atención a los diferentes eventos en el campo científico y tecnológico y, por lo tanto, existen más probabilidades de ser tenidos en cuenta. De otra parte, estudios efectuados por Rex B. Hersey de la Universidad de Pensilvania (1954), indican que, en muchas personas, y por lo tanto también en los investigadores, existe un periodo emocional durante el cual se es más apto para efectuar la redacción y difusión de un trabajo en forma adecuada.

Cuando la difusión de la investigación se efectúa de forma oral, el contenido de la exposición, así como la utilización de gráficos, diapositivas, etc., deben ser considerados a fin de exponer los aspectos más importantes, según el tiempo de que se disponga.

En cualquier forma de presentación de una investigación, el investigador debe ser completamente honesto y objetivo, no disimulando los resultados adversos o no esperados, los cuales deben ser justificados según su leal saber y entender, de la forma más adecuada. En muchas comunicaciones es necesario el plantear las posibles interpretaciones que se pueden dar a un fenómeno, lo cual debe hacerse de tal forma que sus receptores no puedan interpretarlo como una afirmación contundente, sino como una suposición, que en algunos casos puede promover una investigación más a fondo para aclarar el fenómeno.

También es necesario indicar en las comunicaciones los límites del error implicados en las propuestas y en los datos de la investigación, pues ellos pueden ayudar al investigador a conocer la certeza o debilidad de sus conclusiones. Asimismo, debe cuidarse en las ecuaciones emplear un análisis dimensional correcto, a fin de evitar errores en su interpretación, tal como a veces sucede.

En la preparación de una comunicación, el empleo de un lenguaje adecuado es de gran importancia. No basta que el investigador tenga las ideas claras acerca de lo que debe comunicar, ello es necesario pero no suficiente. Existen bastantes libros acerca de cómo redactar bien una comunicación, por ello, no es objeto el que aquí hagamos una discusión acerca de las reglas que, desde el punto de vista narrativo y gramatical, deben seguirse. Sin embargo, sí considero oportuno el hacer algunas consideraciones de tipo general, máxime cuando actualmente los planes de estudio en los diferentes escalones de la enseñanza, no forman a los alumnos adecuadamente en esta disciplina, tal y como he podido comprobar durante mi etapa docente en la universidad. Como resumen podemos decir que:

- El correcto uso de las reglas gramaticales es necesario para mejorar la claridad expositiva.
- Es aconsejable el uso de la voz activa, nombres concretos y palabras cortas.
- Hacer lo posible por utilizar frases cortas para expresar una idea, resultado, discusión, etc.
- Utilizar palabras que puedan ser comprendidas por el lector. El uso de palabras nuevas o técnicas puede necesitar de una definición de su significado. Ello es frecuente en las comunicaciones sobre nuevas tecnologías, donde se usan anglicismos sin explicar cuál es su significado.
- Enfatizar lo importante, sobre todo el objetivo y las conclusiones del trabajo. Ser conciso en la exposición, sin perder claridad.
- La utilización de tablas, gráficos, dibujos o fotografías debe de ser utilizada para mayor claridad expositiva, sin sobrepasar determinados límites, en aras a una presentación más brillante.

- Tanto si la difusión de la investigación se efectúa de forma escrita u oral, siempre es necesaria su redacción en la forma escrita, pues aunque su presentación sea oral, lo normal es que después sea publicada en alguna revista científica o técnica. No obstante, para la presentación oral será necesario trabajar sobre la escrita a fin de acoplarla a los criterios que, en mayor o menor medida, son aconsejables para esta modalidad de presentación.
- Una vez finalizado el primer borrador de la comunicación, debe de releerse, comentarlo con los colegas y efectuar las correcciones necesarias para su correcta interpretación por parte de las personas a quienes va dirigida.

9.2. Tipos de publicaciones

Varios tipos de publicación pueden derivarse de un trabajo de investigación, dependiendo ello de la finalidad del trabajo y del receptor, persona, organismo, seminario, congreso, publicación, patente, etc.

Las publicaciones de los trabajos de investigación efectuados en la Universidad o en centros de investigación públicos o privados, se pueden encuadrar en dos tipos. Tesinas, tesis doctorales, comunicaciones científicas o técnicas para revistas o congresos, resúmenes bibliográficos para revistas y patentes. Estas publicaciones se efectúan, en la mayoría de los casos, sin condicionamientos externos, como consecuencia de la libertad que otorga la fuente de financiación. En otros casos, las publicaciones confidenciales para empresas u organismos nacionales o extranjeros, que exigen esta condición, como consecuencia de la financiación del trabajo de investigación, requieren la previa autorización de la fuente de financiación para su publicación total o parcial del trabajo desarrollado, entre otras condiciones.

Esta modalidad contractual está adquiriendo un gran impulso en la universidad española y otros centros públicos o privados, a través del incremento de los contratos entre aquélla y las Administraciones y las empresas, pues a través de los contactos se pueden efectuar proyectos de investigación u otros tipos de informes, y de esta manera obtener recursos financieros que permiten la adquisición de equipos o de personal, que de otra manera sería difícil de obtener; en estos casos, también es frecuente la emisión de *informes de situación*, además del preceptivo *informe final*. Este tipo de contratación es corriente en los países muy desarrollados tales como Estados Unidos de América, Inglaterra, Alemania, Japón, Holanda, Bélgica, y otros.

Las comunicaciones de las empresas podemos catalogarlas en internas y externas. Las internas pueden tener varios destinatarios y su forma de presentación varía según la persona o personas a las que vayan destinadas, siendo muy frecuente la utilización de los tipos de informes ya indicados. Por ejemplo, las comunicaciones dirigidas a la Dirección General por parte del director

de investigación, son informes resumidos de tipo técnico y económico de la situación de cada proyecto importante y, de la globalidad de los esfuerzos económicos destinados I/D y de sus resultados; suelen tener una periodicidad variable, trimestrales, semestrales o anuales. Los informes de cada jefe de grupo de investigación al director de investigación son más técnicos y detallados y suelen emitirse al final de cada etapa importante de cada proyecto, especificando los objetivos y resultados contenidos, así como una valoración aproximada de la situación económica de los proyectos del grupo. Esta periodicidad no significa que, en ambos casos, y en determinadas circunstancias, se requiera un informe rápido por motivos de circunstancias más o menos especiales. Además, al finalizar cada proyecto, es decir, cuando la etapa de desarrollo ha finalizado, se emiten por parte de investigación tres tipos de informes: uno muy completo para el archivo de investigación, otro dirigido a producción, especificando sólo aquéllos aspectos importantes que pueden servir para implantar el proceso en la planta industrial, y otro a marketing, indicando los aspectos positivos y las limitaciones del producto o proceso que pueden servir para su introducción en el mercado.

Las publicaciones de tipo externo de las empresas suelen ser: comunicaciones a congresos o reuniones técnicas, cuyo carácter científico o técnico-comercial depende del auditorio al que se dirigen y de la importancia que la empresa da a su imagen innovadora. En otros casos son informes de situación o finales de proyectos de investigación contratados con el Gobierno. Asimismo, en algunas empresas, las patentes para la protección industrial de sus invenciones o descubrimientos importantes constituyen fuentes de difusión de su investigación.

9.3. Estructura de una publicación científica o técnica

La estructura y contenido de cada una de las partes en que se puede dividir una comunicación científica o técnica, es, en general, como indicamos a continuación.

9.3.1. Título y palabras clave

El título debe aparecer en la primera página de la comunicación y deberá expresar con concisión y claridad el contenido de aquélla. Hay que poner un gran cuidado en la elección de las palabras empleadas ya que el título no debe sugerir ni más ni menos que lo que contiene la comunicación. Ello es importante porque el título, que es lo que aparece en las indexaciones de revistas para obtener información, por ejemplo *Chemical Abstracts Selec*, *GeoMechanisc Abstracts*, *Image Abstracts*, etc., decide muchas veces la lectura o rechazo de la comunicación.

El *Chemical Abstracts Service* fue el primero que propuso cómo convenía escribir un título en una comunicación sobre química, pauta que han seguido

otras publicaciones. Según las recomendaciones efectuadas por R. B. Freeman del servicio indicado, es necesario: ⁽¹⁾ escribir las palabras clave que expresen correctamente los aspectos de la publicación, ⁽²⁾ unir dichas palabras claves mediante enlaces. En el ejemplo siguiente pueden usarse cuatro títulos diferentes para una misma comunicación ⁽¹⁾.

- Estudios de solubilidad.
- Solubilidad del Fluoroeteno.
- Equilibrio de fase entre el Fluoroeteno y disolventes orgánicos.
- Un estudio del equilibrio de fase entre el Fluoroeteno y los disolventes orgánicos Dibutyleftlato y Clorotrifluoretileno a elevada temperatura.

En estos ejemplos, el citado en tercer lugar es el mejor compromiso entre brevedad e información. Se pueden utilizar otras generalizaciones para la escritura del título.

- Evitar el uso de verbos.
- No utilizar artículos: «el», «un/a», no son necesarios y mejoran la brevedad.
- No utilizar números y símbolos complejos.
- No utilizar más de 8-10 palabras, pues facilita la indexación.
- Evitar palabras superfluas tales como «Estudio o investigación de», «Un comunicación final de», «Una investigación completa sobre», etc.
- Para el título debe utilizarse una tipografía más relevante que para el resto de la publicación, por ejemplo, el uso de caracteres en mayúscula y negrita.

La elección de las palabras clave es muy importante, pues es la llave de acceso a la información existente en una base de datos informatizada y por ello debe de existir una estrecha relación entre ellas y el contenido de la publicación indicado en el título. De ellas depende el que otras personas interesadas por el tema puedan tener o no acceso a la información deseada. No debe escatimarse el uso de las palabras clave y suelen situarse después del resumen de la publicación.

9.3.2. Autores

Los nombres de los autores se sitúan debajo del título. La forma empleada depende de la revista a la cual se envía la comunicación. Lo correcto es: nombre completo o sólo la letra inicial, los dos apellidos o sólo el primero, por ejemplo, Manuel Sánchez Conesa o M. Sánchez. Debajo de los nombres suele ponerse el centro donde se efectuó el trabajo y la dirección completa o abrevia-

da; en algunas revistas se omite la dirección en esta posición y se traslada al final de la comunicación. Si son varios los autores, cada uno consta tal como hemos indicado, y si pertenecen a varios centros, se señala con una notación, asterisco, número, cada uno y el centro de trabajo a que pertenecen, así como la persona a quien dirigirse. Esta información sobre el centro y dirección se sitúan al pie de la primera página.

Cuando en un trabajo existen varios autores, el orden en que aparecen es, frecuentemente, una fuente de desavenencias. El orden es importante porque cuando el trabajo es citado por otros autores, en muchos casos, sólo se indica el del investigador que ocupa el primer lugar y los otros aparecen como «y otros» o «col.»; en otros casos en la parte bibliográfica se citan todos, según el orden establecido. Las desavenencias o conflictos pueden evitarse si existe un claro acuerdo cuando se inicia el trabajo de investigación. Algunas pautas pueden tenerse en cuenta para solucionar este problema, aunque en las revistas se pueden encontrar criterios diferentes. Lo usualmente establecido suele obedecer a las siguientes pautas:

- El investigador principal, que históricamente es el primero, debería ser la persona que más ha contribuido a la solución del problema, o sea, el que tuvo la idea del trabajo y su planificación e intervino activamente en la discusión de sus resultados. Le siguen los autores del trabajo experimental, que si son varios pueden ordenarse bien por la importancia del trabajo efectuado por cada uno, por su posición jerárquica o por orden alfabético.
- Los investigadores que han efectuado el trabajo experimental se citan en primer lugar y a continuación los demás colaboradores que han participado de forma activa en el proyecto. Todos se citan por orden alfabético. En otros casos, el jefe del laboratorio se cita en último lugar de los trabajos efectuados bajo su dependencia, y a los cuales suele contribuir, en determinadas discusiones o aclaraciones, con los investigadores bajo su dirección.
- En algunas investigaciones se recurre a personas de reconocida capacidad para la discusión de algunas ideas o resultados. En estos casos lo usual es que dichas personas consten en el apartado de agradecimientos de manera significativa.
- En las publicaciones de las tesinas o tesis es costumbre el citar en primer lugar el graduado o doctorando, y después el director de la tesina o tesis. Este criterio, en algunos casos, no se cumple.
- El personal laborante que efectúa trabajo experimental de rutina, más o menos compleja, suele constar en el apartado de agradecimientos.
- Cuando un trabajo de investigación da lugar a una patente el problema puede ser más complejo ¿A nombre de quién figura la patente?, ¿quién es el que patenta? Si no hay nada establecido, la patente figura a nombre

de los que han intervenido en la investigación. Sin embargo, en muchos casos se establece que, independientemente de los nombres que figuran en la patente, la universidad, el centro de investigación o la empresa, es la propietaria de dicha patente. En estos casos, se suscriben los correspondientes documentos, estableciéndose unas cláusulas de gratificación o promoción a las personas cuyo nombre figura en la patente.

9.3.3. Resumen

El resumen se sitúa antes del texto de la comunicación y en la terminología inglesa se denomina *Abstract o Summary*. El resumen no forma parte del trabajo, pero es una manera de indicar brevemente el contenido de la comunicación, de tal forma que su lectura dé una idea concisa y exacta de sus partes principales: objetivo, métodos, resultados importantes y conclusiones. Su contenido debe dirigir la atención hacia toda nueva información, invitando al lector interesado a la lectura del texto.

Los resúmenes pueden clasificarse en dos categorías. Los *indicativos* son cortos y están escritos para que el lector decida si le interesa o no la lectura del trabajo original. Los *informativos* resumen los argumentos más importantes, dan los datos principales y las conclusiones que se consideran una contribución importante al conocimiento; pueden incluir resultados numéricos. Son apropiados para aquellos lectores interesados en el problema pero que no disponen de tiempo para la lectura del trabajo. Por ejemplo ⁽¹⁾, si el principal problema de la investigación es *buscar un estimulante respiratorio efectivo*, la expresión general.

Ha sido encontrado un potente estimulante respiratorio que actúa a través de los centros respiratorios centrales.

es de menor utilidad que

El cloruro de Doxapram, el cloruro hidratado de 1-etil-4-(2-etilmorfolina)-3,3-difenil-2 pirrolidona, mostró ser un potente estimulante respiratorio que actúa principalmente por estimulación directa de los centros respiratorios centrales.

La separación entre estos dos tipos de resúmenes no es muy definida y en los de tipo técnico se pueden encontrar mezclas de ambos. Muchos científicos prefieren los resúmenes indicativos a los informativos, pues son reacios a aceptar datos técnicos y conclusiones sin la lectura del trabajo.

Un ordenamiento adecuado de un resumen debe incluir la siguiente información de forma concisa y directa:

- 1.º ¿Por qué se ha efectuado el trabajo?
- 2.º ¿Qué es lo que se ha hecho?

3.º ¿Cuáles han sido los resultados?

4.º ¿Qué significado tienen los resultados?

El resumen se debe escribir de forma abreviada en tercera persona, después que el trabajo ha sido completamente redactado en su forma final. Para ello, es aconsejable hacer una relación de las ideas que responden a las cuatro preguntas anteriores, condensarlas y seleccionarlas para obtener un texto que responda fielmente a lo esperado de un resumen. Es importante hacer bien un resumen porque en muchas informaciones bibliográficas se publica este, y según esté bien o mal hecho puede o no decidir al lector a consultar el trabajo original.

No es posible indicar la extensión de un resumen, pues cada editor de revista fija unos límites determinados. Así, *The Journal of the American Medical Society* fija una extensión máxima de 200 palabras. La *Revue de Géologie* fija sus límites según la extensión la comunicación: para 5 páginas el resumen no debe contener más de 125 palabras, para 25 páginas no más de 250 palabras y para comunicaciones más extensas no más de 1.200 palabras. En otras revistas el resumen máximo queda fijado como un % de la longitud del artículo publicado, por ejemplo *The Astrophysical Journal* y *Physical Review* recomiendan extensiones inferiores a un 5%. Los resúmenes en el *Chemical Abstracts* no exceden de 200 palabras. En cada caso, es aconsejable conocer las indicaciones que la revista envía a los autores para evitar inconvenientes.

9.3.4. Introducción

La introducción no debe ser una ampliación del resumen. En ella, el lector debe encontrar, de manera global, el «estado actual de la cuestión» (*State of Art*), y el objetivo que nos proponemos con el trabajo. Para ello, se debe indicar el motivo por el cual se emprendió el trabajo, los antecedentes existentes en la bibliografía, el objetivo concreto que se pretende alcanzar, las líneas generales del método empleado y, en algunos casos, de forma resumida, las conclusiones más relevantes.

Resulta evidente que para no efectuar estérilmente un trabajo de investigación, es necesario el conocimiento previo de la situación en que se encuentra el campo de nuestro estudio. Las citas bibliográficas deben ser sólo las relacionadas directamente con el trabajo y exponerlas de manera clara y concisa, quedando referenciadas en la parte bibliográfica de la comunicación.

A continuación hay que definir claramente cuál es el problema que se pretende estudiar, lo cual debe requerir el máximo de atención por parte del investigador para evitar propuestas erróneas. Asimismo, se debe argumentar el porqué de la elección del objetivo del estudio.

Definido el objetivo del trabajo, se indican, de forma resumida, las líneas generales de cómo se va a proceder para encontrar la solución. En algunas introducciones se ponen los resultados más relevantes encontrados.

Finalizada la introducción hay que exponer lo que constituye el «cuerpo fundamental» de la comunicación. Este debe contener la información esencial acerca del camino seguido para resolver el objetivo del trabajo y definir las conclusiones o recomendaciones derivadas del estudio efectuado. Consta de varias partes principales, tal como se indican a continuación.

9.3.5. Experimental

En esta parte se describe con concisión y exactitud el trabajo experimental efectuado, de tal forma que pueda ser repetido por otros investigadores para la comprobación de sus resultados. Debe de redactarse en tiempo pasado, ya que se indica lo que se hizo. Consta de varios apartados.

9.3.5.1. Materiales

Las características de los materiales empleados deben ser descritas con exactitud, indicando la fuente de su procedencia y, cuando sea necesario, su grado de pureza. Por ejemplo, en las plantas (especie, zona, época de recolección, etc.), en los productos químicos (grado de pureza, suministrador, método analítico cuando sea necesario), en productos manufacturados, como hilados (clase de fibra, % de composición cuando sean varios componentes, suministrador, parámetros físicos del hilado –título, torsión, características dinamométricas, etc.– y parámetros químicos que dependerán del tipo de fibra, celulósica, proteica, poliéster, poliamida, etc.)

Algunas de estas características suelen venir dadas por el suministrador, pero según la procedencia deberán ser determinadas en la investigación y en este caso deben referenciarse o describirse los métodos de análisis empleados.

En algunos casos, por ejemplo en investigaciones con nuevos productos químicos, se sintetizan estos para su empleo en la investigación. En este caso, además de las características del producto obtenido se debe indicar el método de síntesis empleado.

9.3.5.2. Equipo

Cuando el equipo empleado sea de tipo estándar, espectrofotómetros, microscopios, dinamómetros, medidores de flujo, etc., bastará indicar los datos específicos (marca, tipo, modelo, etc.). Sin embargo, cuando el equipo haya sido diseñado para la investigación, tal como ocurre en química técnica, mecánica, fluidodinámica, electrónica, robótica, etc., será necesario el incluir un esquema, plano acotado, etc., así como las características de los componentes principales, que permita su reproducción por otro investigador. Caso de que este equipo haya sido empleado anteriormente, bastará con indicar la referen-

cia de la comunicación; en estos casos, acompañando a la referencia se debería dar un breve comentario para refrescar la memoria del lector.

9.3.5.3. *Experiencias*

Cabe aquí establecer dos subapartados:

Planificación. Tal como indicamos en el Capítulo 5, el tipo de planificación empleada puede ser diferente según se plantee mediante la variación de una sola variable manteniendo constante las otras, o basada en métodos estadísticos tal como es necesario, por ejemplo, en la investigación agrícola, biológica, médica, sociológica o en aquellas otras en donde intervengan variables poco controlables o se deseen obtener ecuaciones de respuesta de tipo multivariable. En cualquier caso, se debe indicar el tipo empleado, las variables, su combinación y los valores de cada una para cada experiencia, así como la referencia bibliográfica en aquellos casos de tipo estadístico o matemático que se consideren necesarios para su posterior verificación. Es aconsejable la utilización de tablas para consignar los valores de las variables y sus combinaciones en cada experiencia. Actualmente, dada la utilización de programas de ordenador para efectuar los cálculos estadísticos o matemáticos, se citarán los programas empleados en cada caso.

Experiencias. Cada tipo de experiencia deberá indicarse con los datos necesarios para su reproducción, evitando lo que resulta evidente, por ejemplo «se utilizó un *termostato de precisión*» para indicar la experiencia se efectuó con un gradiente de temperatura 1 °C/min entre 60-95 °C. En algunos casos, cuando la evolución de una variable no es continua durante el tiempo de la experiencia, es aconsejable, por mayor claridad para el lector, la utilización de un esquema gráfico, en vez de la descripción escrita.

La utilización de métodos analíticos estándar debe de indicarse especificando el método, y no escribir «de acuerdo con los métodos estándar», por mayor precisión. Cuando el método analítico sea nuevo o modificado, deberá escribirse, en el primer caso, su especificación completa y en el segundo, citar el método y la modificación introducida.

Al describir la parte experimental, el seguir un orden cronológico, mejora la presentación. Además, el lector puede seguir mejor el proceso si este se presenta de forma cronológica.

En las comunicaciones para la industria, la parte experimental debe ser muy detallada, pues los directores de I+D saben que cuanto más detallado es el «*know-how*» disponible, se pierde menos tiempo y resulta más económica la búsqueda de datos necesarios para posteriores proyectos relacionados con el anteriormente efectuado. Sin embargo, si se decide publicar el trabajo, debe de reducirse el escrito de la parte experimental a fin de cumplir con las normas de concisión y claridad exigidas en las revistas.

9.3.6. Resultados

En este apartado de la comunicación se indican de forma ordenada y concisa los resultados obtenidos en la experimentación, bien sea un producto, el curso de un fenómeno o proceso, los valores analíticos, etc.

En la elección de los resultados se hace uso del diario del laboratorio o taller, seleccionando aquellos que puedan ser útiles para la discusión y las conclusiones posteriores. Ello requiere, mediante la lectura detallada del diario, que se seleccione lo verdaderamente importante, es decir, «separar el grano de la paja».

El que algunos valores se separen de la tónica general, no por ello deben ser omitidos, y en este caso, se deben indicar las causas que, a juicio del investigador, pueden haberlos producido. En algunos casos, estos valores erráticos sirven para llamar la atención del investigador, dando origen a una reflexión más profunda que puede desembocar en un nuevo proyecto de investigación. Con ello, no queremos decir que si varios valores se presentan de esta forma en una sola de las experiencias, se admitan sin más, pues es posible que la experimentación no se haya conducido correctamente y sea necesario repetirla.

9.3.6.1. *Presentación de los resultados*

La presentación de los resultados puede efectuarse en forma de texto, tablas, gráficas o fotografías. En cualquiera de los casos debe prevalecer la concisión y la claridad, de forma que el lector no tenga dificultad en su comprensión. Además, hay que tener en cuenta la economía del tipo de representación elegida.

Los resultados en forma de texto pueden emplearse en las experiencias de una sola variable que actúa sobre uno o pocos substratos. Por ejemplo, «... la radiación de la luz diurna durante 48 h a 15 °C y 80% de humedad redujo la resistencia inicial del polímero A al 80% y la del B al 65%...».

Cuando en el trabajo intervienen dos o más variables relacionadas entre sí, es conveniente la utilización de tablas o de la representación gráfica, no aceptándose por parte de los editores la utilización de ambas formas para una misma serie de resultados. La elección de una forma u otra depende del tipo de resultado a exponer. Las tablas se utilizan cuando se desee la expresión precisa de cada resultado y un menor coste de la reproducción editorial. Las gráficas suelen ser empleadas cuando los resultados presentan variaciones que no pueden ser bien seguidas en las tablas, tales como puntos de inflexión, máximos y mínimos, evoluciones complejas, tales como las de tipo exponencial, logarítmicas, bimodales, etc. Actualmente, la utilización de programas de ordenador facilita la representación gráfica en dos o tres dimensiones, así como la inclusión de valores de las variables en puntos significativos, lo que aumenta la comprensión de la forma gráfica. Tanto en la utilización de las tablas como de

las gráficas, debe de seguirse un criterio lo más restrictivo posible a fin de reducir los costes de publicación.

Entre las diferentes formas de presentación, citamos a continuación algunas de las más usuales, según recomendación de los editores.

Tablas ⁽²⁾. La tabla debe de situarse lo más próximo posible al texto donde se hace referencia, a ser posible en la misma página. Su relación íntegra con el texto debería enfatizarse colocando algo del texto al principio y algo después.

En el texto se numeran las tablas de manera correlativa y se utilizan números arábigos. La tabla y su numeración pueden colocarse a dos espacios del último texto y pueden emplearse letras mayúsculas, TABLA 1, o minúsculas, Tabla 1. A continuación se sitúa el texto de la tabla, el cual no debe ocupar más de tres o cuatro líneas; el texto puede situarse seguido de TABLA 1, o en líneas separadas, por ejemplo,

TABLA 1

Influencia de la temperatura en el ángulo de contacto de una solución acuosa sobre un tejido de poliamida.

Las tablas deben prepararse pensando en que han de escribirse a máquina a fin de facilitar su realización. Siempre que sea posible es mejor el aumentar las filas que las columnas, por claridad de escritura, y situar la tabla en la posición normal de lectura. Por ejemplo, es preferible una tabla con 10 filas y 4 columnas a otra con 10 columnas y 4 filas. Si la tabla es muy grande y su tamaño original debe reducirse para su publicación, es necesario que los caracteres sean lo suficientemente grandes para que sean legibles después de la reducción. Los autores siempre deben tener en cuenta, en estos casos, las normas dadas por cada editor de revista para la confección de las tablas.

Cuando en una tabla aparezca un valor singular se señalará con un asterisco (*) y si son varios, se emplearán letras (a, b, c,...), situando una o varias notas al pie de la tabla, expresando su significación de manera clara y concisa. Estas notas deberían colocarse en secuencia de los datos de la tabla de izquierda a derecha, a través de toda la tabla. Al pie de la tabla, se pueden poner datos que no quepan en la cabecera, con su llamada correspondiente.

Los encabezamientos de las columnas deberán separarse de las columnas por una línea.

En las expresiones numéricas se utiliza el Sistema Internacional y sus abreviaturas, tanto para las magnitudes como para las unidades. El mismo tipo de unidades de medida, métrico o inglés, debe utilizarse para comparar propiedades o dimensiones.

Se debe de evitar la utilización de una potencia de 10 en el encabezamiento de una columna, tal como «longitud, mm x 10⁻³», puesto que no queda claro si

los números de la columna *han sido o deben ser* multiplicados por 10^{-3} . Para evitar malas interpretaciones, un factor tal como 10^{-3} debería asociarse directamente con un número y no con un término descriptivo tal como «mm». Por ejemplo:

Longitud, mm		Longitud, 10^{-3} mm		Longitud, mm x 10^{-3}
14.4×10^{-3}	o	14.4	no	14.4
115.3×10^{-3}		115.5		115.5

La secuencia de los datos en la tabla debe determinarse por grupos de experimentos con algunos factores constantes y no por el orden en que los valores se obtuvieron.

Gráficas. Otra forma de representar los resultados es mediante el uso de gráficas, cuando estas no quedan bien en forma de tablas. En la preparación de las gráficas se debe tener un gran cuidado a fin de que sean fácilmente interpretadas por el lector en pocos segundos. Por ello, no es práctico el incluir más de tres o cuatro curvas de correlación en una sola gráfica y es aconsejable el empleo de coloraciones diferentes para identificarlas mejor. El empleo del color encarece la publicación y cuando no sea aconsejable su empleo, es necesario la utilización de símbolos estándar para marcar de forma diferente cada línea o curva.

El número de palabras en los rótulos de los ejes debe ser limitado, utilizando cuando sea posible abreviaciones estándar.

El título debería indicar lo que la gráfica intenta mostrar, de forma concisa, sin ser una repetición de los rótulos de los ejes.

Los ejes deberían ser representados utilizando solamente el de abscisas y el eje izquierdo de ordenadas; sólo en casos especiales debe utilizarse el eje derecho de ordenadas. Tanto los rótulos del eje de abscisas como los de ordenadas deben escribirse horizontalmente. Las escalas de los ejes deben elegirse de forma que sean fácilmente legibles, no emplear 3 divisiones para 4 unidades; una buena regla es hacer la división más pequeña de la escala una división decimal de 1, 2, o 5. Cuando se presenten valores negativos, se representarán los valores positivos y los negativos; estos se situarán a la izquierda del punto cero del eje de abscisas y por debajo del punto cero del eje de ordenadas.

La variable dependiente se situará en el eje de ordenadas (Y) y la independiente en el de abscisas (X).

El dibujo de las líneas o curvas debería ser efectuado teniendo en cuenta las siguientes pautas:

- Dibujar sin tener en cuenta los puntos de datos, empleándolos cuando sean esenciales.
- Dibujar usando símbolos estándar para los puntos de datos, tales como: $*$, $+$, Π , \bullet , \otimes ...

- c) Dibujar usando líneas de diferentes estilos.
-----,
- d) Limitar las líneas a las esenciales del trabajo; máximo cuatro.
- e) Identificar las líneas, si es posible, mediante referencias.
- f) Separar las líneas para evitar confusiones.
- g) Utilizar diferentes colores, si es posible, para mejor diferenciación entre las líneas.

El tamaño de la gráfica y de sus leyendas se hará de tal forma que, si es necesario su reducción en la publicación, sean fácilmente visibles. Generalmente, los editores de las revistas dan unas normas para ello. En la Figura 9.1 se muestra un tipo de representación gráfica.

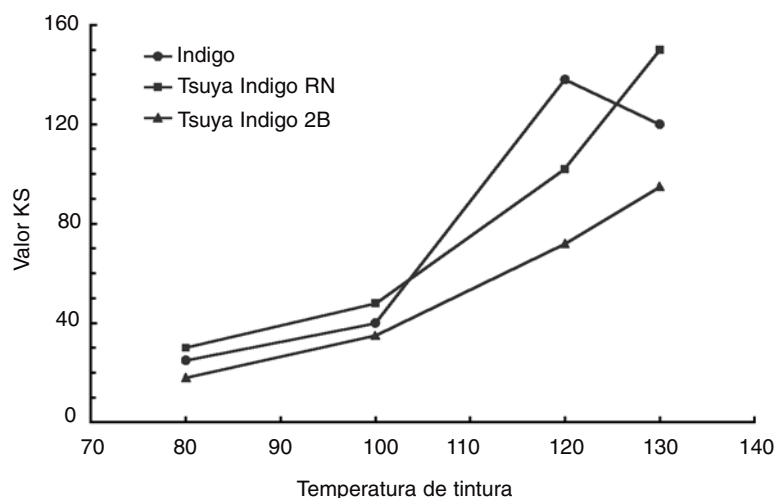


Figura 9.1. Gráfica de absorción de colorantes de índigo sobre poliéster a diferentes temperaturas.

(Fuente: *Industrial Technology Center of Okayama*).

Figuras. En la descripción de aparatos, dispositivos, plantas de procesos que requieren varias fases, tal como sucede por ejemplo en ingeniería química, suelen emplearse esquemas, dibujos u otro tipo de representaciones gráficas que ayuden a la comprensión del texto. Estos deben reunir claridad y concisión tanto en su diseño como en las explicaciones que suelen acompañar sus diferentes fases. En la Figura 9.2 se muestra uno de estos esquemas de los dispositivos empleados en los estudios de captación de imágenes en tiempo real, permitiendo, entre otras aplicaciones, el estudio de la impresión con toberas para analizar la formación de la gota de la tinta y estudiar el tipo de tobera más adecuado para cada soporte a imprimir.

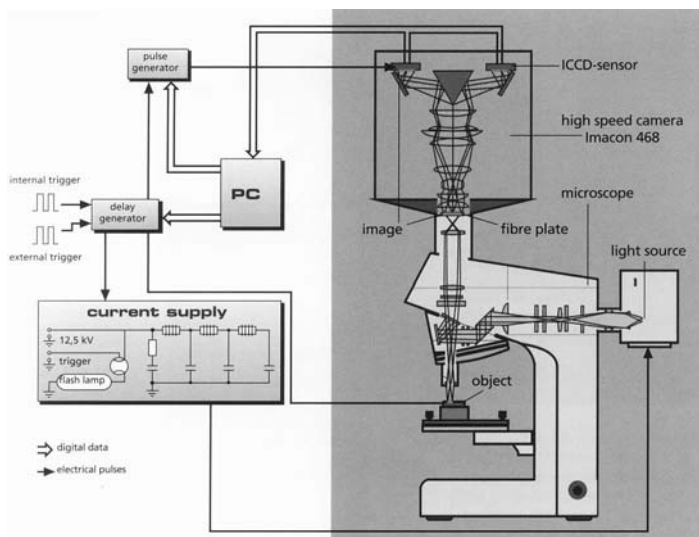


Figura 9.2. Esquema de un microscopio Axioplan 2 de C. Zeiss para la obtención de imágenes secuenciales en tiempo real.

(Fuente: Carl Zeiss Innovation 8 2000, pág. 10).

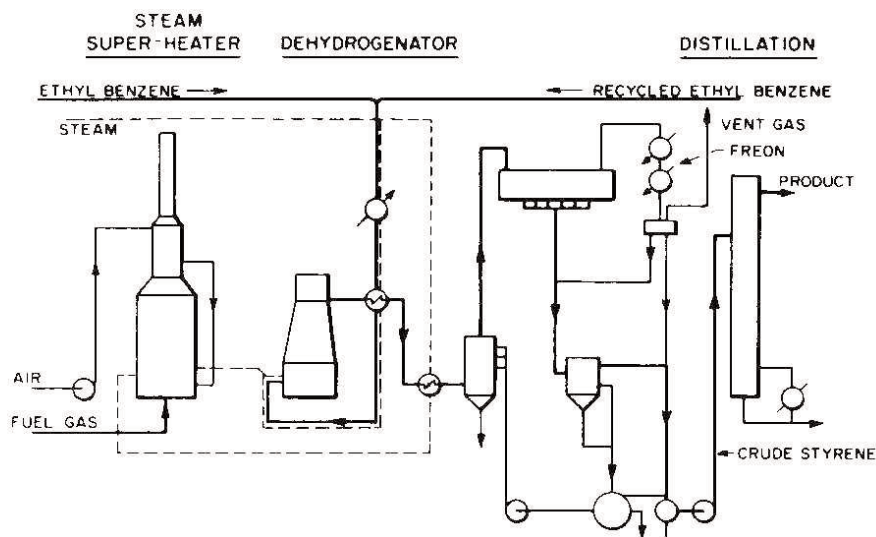
En la Figura 9.3 se muestra la representación, bajo dos modalidades, de un diagrama de flujo de un proceso de la industria química. Tal como puede apreciarse, el esquema B) de tipo tridimensional da una visión más clara de cada uno de los componentes del equipo que el presentado en el esquema A), efectuado sólo en dos dimensiones.

Fotografías. Este tipo de representación debe utilizarse cuando no es posible la ilustración de lo que se indica en el texto por otro medio. Por ejemplo, microfotografías, un detalle de un dispositivo de máquina, etc. La fotografía llevará un pie indicando lo necesario para su conexión con el texto y, en el caso de microfotografías, el tipo de microscopio, visual, electrónico, marca y aumentos. La fotografía, preferiblemente en negro-blanco, por razones de coste, se suministrará al editor de la revista en papel, mejor que el negativo, y en las dimensiones acordadas con el editor.

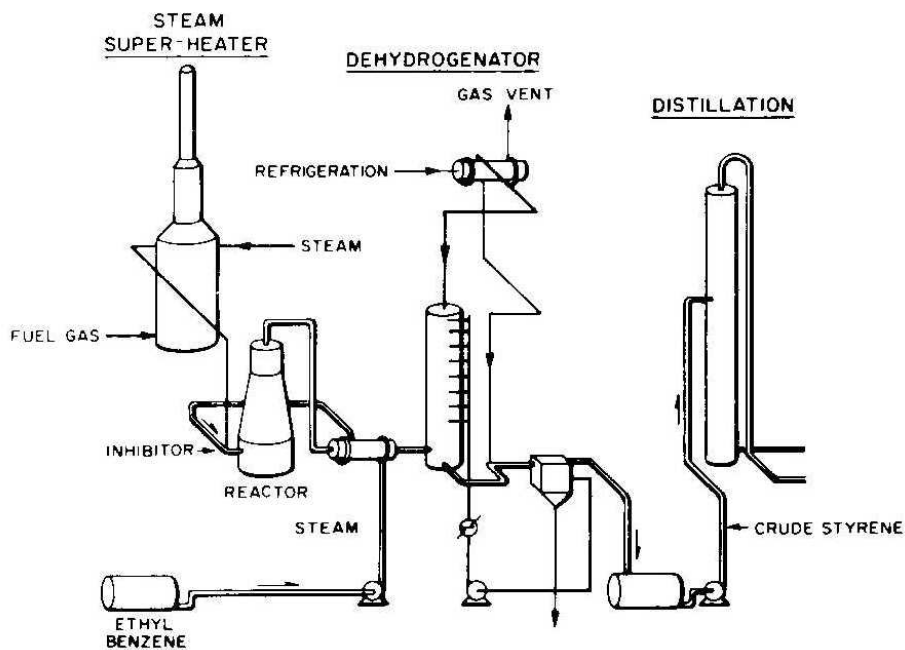
9.3.7. Discusión

Esta parte del trabajo de investigación constituye el punto culminante donde el investigador puede demostrar su capacidad de análisis, su formación básica o tecnológica, que le permiten extraer de los resultados, los nuevos conocimientos que aportar al área científica o tecnológica a la que pertenece el objetivo de su investigación.

No se trata, pues, de repetir, con un comentario más extenso, lo que por la observación de los resultados resulta evidente, lo cual empobrece la discusión,



A. Diagrama de tipo dimensional, más usual.



B. Diagrama tridimensional, más representativo.

Figura 9.3. Diagrama de flujo de un proceso ⁽³⁾.

la alarga innecesariamente, y puede considerarse como un menosprecio a la inteligencia del lector. Se trata de elaborar los resultados mediante la aplicación de leyes físicas, químicas o de otra naturaleza, que permitan profundizar en las causas que originan los resultados obtenidos, a fin de conocer mejor la fenomenología. Ello debe hacerse de una manera ordenada, concisa, documentada y clara, para que el lector no se pregunte ¿qué se quiere decir con esto?

Durante la discusión y, en cada apartado de la misma, se indicarán las opiniones concordantes o discrepantes de otros investigadores, caso de que las hubiere, citando la correspondiente bibliografía.

También se debe poner de manifiesto si en la planificación o en alguna parte de la experimentación se produjo algún error, a fin de evitar que futuras investigaciones puedan cometer la misma falta.

Además, la discusión debería conducir al lector a las conclusiones del estudio.

Futuros planes o trabajo adicional sobre el sujeto general de la investigación pueden ser un adecuado final para la discusión. Si la publicación es sólo parte de un trabajo de mayor extensión, se deberían indicar de forma sucinta, las diferentes etapas que se pretenden investigar. Ello puede tener el peligro de que otros investigadores actúen sobre las pistas señaladas, sobre todo si son equipos consolidados en el área y se adelanten en las nuevas investigaciones.

En algunas publicaciones los resultados y la discusión se encuentran incluidos juntos bajo el epígrafe *Resultados y Discusión*. Generalmente, esta forma de presentación suele emplearse cuando los resultados se refieren a partes diferentes del problema estudiado que es conveniente, por claridad o extensión, separarlas. En estos casos, después de cada resultado parcial, expresado en tabla o gráficamente, se suele efectuar la discusión según lo indicado anteriormente y cada una de las fases discutidas se indica con la denominación que hace referencia a la parte correspondiente, por ejemplo: «*Ecuaciones cinéticas*», «*Influencia de la temperatura*», «*Consideraciones tecnológicas*», etc.

La «*Discusión*» en lo que se refiere al trabajo que se presenta, se redacta, bien en presente o indicativo pasado, mientras que las citas bibliográficas se redactan en indicativo pasado.

9.3.8. Conclusiones

Las conclusiones se deberán exponer de forma clara y concisa, de forma que no se puedan prestar a falsas interpretaciones; suelen redactarse en presente. El orden expositivo será el mismo que aquel del cual ellas se derivan. Sólo deberán indicarse las que se consideren importantes y que supongan un avance del conocimiento científico o tecnológico, aunque este no sea muy relevante; no hay que sobrevalorar lo hallado, pero tampoco minorizarlo. En algunas publicaciones se indican, de manera resumida, las recomendaciones o los trabajos futuros.

9.3.9 Agradecimientos

Es cortés y obligado el agradecer a las instituciones, empresas o personas que de una forma u otra han ayudado a que se haga el trabajo que se publica. El orden de los agradecimientos varía según la importancia de la ayuda que, a juicio del autor/es, se haya recibido. Uno bastante empleado es citar el nombre de:

- Las instituciones, públicas o privadas, y empresas que han prestado ayuda financiera.
- El de los colaboradores técnicos o laborantes que no figuran entre los autores.
- El de personas que han prestado su colaboración en la discusión de alguna parte del trabajo.
- El de otros laboratorios o personas que han efectuado alguna determinación analítica o de cálculo.
- El de las empresas que ha facilitado materiales, productos o sus instalaciones para el desarrollo experimental.

9.3.10. Citas bibliográficas

Es tradicional y obligado el citar en las publicaciones el material seleccionado de los trabajos de otros, de tal manera que se dé una referencia exacta de todos los trabajos que se mencionan en la publicación. Con ello, se reconoce el trabajo efectuado por otros autores en el área del problema, su estado actual, y se da a los lectores la información para profundizar en algunos aspectos anteriores a la publicación del trabajo.

Dado que existen varios tipos de referencias bibliográficas, (publicaciones en revistas, libros, patentes, comunicaciones en congresos o en diferentes tipos de reuniones, etc.) y, además diferentes maneras de efectuar las referencias bibliográficas, dependiendo de la revista en donde se efectúa la publicación, es recomendable, antes de la redacción del trabajo, hacer lo siguiente:

- Seleccionar la revista/s en donde se desea publicar el trabajo.
- Leer detenidamente las normas editoriales de la revista/s seleccionada, a fin de evitar errores que argumentarán la devolución del trabajo.
- Al escribir en ordenador, lo cual es habitual actualmente, ir poniendo en el texto y en el apartado de Bibliografía al mismo tiempo, la cita correspondiente, de acuerdo con la revista seleccionada en primer lugar.
- En el caso de tener duda de su aceptación en la revista seleccionada en primer lugar, efectuar el listado mediante la forma de ordenación alfa-

bética-cronológica. Posteriormente, es más fácil pasar al listado en forma numérica.

- Sólo citar las referencias importantes relacionadas directamente con el trabajo.

9.3.10.1. *Dónde se colocan las referencias*

Se citan en la «*Introducción*» para dar a conocer los trabajos efectuados anteriormente y el estado actual del problema. En «*Experimental*» para referenciar los métodos conocidos empleados en el trabajo. En «*Discusión*» cuando es necesario efectuar comparaciones, concordantes o discordantes, con los trabajos de otros autores.

Las referencias se sitúan en el texto con un número entre paréntesis ⁽²⁾ y en el apartado de «*Bibliografía*» con el mismo número.

9.3.10.2. *Forma de citar las referencias*

Tanto los autores como los editores han sido reacios a estandarizar la forma y estilo de sus referencias. Sin embargo, actualmente la mayoría de las revistas de publicaciones científicas o técnicas indican a los autores cómo deben citar sus referencias.

De las publicaciones

Si nos atenemos a las más utilizadas, existen dos maneras de citar las referencias: la *numérica* y la *alfabeto cronológica*.

Numérica

En la forma numérica se citan por orden de aparición en el texto. En este puede tener dos modalidades:

- Sólo numérica y entre paréntesis o corchetes, por ejemplo: ... en un primer trabajo se ha descrito... ⁽¹⁾, [1].
- Apellido del primer autor y numérica entre paréntesis, corchetes o exponentes, por ejemplo:

En un primer trabajo Zhan ⁽¹⁾, Zhan [1], Zhan¹ ha descrito... Cuando son varios los autores que firman el trabajo se cita el apellido del primer firmante y la abreviatura de otros, seguido del número correspondiente, tal como se ha indicado anteriormente. Por ejemplo, Zhan *et al.* ⁽¹⁾ han descrito...

En la forma numérica la citación en la parte «*Bibliográfica*» se hace por orden de aparición en el texto y puede tener dos modalidades:

- Apellido/s y nombre/s abreviado del primer autor, seguido, en su caso, de los otros autores, nombre de la revista completo o abreviado (en cursiva), volumen (en negrita), año y página/s inicial o inicial y final. Por ejemplo: 1.- Zhan H., Hiden J., *Textil Praxis* 26, (1971), 41-44.
- Análogo a lo anterior, citando entre los nombre/s y el título de la revista, la cabecera del artículo. Por ejemplo: 1.- Zhan H., Hiden J., *Chemische Untersuchungen von Polyacrilnitrilfasern*, *Textil Praxis* 26, (1971), 41-44.

La forma numérica tiene el inconveniente de que si posteriormente hay que introducir otra referencia, es necesario el alterar la numeración de todas las siguientes, lo cual puede inducir a error. Es más económica que la alfabeto cronológica.

Alfabética cronológica

En el texto se indica el apellido/s del primer y segundo autor y el año de la publicación; si hay más de dos se utiliza la forma... *et al.* Por ejemplo: Zhan y Hiden (1971) han descrito... o Zhan *et al.* (1971) han descrito...

En la lista de la parte *Bibliografía*, las referencias van por orden alfabético del apellido del primer autor, y si este se repite, por orden cronológico. Si son varios los autores, las referencias van por orden alfabético de primer autor y en cada una de ellas se puede adoptar una de las modalidades indicadas en la forma numérica para las referencias en la parte *Bibliografía*.

Esta forma es más cómoda para el autor, ya que se pueden añadir o quitar referencias sin alterar el orden de las demás.

En general, los editores prefieren el sistema numérico más simplificado, por razones económicas. En algunas revistas de prestigio, los autores tienen que contribuir económicamente a la publicación de su trabajo, por lo cual, si los medios económicos son escasos, se prefiere la elección de otras revistas que no requieran esta financiación.

De los libros

Se pueden dar muchas variedades de edición: Asociaciones como editor, autor y editor, editor y varios autores, autor y traductor, un volumen de una serie de libros, entre otros.

Se adopta la misma forma que para las publicaciones. En el texto, de manera abreviada: autor/editor y fecha. Por ejemplo: Altisen (1989).

En *Bibliografía* de forma más completa: autor/res, título, editorial, ciudad y año. En algunos casos se citan las páginas importantes para la referencia. Por ejemplo: Michel K. Badawy, *Developing Managerial Skills in Engineers and Scientists*, Edit. Van Nostrand Reinhold, New York, 1995, páginas 124-127.

De las patentes

Las referencias sobre patentes son tan importantes como las de las publicaciones y debe tenerse especial cuidado en que el lector interesado pueda localizarlas adecuadamente.

Las patentes deberían ser citadas de la manera siguiente: inventor/es, persona jurídica propietaria, título, país, número de la patente, y fechas de publicación, aplicación y de prioridad. Por ejemplo: Stoffel P. J., Monsanto Co., «Composition and Method for Controlling Undesirable vegetations», U.S. 3,066,021, Jan. 24, 1963; Ger. Appl. Nov. 6, 1955; 2 pp.

En otros casos, la invención se atribuye a la personalidad jurídica propietaria. Si es una patente de adición, después de la cita de la patente de adición, se indica la patente a la cual se adiciona. Por ejemplo, si la patente citada fuese de adición se indicaría: Stoffel P.J....., 1955; 2 pp. Addin to Brit. 872.345.

Por otra parte, en algunos casos se cita su localización en el *Chemical Abstr.* o en otros, adicionando al final la referencia al *Abstr.* correspondiente. Por ejemplo, se añadiría *Chemical Abstr.* (1989), 120, 540-570.

9.4. Informes

En el apartado 9.2 nos referíamos a los diferentes tipos de informes que se acostumbraban a emitir por todo centro de investigación, cuando alguno de sus trabajos está financiado bien por organismos oficiales, privados o por las empresas, o cuando la investigación se efectuaba en la empresa. Los informes, si bien participan de mucho de lo indicado en 9.3, presentan algunas características propias, a las cuales deseamos referirnos en este apartado.

Cualquiera que sea el nombre dado a los informes de I+D, estos se pueden clasificar en dos tipos: de *situación* y *final*.

9.4.1. Informes de situación

Este tipo de informe puede tener dos modalidades. Los de *situación* propiamente dichos y los de *propuestas*.

9.4.1.1. De situación

Los informes de situación van dirigidos a un receptor muy determinado, contienen datos específicos y se solicitan para un momento dado.

Según la persona a la que van dirigidos, el informe es variable, tanto en su contenido como en la manera como está redactado. Por ejemplo, el director gene-

ral de la compañía en una reunión con un organismo oficial, para un día determinado, con el que ha contratado un trabajo de I+D, requerirá a su director de I+D una información acerca del mismo sobre el objetivo del trabajo, la situación actual de sus etapas principales y las expectativas de lograr los objetivos propuestos, en el tiempo acordado, todo ello enfocado bajo determinado matiz político.

En otros casos, será un investigador principal o el director de I+D quien solicitará a un investigador un informe resumido acerca del trabajo efectuado en el último mes que contenga la etapa en donde se encuentra el trabajo, los resultados conseguidos y la planificación del mes próximo, u otros datos que considere necesarios para conocer la marcha del proyecto y, en caso necesario, efectuar su informe a la entidad que lo ha contratado, o al director general de la empresa.

Cuando los informes solicitados deben tener un carácter administrativo, bien para el director de I+D o para el director financiero, en el caso de una empresa o para la entidad contratante, además de informar, de forma resumida, de la situación actual del proyecto, el énfasis tendría que centrarse en si se van cumpliendo los plazos en el tiempo estimado o se lleva un adelanto o retraso que puede incidir en el coste fijado para el trabajo, presentando una estimación de la cantidad sobrante o adicional necesaria.

Mediante los casos expuestos sólo hemos querido concienciar al investigador de la necesidad de tener en cuenta «*quién, para qué y cuándo*» se solicita el informe, ya que según esté redactado, la consideración que se tenga del investigador puede verse afectada positiva o negativamente. La fecha en que el informe debe entregarse es importante, aunque en muchas ocasiones este se solicite en el momento más inoportuno.

9.4.1.2. Propuestas de proyectos de I/D

La propuesta de un proyecto de I+D se define como un informe cuyo objeto es «vender» una idea, un concepto, un plan de actuación, un dispositivo de equipo, etc., para que se estudie su adopción y posible desarrollo en la empresa, en una institución pública o privada, etc. La propuesta tiene que ser escrita de manera que cumpla un doble objetivo: suministrar una información e infundir una actitud favorable hacia dicha información.

Puesto que la propuesta es un documento de «venta», hay que tener presente en su presentación las preguntas que se hará la persona o «cliente» a quien va dirigida para contestarlas de forma que se cree una opinión favorable hacia su aceptación. En muchos casos, generalmente en la Administración, existen formularios a los que el proponente debe atenerse para la presentación de su propuesta.

Una propuesta es por naturaleza confidencial, y por ello en muchas empresas se adopta el criterio de no revelarla completamente a según qué departa-

mentos de la empresa que, en principio, no intervendrán en el estudio de sus posibilidades de realización o comercialización. Cuando las propuestas se efectúan a los organismos de la Administración o a centros de investigación privados, no deben perder su carácter confidencial.

La utilización de propuestas técnicas o comerciales en las compañías o instituciones es más importante cada día y por ello, en algunas compañías de tecnología avanzada, por ejemplo la aerospacial, dedican a su personal más capacitado a la preparación de las propuestas.

Para cada propuesta es necesario encontrar el formato adecuado. En propuestas muy extensas, cerca de 200 páginas, su composición abarcará las secciones que se indican a continuación y pueden requerir más de un volumen para su presentación; en propuestas de unas 50 páginas, algunas de estas secciones pueden ser suprimidas. Las secciones de una propuesta completa son:

1. Una cubierta que haga su presentación de forma que suscite el interés del receptor. En ella debe constar: número de la propuesta, título, fecha, y dirección de quien la recibe. La cubierta debe diseñarse adecuadamente y la utilización de varios colores se considera muy conveniente.
2. Un índice que contenga los diferentes contenidos, con indicación de sus páginas.
3. Resumen de la propuesta.
4. Introducción de la situación actual.
5. Exposición del trabajo a efectuar o del problema que se pretende resolver con la propuesta.
6. Descripción técnica, propuesta de solución, propuesta técnica, o análisis técnico.
7. Plan de dirección o programa de organización.
8. Plan del programa y tiempo de realización.
9. Conclusiones, expuestas razonadamente, que se esperan obtener si la propuesta tiene éxito.
10. Competencia y experiencia del proponente, así como sus calificaciones profesionales.
11. Resumen del personal necesario, incluyendo su titulación y experiencia. Debe indicarse si se necesita el formar un grupo especial dentro del centro proponente, tanto técnico como administrativo.
12. Equipo y otros elementos necesarios.
13. Coste de la propuesta, subdividido en los apartados de personal, equipo científico o técnico, gastos bibliográficos, material fungible, ayudas externas, desplazamientos, etc.
14. Apéndices de extensión, cuando sean necesarios.

La propuesta será evaluada bien por la compañía, si es para ser desarrollada en ella, o bien por un comité evaluador propuesto por la institución privada o pública a la cual se somete. En caso de rechazo, éstas están obligadas a la confidencialidad y devolverla al proponente, el cual queda libre de intentar presentar su propuesta en otro lugar.

9.4.2. Informes finales

Estos informes se escriben cuando el investigador puede presentar una comunicación coherente en la cual se manifiesten unas conclusiones.

Si el trabajo efectuado puede dar origen a una publicación en una revista científica o técnica, su estructura suele ser similar a la indicada en 9.3. Sin embargo, el contenido suele indicar con más detalle apartados tales como el experimental, los resultados positivos y negativos de experiencias y las conclusiones y futuras recomendaciones. El investigador extrae del informe final, aquello de que constará la comunicación para la publicación. Este manuscrito debe ser revisado por las personas adecuadas dentro de la organización, las cuales aportarán sus puntos de vista, en forma de correcciones, sugerencias, etc., y una vez discutidas con el proponente de la comunicación, se adoptará la decisión final de la conveniencia o no de su presentación.

Esta forma de proceder, es necesaria para evitar el que los revisores (*referees*) de las revistas encuentren menos aspectos que deban ser corregidos, con lo cual se les facilita su labor y se acorta el tiempo para que el trabajo sea publicado. En algunos casos, las opiniones de los revisores discrepan de los proponentes del trabajo, bien por falta de claridad en la redacción o simplemente por no comprender alguna parte del mismo. En estos casos, se establece una correspondencia entre ambas partes para llegar a un acuerdo, y si este no es posible, retirar el manuscrito.

Muchos de los informes finales para el Gobierno o las empresas no son nunca publicados en las revistas científicas o técnicas, pues son útiles para la seguridad nacional o para el «*know-how*» de las empresas.

Cuando en alguna organización pública o privada o en la empresa, la finalidad del trabajo de investigación alcanza la etapa de desarrollo y se continúa en las fases de producción y marketing, para lanzar al mercado un producto o un proceso, el informe final es más extenso y específico que lo indicado anteriormente. En estos casos, se necesitan, al menos, tres informes finales:

- A. Un informe final completo y detallado que pasa al archivo del centro o laboratorio de I+D. Su finalidad es la de tener una fuente de información detallada que pueda ser consultada posteriormente, en caso necesario.
- B. Un informe destinado a producción, en el cual deben constar:
 - Materias primas empleadas, especificando sus parámetros más característicos, así como los suministradores.

- Técnicas analíticas para el control de calidad de las materias empleadas, indicando los límites de tolerancia admitidos.
- Informe detallado del proceso de producción efectuado en el laboratorio o en la planta piloto. Influencia de las variables importantes en la calidad del producto y en el rendimiento de la fabricación.
- Sistemas de control de las operaciones y técnicas analíticas empleadas en las distintas fases. Se deben indicar los límites de tolerancia admitidos en el producto o proceso.
- Caso de necesidad de nuevo equipo para la producción, indicaciones de sus características principales y de sus suministradores. Este aspecto debe discutirse previamente con el responsable de producción.
- Controles finales del producto elaborado, sus técnicas analíticas y tolerancias admitidas.

Este informe a producción es necesario para llevar a buen término la denominada «*etapa de transición*». En esta se va perfilando, de acuerdo con el informe de I+D y las posibilidades de producción, la forma de instaurar el nuevo proceso o producir el nuevo producto.

C. Informe a marketing.

El informe de I+D a Marketing debe de enfocarse para que este conozca las características de nuevo proceso o producto desde el punto de vista del usuario de estos. En dicho informe no deben constar aspectos técnicos que no cumplan con el objetivo indicado. Se enfatizarán aquellas características por las cuales el proceso o producto presente ventajas sobre los existentes en el mercado, así como sus puntos débiles y sus áreas de aplicación más favorables.

Este informe servirá a Marketing para estudiar cuales serán los clientes más idóneos para efectuar los primeros ensayos, tanto desde el punto de vista de utilidad para ellos, como de las facilidades que se obtengan de su comportamiento en condiciones industriales. Con ello se podrá suministrar a I/D y Producción aquella información que pudiera servir para mejorar el proceso o producto obtenido. Esta información es de capital importancia para que los resultados de I/D puedan convertirse en una innovación.

9.5. Otras publicaciones de difusión del conocimiento científico y técnico

9.5.1. De resúmenes

En este apartado incluimos aquellas revistas cuya misión es la de publicar resumidamente las noticias y avances de todos los sectores de la ciencia y de la tecnología. Existen revistas de varios tipos.

9.5.1.1. *Las que recopilan los títulos*

Las más conocidas y utilizadas son los *Current Contents*. Son semanales y publican las cabeceras y el índice de los últimos números de las revistas seleccionadas. En cada una hay clasificación por especialidades. Se editan las siguientes:

- *Agriculture, Biology and Enviromental Sciencies.*
- *Clinical Medicine.*
- *Engineering, Technology and Applied Sciences.*
- *Life Sciences.*
- *Physical, Chemical and Earth Sciencies.*
- *Social and Behavioral Sciences.*

9.5.1.2. *Las que editan los resúmenes*

Son varias las revistas que editan los resúmenes de artículos de una forma ordenada, de tal manera que su acceso no es complicado, siempre que se elijan bien las palabras clave para su entrada. Las más importantes son:

- *Analitical Abstracts.* Contiene la mayor información existente sólo sobre química analítica general, inorgánica, orgánica, aplicada, industrial, farmacéutica, alimentaria, clínica, etc. También incluye aplicaciones instrumentales analíticas por ordenador. Se publica mensualmente. Edit. por Royal Society of Chemitry.
- *Biotechnology Abstracts.* Suministra toda la información sobre aspectos técnicos de biotecnología: manipulación genética, ingeniería bioquímica, fermentación, uso industrial de microorganismos, etc. Se publica mensualmente. Edit. Derwent Publications Ltd.
- *Chemical Abstracts.* Es la mayor fuente de información sobre la literatura en ciencias químicas, recogida de 9.000 revistas, patentes de 27 países, libros, conferencias y congresos e informes de investigación gubernamentales. Se publica semanalmente por secciones de especialidades. Edit. por Chemical Abstracts Service, American Chemical Society.
- *Electric Power Industry Abstracts.* Cubre la literatura técnica sobre plantas generadoras, efectos ambientales de estas plantas, líneas de transmisión, transporte, almacenamiento y utilización de fuel, comunicaciones a conferencias y congresos, etc. Edit. por Edison Eléctric Institute.
- *Engineering Materials Abstracts.* Informa acerca de publicaciones, libros, informes gubernamentales, patentes de EE UU y Europa, sobre

materiales para ingeniería tales como aceros, polímeros, cerámica, composites, etc., utilizados en construcción, estructuras, equipos, etc. Edit. por Material Information, un servicio de información de ASM International y el Institute of Metals.

Otras publicaciones de *Abstracts* son:

- *Food Science and Technology Abstracts*. Edit. por International Information Service.
- *Geomechanics Abstracts*. Edit. por Rock Mechanics Information Service.
- *Imaging Abstracts*. Edit. por The Royal Photographic Society.
- *Paper, Printing and Publishing, Packaging and Nonwovens Abstracts*. Edit. por Pira International.
- *Safety Science Abstracts*. Edit. por Cambridge Scientific Abstracts.
- *Petroleum Abstracts*. Edit. por Petroleum Abstracts en la University of Tulsa.
- *World Ceramic Abstracts*. Edit. por Rapra Technology Ltd., Ceram Research y Pergamon Press.
- *World Surface Coatings Abstracts*. Edit. por Paint Research Association.

Además de los indicados, existen otros que por no extender demasiado la lista omitimos. Mucha de esta información es posible obtenerla a través de *Orbit Data Catalog*, una división de Maxwell Online, vía internet.

Otra manera de obtener estas informaciones es vía Internet, cada día más utilizada.

9.5.2. Publicaciones de revisión

Este tipo de publicación se conoce también como «*review*». Periódicamente, científicos destacados hacen una compilación y puesta al día, bastante extensa, de un tema en el que son especialistas. Especialmente importantes son las numerosas referencias bibliográficas que aportan, algunas hasta más de 200. Si el tema de investigación a efectuar cae dentro del campo de una de estas revisiones, éstas son una fuente de información muy valiosa. Entre las varias que se publican se pueden citar:

- *Annual Rev. of Biochemistry*.
- *Annual Rep. on Progress of Chemistry*.
- *Rev. Prog. Coloration*.

9.5.3. Otros tipos de publicaciones

- En algunas revistas de publicaciones científicas aparece al final un resumen de las publicaciones más importantes efectuadas recientemente, clasificadas por temas.
- Libros de recopilación de datos. Son útiles por suministrar tablas de constantes físicas, químicas, que en algún momento son necesarias para un trabajo de investigación. Uno de los más conocidos es el *CRC Handbook of Chemistry and Physics* editado en EE UU.
- Enciclopedias que contienen de forma sistematizada los conocimientos de un sector y que constan de varios volúmenes. El más importante es el *Beilstein Handbook of Organic Chemistry*, con más de 35 millones de citas sobre: preparaciones y reacciones, procesos de purificación, propiedades y estructuras químicas, datos espectrales, propiedades mecánicas y eléctricas, y patentes. Su información abarca desde 1830 en alemán y en inglés desde 1989.

9.6. Patentes

Desde el momento en que la sociedad reconoce al individuo como dueño de sus ideas a partir del siglo XVII, nace el concepto de propiedad industrial, tal como está estructurado actualmente.

9.6.1. Tipos y modalidades de concesión

El Registro de la Propiedad Industrial (RPI), hoy denominado Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM), clasifica las patentes en los tres apartados siguientes:

- a) «*Descubrimientos científicos, perfeccionamientos cuyo objetivo sea modificar las condiciones esenciales de un procedimiento, aparatos, instrumentos, procedimientos o sucesión de operaciones mecánicas o químicas que total o parcialmente sean desconocidas en su naturaleza o en su aplicación, todo ello es objeto de patente de invención*» (art. 46, 47 RPI).
- b) «*Perfeccionamientos o mejoras en el objeto de una patente. Certificados de adición*» (art. 73 RPI).
- c) «*Invenciones no divulgadas ni practicadas en España pero sí en el extranjero. Patente de introducción*» (art. 68 RPI).

Las patentes de invención y los certificados de adición confieren en exclusiva los derechos a fabricar, producir, vender o utilizar como explotación

industrial el objeto de la patente. El ámbito es todo el territorio nacional y su duración es de 20 años improrrogables.

Las patentes de introducción tienen los mismos derechos que las de invención, pero no dan derecho a impedir que otros introduzcan objetos similares desde el extranjero; no dan exclusividad.

Desde el ingreso de España en la Comunidad Europea, existen en el vigente ordenamiento jurídico español tres vías de solicitud para la protección de las patentes:

- a) Solicitud de protección según el tratado de Cooperación en Materia de Patentes (PCT), en vigor en España desde 1989 y que engloba 89 países.

Las solicitudes de patentes que utilizan la vía PCT son tramitadas por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) hasta el momento de la publicación de la solicitud y la realización del informe internacional o examen preliminar internacional, según el caso; sin embargo, la concesión de la patente corresponde a las oficinas nacionales o regionales.

- b) Solicitud por la vía europea, basada en el convenio de Múnich de 1973, permite la protección actualmente hasta en 17 países europeos. Este sistema tuvo por finalidad de evitar, a los inventores o descubridores europeos, la necesidad de patentar la misma patente en diferentes países con las dificultades propias de cada reglamentación. Mediante la vía EURO-PCT se solicita la patente, sólo en la oficina europea de patentes de La Haya o de Múnich, o bien en las oficinas de patentes de los Estados que han suscrito el convenio.

Una vez presentada la solicitud, el procedimiento seguido es el siguiente:

- *Examen en cuanto al depósito y forma.* El examen al depósito, consiste en determinar si la solicitud cumple ciertas condiciones mínimas y se han satisfecho las tasas. El examen de forma determina si la solicitud cumple todas las condiciones de forma positiva.
- *Búsqueda.* La determinación de la novedad de la patente se efectúa por expertos en los depósitos de patentes existentes en La Haya o en Berlín, en donde existe un conjunto de cerca de 16 millones de documentos clasificados sistemáticamente. En esta búsqueda se seleccionan los documentos cuyo contenido puede tener algo en común con la solicitud.

La selección se envía al solicitante y al mismo tiempo se hace pública la solicitud y el informe de los examinadores. De esta forma, el inventor o descubridor puede hacerse una idea de la validez o solidez de su solicitud. El solicitante tiene un periodo de seis meses para examinar la selección enviada y decidir si retira su demanda o, por el contrario, la presenta para examen.

- *Examen a fondo.* Se valora por los examinadores la novedad de la invención y su aplicación industrial, pudiendo el solicitante hacer una defensa de su patente, bien por escrito u oral.

Después de ello, la comisión examinadora concede o rechaza la totalidad o parte de la patente. En caso afirmativo concede la patente europea.

- *Oposición.* Puede darse el caso de que concedida una patente, alguien se oponga a la concesión presentado pruebas documentales de la existencia previa de conocimiento de la totalidad o parte de la solicitud presentada. En estos casos, si no hay avenencia entre las partes, la solución corresponde a los tribunales de justicia.

- c) Solicitud nacional, regulado por la Ley de 11/86.

Si se ha seguido la vía PCT directa, la concesión corresponde a la OEPM y el resultado es una patente española. El procedimiento es más simplificado, pero dado el sistema de concesión, la verdadera novedad de la patente no es del todo segura.

9.6.2. Partes de una patente

La confección de una patente requiere dos etapas. En la primera, el inventor o descubridor describe, lo más minuciosamente posible, el objeto de su patente, los antecedentes, las aplicaciones y los aspectos que desea patentar. En la etapa segunda, una persona especializada en la redacción de las patentes y bien conocedora de su forma de presentación en la forma y en el fondo, redacta un borrador que discute con el solicitante para ampliar, aclarar o suprimir algo que desde su punto de vista no conviene poner en la patente. De esta discusión, sale un nuevo escrito que vuelve a ser revisado y modificado, las veces que sea necesario, hasta dar con el redactado final de la patente.

Las partes de una patente de invención son:

- *Solicitante.* Nombre y dirección de la entidad, empresa o persona que la solicita.
- *Inventores.* Nombre y dirección de los inventores.
- *Título de la patente.* Se indica de manera lo más precisa posible el objetivo de la patente.
- *Antecedentes y descripción del invento.* La primera parte, los antecedentes, deben dar la situación anterior al objeto de la patente, del descubrimiento, proceso o producto, que se desea patentar.

La segunda parte presenta los argumentos, bases teóricas o técnicas que apoyen la novedad de la patente. Ello debe ser redactado de tal forma que sea

perfectamente comprensible por el examinador y con la mayor precisión posible.

- *Ejemplos*. Se describirán de forma detallada varios de los ejemplos experimentales, bien escritos o con esquemas, planos, etc., de manera que puedan ser bien comprendidos por el examinador.
- *Solicitud de patente*. Es la parte final de la patente y en ella deben escribirse de manera ordenada, y desde lo general hasta lo específico, lo que se desea patentar, teniendo sumo cuidado en no omitir algo que pudiera originar la posibilidad de que otro lo patentase.

Las patentes llevan: Número de publicación, número de registro, fecha de registro, fecha de publicación y países en donde se concede la patente.

9.7. Presentación oral

La presentación oral de una comunicación o informe científico o técnico, es una manera frecuente de informar acerca de un nuevo conocimiento en un área determinada, ante un auditorio, que por lo general, está interesado en conocer los nuevos avances que se producen en un campo específico del conocimiento.

En este tipo de difusión del conocimiento, el orador debe tener presente algunos aspectos importantes para su presentación.

9.7.1. Organización de la exposición

Tal como hemos indicado, la exposición debe basarse en un trabajo que aporte algo nuevo al conocimiento del área que interesa a la audiencia particular, y al mismo tiempo, debe organizarse de tal manera que sea atrayente para captar el interés del auditorio.

La organización de la exposición depende de si la presentación oral se efectúa a partir de una comunicación escrita o se escribe la comunicación expresamente para dicha forma de presentación.

9.7.1.1. Versión oral de una comunicación escrita

En este caso, el orador puede adoptar por leer la comunicación o hacerlo de memoria. En cualquiera de los casos, hay que efectuar, por lo general, una reducción del texto escrito, ya que el tiempo de exposición suele ser más limitado que el necesario para la exposición de toda la comunicación.

Entre las dos formas descritas, la comunicación leída suscita menos interés, sobre todo cuando no es leída por su autor, caso frecuente cuando este no

conoce el idioma de los asistentes, o se requiere la traducción simultánea, muchas veces poco fidedigna.

La exposición oral memorizada es preferida, siempre que se organice adecuadamente, y ello puede hacerse de varias formas:

- a) Sobre el texto escrito, *subrayando con color los aspectos importantes* objeto de la exposición y siguiendo en esta el orden del texto escrito. El texto subrayado puede emplearse para la exposición oral o bien para reescribir solamente lo subrayado para la exposición oral, lo cual es preferible para evitar alguna confusión. El texto escrito resumido deberá escribirse a doble o triple espacio para mayor facilidad del orador.
- b) Otra manera es escribir el texto resumido en hojas de una dimensión de 7 x 12 cm aproximadamente. Estas hojas que sirven de guía para la exposición oral, dan la impresión de hablar sobre notas y no sobre un manuscrito, lo que permite visualizar más directamente a los oyentes, causando mejor impresión.

En cualquiera de las formas, el orador deberá memorizar, días antes de la exposición, el texto, de tal forma que pudiera exponerlo de manera fluida, aun sin auxilio de lo escrito. Es natural que ello dependa de la capacidad de cada persona, pero debe tenderse a no estar mirando siempre el texto reducido.

9.7.1.2. Versión escrita para una exposición oral

Al escribir un texto para una exposición oral, debe seguirse un orden similar al empleado para una comunicación escrita. O sea:

1. Una *Introducción* en la cual se argumente por qué se efectuó la investigación.
2. Una exposición de la *Investigación* efectuada.
3. Una exposición de los *Resultados y Discusión* en la cual el orador manifieste lo que mediante ellos conoció.
4. Una *Conclusión* acerca de lo que todo ello significa de novedad.

En la exposición oral debe hacerse más énfasis en los puntos 1 y 4, ya que son los que, normalmente, más interesan a los oyentes. El orador debe tener presente, al redactar su exposición, que el interés de su audiencia se sitúa, *más en ser informada de lo nuevo* que aporta su exposición al conocimiento científico o técnico, que de la profundidad de sus conocimientos en la materia expuesta.

En el libro de Edward J. Hegarty *Red-Hot Public Speaking*⁽⁴⁾, de actualidad aún hoy en día, sugirió seis formas de organizar una exposición oral, según el tipo de audiencia. Sin entrar en los detalles de cada una de las pro-

puestas, resumidamente podemos decir que para el tipo de exposición oral al cual nos estamos refiriendo, o sea, a un público interesado por la ciencia o por la técnica, el escrito base de la exposición oral debe seguir los apartados indicados más arriba, similar a los de una comunicación escrita, pero con mayor flexibilidad, a fin de hacerlo con mayor claridad y atraer el interés de la audiencia.

El énfasis debe hacerse sobre aquellos aspectos más importantes de la exposición, de tal manera que estos puedan ser asimilados por la audiencia. Por ejemplo, si lo importante son los resultados y sus consecuencias, se reducirá a lo indispensable la forma de efectuar la experimentación.

9.7.2. Otros aspectos a tener en cuenta

Entre ellos se pueden citar:

- a) *Ayudas visuales.* En la mayoría de las exposiciones orales, la utilización de las proyecciones visuales son de gran ayuda para una correcta exposición oral. Por ejemplo, un gráfico explica mejor la tendencia de un fenómeno que su descripción oral sola; un dispositivo o el esquema de un aparato o de un proceso, son absolutamente necesarios para que la audiencia comprenda lo que se expone.

Las ayudas visuales, bien en forma de transparencias o diapositivas, son más atractivas si se utilizan diferentes coloraciones en su ejecución, procurando siempre utilizar aquellas que puedan dar un mejor contraste entre las diferentes partes de la ayuda visual. Actualmente, la utilización de los programas adecuados de ordenador, por ejemplo *Power Point* o similares, permiten, con relativa facilidad, efectuar diapositivas y transparencias que «hablan» por sí solas. No obstante, para un buen orador, las ayudas visuales deben ser solamente eso, una ayuda y nada más.

- b) *La manera de exponer.* El orador debe emplear una terminología adecuada, inteligible para los asistentes, utilizando palabras cortas, verbos en forma activa y evitando las frases demasiado largas. La utilización de un estilo conversacional con los pronombres yo o nosotros, puede ser adecuada en muchos momentos de la exposición. Durante la exposición, el empleo de alguna pausa puede ayudar a que la asistencia fije más su atención en un punto determinado.

El orador debe tener en cuenta que son sus ideas lo que los asistentes captarán y retendrán mejor, por lo que estas deben exponerse de manera clara y concisa. En determinados momentos, cuando sea necesario enfatizar algo, se debe alzar algo más la voz y algún gesto puede ser apropiado para que aquello quede bien aprendido.

Otro aspecto a tener presente es hacer la presentación con entusiasmo, pues ello es una buena prueba de la convicción del orador sobre lo que está exponiendo. Watson (1970) se refiere al entusiasmo con que explicaba Linus Pauling su descubrimiento de la/-hélice de las proteínas de la forma siguiente: «*Una cortina de humo mantuvo oculto su modelo hasta casi al final de la conferencia, momento en que desveló con orgullo su última creación. Entonces, con ojos centelleantes, Linus explicó las características específicas que hacían a su modelo, la/-hélice, especialmente hermosa*».

- c) *El tiempo de exposición.* Tal como hemos indicado anteriormente, las exposiciones orales suelen tener un tiempo limitado, y por ello, el orador debe organizar la exposición de manera que diga lo que debe decir en el tiempo asignado. Por lo general, el tiempo asignado oscila entre 30-45 minutos, de los cuales se suele adjudicar unos 5-10 minutos para que los asistentes hagan preguntas al orador sobre aquellos aspectos que, o bien no han quedado claros para alguno o desean conocer algo más sobre algún punto concreto de lo expuesto. Las respuestas del orador deben ser concisas y concretas sobre lo preguntado.
- d) *El ensayo previo.* Una vez finalizada la forma definitiva del texto de la presentación oral, es aconsejable, sobre todo para los investigadores o ingenieros principiantes, el efectuar un ensayo completo de la presentación delante de un grupo reducido de colegas de su centro de investigación. El ensayo tiene por finalidad el conocer las opiniones de los colegas acerca del contenido, forma expositiva y duración de la exposición, así como discutir las propuestas de modificación sugeridas para incluirlas o no en una nueva versión de la exposición. Esta nueva versión final, volverá a ser expuesta, corregida si fuese necesario, hasta ser aceptada como definitiva.

Bibliografía

1. Willis H. Waldo, *Better Report Writing*, Secon Edition, págs. 40-41. Edit. Reinhold Publishing Corporation, New York, 1965.
2. Courtelyou E. J. *Chem. Educ.*, 31, pág. 590, 1954.
3. Lewis E. Lloyd, *Techniques for Efficient Research*, pág. 104. Edit. Chem. Publishing Comp., New York, 1966.
4. Edward J. Hegarty, *Red-Hot Public Speaking*. Edit. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1961.

Otras obras consultadas

- Day R. A. *How to write and publish a scientific paper*. Edit. Cambridg University Press, Cambridg, 1989.

-
- Flaste R. *Artículos científicos, de New York Times*. Edit. Mc Graw-Hill, Madrid, 1992.
- Red R. *The art of scientific writing*. Edit. VCH, New York, 1987.
- Watson J.R. *La doble hélice*. Edit. Plaza Janes, Barcelona, 1970.
- Publicación *Orbit Data Catalog*. Edit. Maxwell Online Offices, London, 1992.

La comunicación en la innovación tecnológica

10.1. Introducción

La comunicación ha adquirido una gran importancia en todas las actividades humanas como sistema de transmisión del conocimiento y, por lo tanto, como medio de influir en la manera de pensar del ser humano. Ello explica las grandes sumas que se dedican a la potenciación de los medios de comunicación, tanto por parte de los Estados como por el sector privado. Consecuencia de ello son los grandes avances que los sistemas de comunicación han experimentado en las últimas décadas del siglo XX, y de considerar a los sistemas de comunicación como uno de los grandes temas, considerados como prioritarios, a investigar y desarrollar en el siglo XXI, junto a la biotecnología y al medio ambiente.

Es evidente que los nuevos sistemas de comunicación ya tienen una influencia en el comportamiento de las personas y en el de la sociedad en su conjunto, y que esta influencia será más acentuada en su futuro, hasta el punto de cambiar sustancialmente determinados hábitos del trabajo tanto doméstico como empresarial. Baste la simple referencia a las posibilidades que ya actualmente ofrece la comunicación vía Internet, permitiendo la correspondencia mediante correo electrónico, la adquisición de bienes y equipos, la conexión con los bancos y bolsa, etc., y la búsqueda y recogida de información sobre cualquier aspecto de interés para los internautas.

En el Capítulo 9 sobre «La Difusión de la Investigación» ya tratamos alguno de los aspectos relacionados con las diferentes formas de la comunicación científica y técnica, bien de forma escrita u oral, tanto fuera como dentro de la empresa y que, por lo tanto, no vamos a repetir. Sin embargo, otro aspecto importante en la empresa que basa su supervivencia y expansión en la innovación tecnológica fundamentada en su investigación, es la estructura que debe

tener *su red de comunicación* para obtener la información deseada en el plazo más breve posible y a un coste razonable, de acuerdo con sus objetivos. Este aspecto del problema de la comunicación será el objeto de este capítulo, ya que lo consideramos algo diferente de lo dicho en el capítulo anterior y, además es de gran importancia para la empresa innovadora, ya que «*sin comunicación la innovación no es posible o se alcanza con gran dificultad*».

En cualquier tipo de empresa el papel de la dirección en el establecimiento de la comunicación es muy importante, ya que es la que marca la estrategia a seguir y, por consiguiente, la innovación necesaria, así como las líneas generales de los sistemas de comunicación a establecer. La dirección debe insistir en la importancia de la comunicación entre los diferentes centros de la empresa para que la comunicación se efectúe correctamente, creando para ello el ambiente adecuado entre el personal que facilite la comunicación, tanto en el interior de la empresa como con el exterior de la misma. Asimismo, le corresponde la asignación de los recursos necesarios para poder tener un adecuado conocimiento del avance tecnológico y de la situación del mercado, a fin de obtener la información necesaria.

10.2. El sistema de comunicación

El sistema de comunicación de la empresa innovadora debe cumplir dos objetivos:

- a) Asegurar la obtención de la mejor información del exterior de la empresa, de acuerdo con los objetivos de esta.
- b) Que la comunicación en el interior de la empresa se efectúe lo más rápidamente posible y de manera adecuada.

Hemos indicado anteriormente que cada empresa debe crear *su red de comunicación*, pues si bien existen algunos principios de tipo general, es necesario que el sistema de comunicación adoptado se base en el análisis de las características de la empresa y en el tipo de información que necesita para llevar a término la innovación programada, de acuerdo con la estrategia innovadora de la empresa. De ello se deduce que estrategia, innovación y comunicación están relacionadas y que esta es consecuencia de cómo se planteen las dos primeras. En efecto, si la estrategia de la empresa es la de figurar como la primera o entre las primeras de su sector tecnológico, su innovación tendrá que apoyarse en una I+D de primera línea, lo cual requerirá un sistema de información y comunicación diferente de aquellas empresas que basan su estrategia en seguir a las primeras, o en la de la copia inteligente.

En el Capítulo 3, apartado 3.4, pág. 52, ya nos referimos a algunos aspectos de la innovación tecnológica. Es necesario indicar, en relación con el capítulo actual, que la innovación tecnológica es un proceso complejo y que cuando

esta se basa en una investigación propia, los componentes de este proceso, expresados de forma resumida son:

$$\text{Idea} + \text{Investigación} + \text{Producción} + \text{Mercado} = \text{Innovación}$$

Como puede apreciarse, la innovación requiere el conjuntar una serie de informaciones, tanto del exterior de la empresa como de su interior, de tal forma que si el sistema de comunicación no es el adecuado, las interferencias que se crean pueden ser importantes, de tal manera que pueden anular o hacer muy lento el proceso innovador. Por ello, en un sistema de comunicación adecuado hay que considerar dos tipos de comunicación: una hacia el exterior de la empresa y otra en el interior de la misma.

En los sistemas de comunicación bien estructurados suelen existir unas personas determinadas destinadas, casi totalmente, a la tarea de efectuar de enlace entre el exterior de la empresa y esta, así como en el interior de la misma. Estas personas que denominamos «informadores» (*gatekeepers*) suelen ser, generalmente, de dos clases. Informadores técnicos y de mercado que actúan como enlaces o puentes entre los que necesitan la información en la empresa y las fuentes de información externa. En algunas grandes empresas, cuya tecnología se basa en los últimos avances científicos, puede existir el informador científico cuya principal misión está en la asistencia a congresos o reuniones de alto contenido científico, a las cuales no pueden, por diversos motivos, asistir los investigadores. En cualquier tipo de los indicados, para informador se requiere una persona de elevado grado de cualificación y conocimiento de su área, capaz de conocer la novedad en su especialidad informadora, a fin de suministrar una información fidedigna y evitar pérdidas de tiempo y gastos inútiles en seguir falsas pistas. Además, los informadores deben tener afición y tiempo para la lectura de revistas especializadas, asistencia a reuniones externas e internas y gran capacidad para mantener contactos informales de manera continuada. Frecuentemente son seleccionados por las empresas para misiones especiales.

Por otra parte, la naturaleza del proyecto innovador también tiene su importancia en la red de comunicación de la empresa. Por ello, aunque pueden existir diferentes tipos para la clasificación de los proyectos de innovación, en principio se pueden considerar los siguientes:

- A. Proyectos de *Investigación aplicada* orientados a desarrollar nuevos conocimientos en las áreas tecnológicas importantes para la empresa.
- B. Proyectos de *Investigación de desarrollo* orientados a lanzar nuevos productos al mercado o implantar nuevos procesos de fabricación.
- C. Proyectos de *Servicio técnico* orientados a la mejora de los productos o procesos existentes.

Como cada tipo de proyecto requiere una información diferente. El tipo de sistema de comunicación tanto con el exterior de la empresa como dentro de esta tiene que ser específico, para el fin que persigue.

10.3. La comunicación con el exterior de la empresa

La necesidad de este tipo de comunicación está fundamentada en que la información generada en el interior de la empresa, aun en las más grandes, es insuficiente para su avance tecnológico y, por lo tanto, se deben de buscar fuentes de información en el exterior. Los laboratorios de I+D operan como sistemas abiertos y necesitan del conocimiento que se genera a escala mundial, para mantener la situación de la empresa en una situación preeminente o como mínimo sostenible. T. J. Allen ⁽¹⁾, en un estudio efectuado en unos setenta proyectos de investigación, encontró que los investigadores dedicaban un 5% de su tiempo total de trabajo a la comunicación y cerca del 33% de su tiempo de comunicación a los contactos exteriores de la empresa.

Hemos indicado anteriormente que la *Idea* es el primer eslabón para el inicio de la innovación, y por ello consideramos conveniente el efectuar algunas consideraciones acerca de cuáles son las fuentes de las ideas que conducen, en principio, a innovaciones con éxito en las empresas. D. G. Marquis en un estudio efectuado sobre unas 567 empresas, obtuvo los resultados, que resumimos en la Tabla 10.1 ⁽²⁾.

Tabla 10.1. Fuentes de ideas para la innovación

Innovación iniciada por	N.º de casos	%
Oportunidad técnica	120	21
Demanda del mercado	257	45
Necesidades de producción	169	30
Legislación de la administración	21	4
	—	—
Total	567	100

Puede apreciarse que cerca del 50% de las ideas fueron generadas por la demanda del mercado, un 30% por solicitud de producción y un 21% como consecuencia de una oportunidad técnica. De acuerdo con estos resultados, las empresas innovadoras deben disponer de los medios adecuados para evaluar y analizar las necesidades actuales y potenciales del mercado, así como las oportunidades técnicas que van apareciendo, bien en su mismo campo tecnológico, o en nuevas tecnologías que puedan ser aprovechadas para el mejoramiento de sus tecnologías actuales. Ello, además de lo ya indicado, justifica la necesidad de la comunicación de la empresa con el exterior.

La captación de las necesidades actuales es más fácil que la previsión de las necesidades futuras, para las cuales se necesitan unos medios de estudios de prospectiva, en los cuales no vamos a entrar en esta exposición. Sólo nos limitaremos a indicar que el método *Delphy* es uno de los más empleados por las industrias de tamaño mediano.

Tal como hemos indicado anteriormente, el tipo de proyecto investigador condiciona las fuentes de información que se deben buscar en el exterior de la empresa, a fin de establecer la comunicación adecuada.

10.3.1. Proyectos de investigación aplicada

En estos casos, la comunicación debe de establecerse, principalmente, con los departamentos de las universidades, los laboratorios de los centros de investigación pública o privada, o en determinadas asociaciones profesionales, especializadas en el área del proyecto. El contacto por parte de la empresa debe establecerse de una manera directa e informal, bien mediante el informador técnico o por una persona altamente cualificada, que puede ser el jefe del laboratorio o el científico o ingeniero encargado del proyecto. En estos contactos se debería buscar, tanto la información adecuada como una evaluación crítica del proyecto, mediante la compensación económica correspondiente. En muchos casos, este tipo de comunicación suele conducir a una colaboración entre la empresa y estas instituciones, a las cuales se les encarga la ejecución total o parcial de la investigación aplicada que sirve de soporte al proyecto de desarrollo, bien porque la empresa no tenga especialista o equipo instrumental adecuado para llevarla a buen término. Evidentemente, la confidencialidad debe quedar asegurada mediante un contrato.

En algunos casos, no es la empresa la que efectúa la primera investigación aplicada y de desarrollo que lleva a la innovación, sino los investigadores de universidad o centros de investigación. E. A. von Hippel⁽³⁾, en un estudio acerca del papel desempeñado por los utilizadores de instrumentos científicos en la innovación de estos equipos, mostró que en los casos del primer cromatógrafo de gases, del primer espectrofotómetro de resonancia magnética nuclear, del primer espectrofotómetro de absorción en ultravioleta y del primer microscópico electrónico de transmisión, fueron los utilizadores de estos equipos los que inventaron y desarrollaron el primer prototipo, movidos por sus necesidades investigadoras. El contacto externo de las empresas con estos inventores fue el que proporcionó su primer lanzamiento comercial, el cual fue seguido posteriormente por modificaciones de mayor o menor importancia para las mejoras de los equipos, en las cuales colaboraron las empresas y los inventores.

10.3.2. Proyectos de desarrollo

En este tipo de proyectos que, normalmente, se efectúan en la empresa y que pueden o no necesitar de un estudio previo de investigación aplicada, el tipo de proyecto es el que decide hacia dónde hay que buscar la información complementaria que puede necesitar la empresa, en el caso de que la nueva tecnología no esté dentro del «*know how*» de la empresa. Esta información puede ser de diversa índole: de materias primas, de métodos de fabricación, de

dispositivos de mando o control, de posibles áreas industriales de aplicación, etc., el conjunto de las cuales pueden llevar a la obtención de un nuevo producto o proceso innovador. Para obtener este tipo de información, la comunicación debe establecerse:

- a) Con suministradores de nuevas materias o equipos, en el caso, por ejemplo, que la síntesis de un nuevo producto lo requiriera.
- b) Con suministradores de equipos industriales de producción y de control, en el caso, por ejemplo, de una nueva tecnología de proceso a fin de lograr una reducción de los costes de producción o para la obtención de un nuevo producto. En este último caso, es necesario conocer la opinión del mercado.
- c) Con consultores especializados en el tipo de desarrollo que se desea implantar.

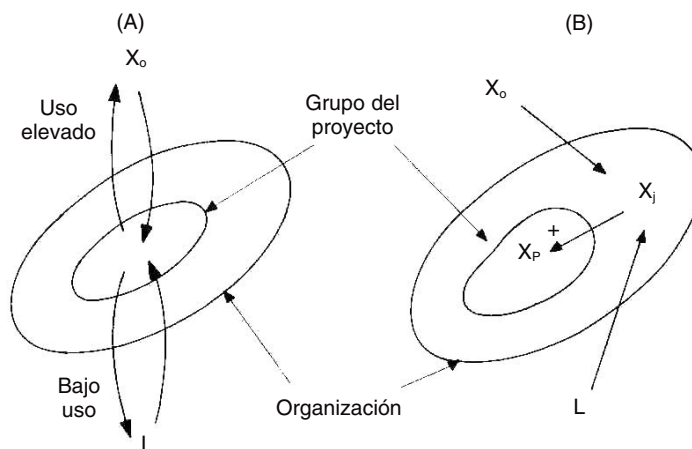
Por parte de la empresa, la persona o personas idóneas para establecer la comunicación pueden ser el informador técnico, el jefe del proyecto, y el informador de mercado cuando se trate de un nuevo producto.

10.3.3. Proyectos de servicio técnico

En los casos en donde se trata de efectuar mejoras en la calidad, en determinadas características de un producto existente en el mercado, o en la aplicación del producto a otras áreas de comercialización, la comunicación debe establecerse con los suministradores de materias, los clientes y, en algunos casos, con consultores externos muy especializados en el objetivo del proyecto. Según los estudios efectuados por M. L. Tushman ⁽⁴⁾, este tipo de comunicación requiere, por lo general, tres veces más tiempo que la comunicación para los proyectos de investigación.

En todos los casos de los proyectos citados es importante que la comunicación en el exterior de la empresa se mantenga de manera continua; en bastantes casos, el poco éxito de estos contactos se debe a una falta de continuidad o a que se efectuaron de manera precipitada y antes de tiempo. T. J. Allen ⁽¹⁾, en un análisis sobre la efectividad de la comunicación, indica que la comunicación externa de la empresa es más efectiva mediante los informadores técnicos o de mercado que mantienen contactos regulares con el exterior que a través de un jefe de proyecto. Ello queda representado en la Figura 10.1 ⁽¹⁾.

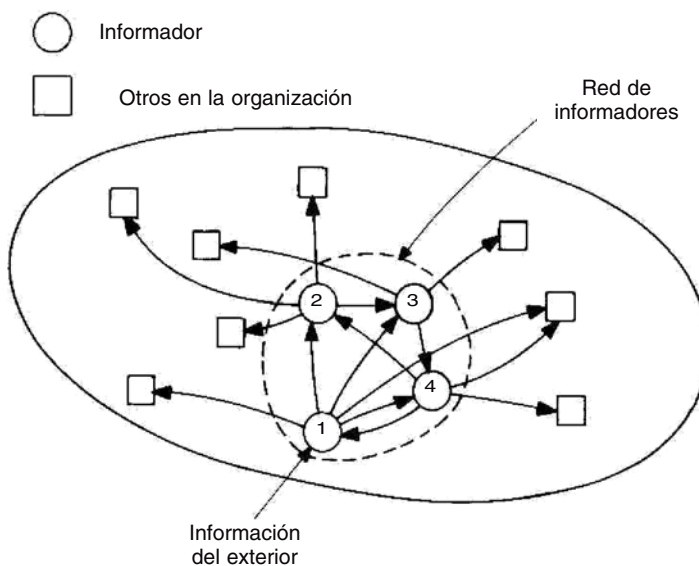
En empresas de gran envergadura que operan dentro de una misma área tecnológica, la transmisión de la información externa suele o puede efectuarse a través de una red de informadores existente en el interior de la empresa, los cuales actúan como intermediarios en el interior de la organización, en proceso de dos o múltiples etapas para su distribución (Figura 10.2) ⁽¹⁾.



X_p = Miembro del equipo del proyecto
 X_j = Informador técnico o de mercado
 O = Organización

X_o = Persona externa a la empresa
 L = Literatura

Figura 10.1. Diagrama de importación de información a la empresa ⁽¹⁾.



X_i = Informadores internos de la empresa
 X_p = Miembros del proyecto u otras personas de la empresa

Figura 10.2. Comunicación de la información externa, mediante red de informadores internos, a varios miembros del proyecto u otras personas ⁽¹⁾.

En lo indicado anteriormente, la empresa ha sido considerada como una unidad singular o múltiple, es decir, contar con una unidad de producción o varias unidades situadas en diferentes áreas geográficas. En este último caso, la comunicación entre las diferentes unidades de producción es un factor adicional que hay que considerar al comentar la comunicación en el interior de la empresa.

10.4. La comunicación en el interior de la empresa

Una vez recibida la información externa a través de los canales de comunicación indicados anteriormente, se presentan dos casos: cuando se trata de una sola empresa, o cuando son varias las empresas del mismo grupo que están situadas en áreas geográficas diferentes y operan dentro de áreas tecnológicas similares. Estas modalidades, junto con la naturaleza de los proyectos merecen un tratamiento diferente, en relación con las redes de comunicación a implantar.

10.4.1. Una sola empresa

En este caso y desde el punto de vista de innovación tecnológica, interesa diferenciar dos aspectos del problema: la comunicación entre I+D y los otros centros de la empresa relacionados con la innovación tales como Producción y Marketing, y la comunicación en el interior de I+D.

10.4.1.1. Comunicación entre I/D y otros centros

En los proyectos de investigación aplicada la comunicación entre I+D y producción y marketing suele ser escasa, ya que, normalmente, estos centros pueden aportar muy poco para el buen fin del proyecto. No obstante, es conveniente que I+D los mantenga informados acerca de los objetivos generales que se persiguen, lo cual contribuye a mejorar el clima de relación personal.

En los proyectos de investigación de desarrollo se debe establecer una buena comunicación entre I+D y producción, cuando el proyecto afecte a modificaciones del proceso productivo sin modificación de producto, y también con marketing cuando la modificación del proceso afecte a la modificación del producto.

En ambos casos, la comunicación puede ser de tipo informal, las veces que sean necesarias, pero debe existir una reunión de tipo periódico, convocada por el responsable de investigación o el jefe del proyecto, a fin de informar y conocer las opiniones de los otros jefes o personas cualificadas de los otros centros. De estas reuniones se efectuará la correspondiente acta, la cual también se remitirá a la dirección de la empresa.

En los proyectos de servicio técnico, generalmente efectuados por personal de cualificación profesional inferior a los de investigación, se requiere una comunicación muy estrecha con marketing y/o producción, según la orientación del proyecto, a fin de que I+D conozca cuáles son las características exigidas por el mercado para impulsar las modificaciones del producto. La comunicación suele

establecerse entre el responsable del proyecto y los de marketing y/o producción. Los resultados de las reuniones periódicas deben figurar en las actas correspondientes, de las cuales se remitirán copias a los jefes de I+D y de los otros centros.

10.4.1.2. Comunicación en el interior de I/D

En el Capítulo 4 (4.7.3.5., pág. 78) hicimos una breve referencia a la influencia que ejercía el tiempo de permanencia de los investigadores en el mismo grupo de I+D, sobre la comunicación del grupo. Este aspecto será tratado aquí con más detalle.

W. P. Wells y D. C. Pelz efectuaron un estudio en 83 grupos de investigación⁽⁵⁾ acerca de la influencia que el tiempo de permanencia de los investigadores en el mismo grupo ejercía, entre otras características del grupo, sobre la comunicación entre: a) jefe del grupo e investigadores; y b) entre investigadores. Para ello, utilizaron dos parámetros: a) la frecuencia de contacto semanal entre el jefe del grupo y los investigadores; y b) tiempo total empleado por semana. En dicho estudio, se pudo apreciar que:

- A. La tendencia observada era independiente del tamaño del grupo.
- B. Conforme aumenta la edad del grupo, sus miembros se vuelven más aislados. El número de contactos semanales entre el jefe del grupo y los investigadores decrece con los años del grupo, de manera más intensa que el número de contactos semanales entre los investigadores, el cual también decrece al aumentar la edad del grupo (Figura 10.3)⁽⁵⁾.

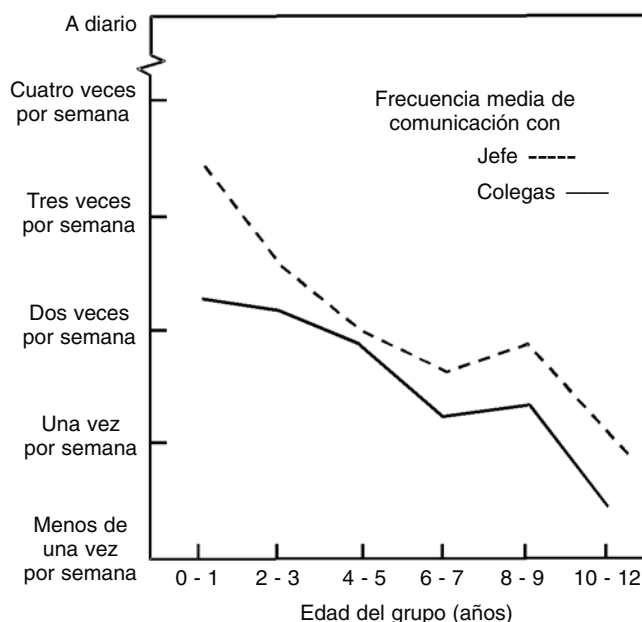


Figura 10.3. Influencia de la edad del grupo en el número de contactos semanales⁽⁵⁾.

- C. Conforme aumenta la edad del grupo, el número total de horas de comunicación empleadas semanalmente entre el jefe y los investigadores y entre estos también desciende. Los grupos nuevos suelen emplear hasta cuatro horas semanales de contacto con el jefe del grupo, mientras que los más antiguos solamente entre 1-2 horas semanales. El descenso en el tiempo total de contactos semanales entre el jefe del grupo y los investigadores es más acentuado que el que experimenta el tiempo total de contacto entre los investigadores (Figura 10.4)⁽⁵⁾.

En el mismo estudio⁽⁵⁾ se buscó la influencia de la comunicación sobre el rendimiento de la investigación. Los resultados estadísticos demostraron que:

- A. La frecuencia de contactos de los investigadores con el jefe del grupo no tenía influencia sobre el rendimiento de los grupos, tanto si estos eran antiguos como nuevos.
- B. La frecuencia de contactos entre los investigadores de los grupos antiguos, mejoraba medianamente el rendimiento en las investigaciones de carácter científico y mucho en las de carácter más práctico. El tiempo total empleado semanalmente en la comunicación no era importante en el rendimiento.

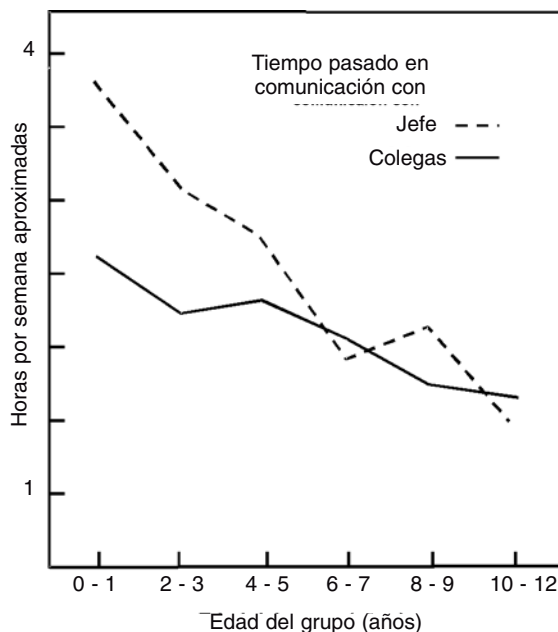


Figura 10.4. Influencia de la edad del grupo en el tiempo total empleado solamente en la comunicación⁽⁵⁾.

T. J. Allen y A. R. Fustel⁽⁶⁾ indican que la probabilidad de comunicación de al menos una vez por semana, entre los miembros de varios laboratorios de un centro de investigación, depende de la distancia que los separa, en la forma que se muestra en la Figura 10.5. Puede apreciarse en dicha figura que solamente dentro de una distancia de 30 m, la separación tiene una influencia real en la comunicación; a partir de dicha distancia, la probabilidad de comunicación es independiente de la distancia. Ello ha llevado, en determinados casos, a efectuar modificaciones en la situación de los laboratorios a fin de facilitar la comunicación, y de otra parte, este es un aspecto que debe tenerse en cuenta en la distribución de los centros de investigación, a fin de facilitar el máximo contacto entre aquellas áreas que lo requieran.

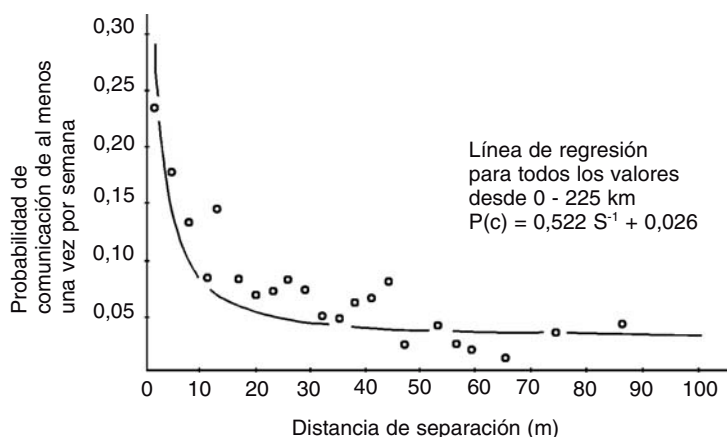


Figura 10.5. Probabilidad de comunicación entre dos personas, en función de la distancia de separación⁽⁶⁾.

10.4.2. Varias empresas de la misma área tecnológica

10.4.2.1. Pertenecientes a la misma organización

Cuando dentro de la misma organización existen varias empresas situadas en diferentes áreas geográficas y dedicadas a la misma área tecnológica, tal como ocurre en muchas multinacionales, el problema de la comunicación entre ellas no ha sido estudiado de una forma sistemática y lo que exponemos a continuación es consecuencia de una reflexión sobre ello, de acuerdo con mi experiencia personal como asesor de dos multinacionales importantes en asuntos relacionados con la innovación tecnológica⁽⁷⁾. Considero, que dentro de cada empresa, las consideraciones anteriores son válidas para este tipo de organización, debiendo añadir a aquéllas, las referentes a la comunicación que debe existir interempresas.

La comunicación interempresas situadas en lugares geográficos diferentes, en los cuales suele darse que las demandas del mercado sean diferentes, aun

dentro de la misma tecnología, creo que debe estructurarse teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- A. Si la tecnología base en la cual operan puede considerarse como madura o de punta.
- B. Si el grupo de empresas es o desea tener una posición de primera línea en el mercado.
- C. Dependiendo de la estrategia del grupo de empresas, si la innovación tecnológica asignada a cada empresa es o no coincidente en productos y/o procesos de fabricación, aun dentro de la misma área tecnológica.
- D. Si todas las empresas del grupo basan su innovación en proyectos de investigación aplicada, de desarrollo y de servicios técnicos, o por el contrario, los de investigación aplicada se localizan sólo en alguna/s de ellas.

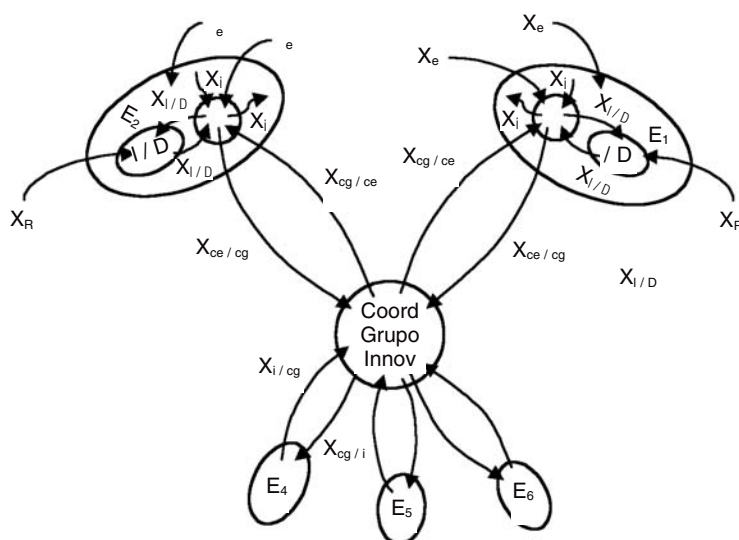
Este escenario no es especulativo, pues corresponde a unos casos vividos por mí durante mis años de asesor de dos multinacionales. Como teóricamente el número de combinaciones posibles es muy elevado y, por lo tanto, la red de comunicaciones a establecer puede presentar diferentes posibilidades, estableceremos el supuesto siguiente:

Un grupo de empresas operando en un área tecnológica madura y deseando mantener una posición de primer orden, con empresas en diferentes países que coinciden en la mayoría de sus productos y procesos. Entre ellas, hay dos que son las encargadas de efectuar investigación aplicada y de desarrollo de productos y procesos, para conseguir innovación; la innovación obtenida, es transferida a otras empresas del grupo que sólo actúan como fabricantes de productos y prestan servicios técnico-comerciales dentro de su área geográfica.

Una organización de este tipo debe establecer un sistema de comunicación entre las dos empresas que efectúan I+D que potencie al máximo los recursos disponibles y evite las duplicaciones innecesarias. De otra parte, también tiene que estructurar su sistema de tal forma que la información adquirida en el exterior de la empresa que pueda afectar a I+D sea transmitida a esta por todas las empresas del grupo. Además, el sistema de comunicación debe de establecerse de tal forma que asegure la transferencia de tecnología desde las empresas que la generan, las que tienen I+D, a las que actúan sólo como productoras. Dentro de una perspectiva global, creo que el sistema de comunicación debe basarse en lo que se conoce como «sistema Murphy», o sea, en un puesto central que reciba y distribuya la información, de acuerdo a los objetivos asignados a cada una de las empresas (Figura 10.6).

10.4.2.2. Pertenecientes a organizaciones distintas

Aun dentro de la misma área tecnológica, se da el caso de empresas de diferentes organizaciones, que colaboran entre sí para lanzar al mercado un

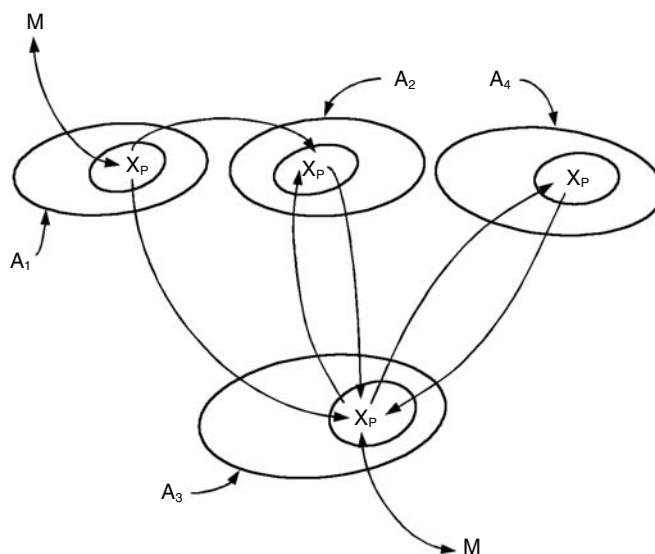


- E_n = Compañía del grupo
 X_n = Comunicación desde el exterior del grupo
 X_i = Comunicación interior empresa / Coordinador innovación empresa
 $X_{i/D}$ = Comunicación I/D – Coordinador innovación empresa
 $X_{ce/cg}$ = Comunicación coordinador innovación empresa – Coordinador innovación grupo
 $X_{i/cg}$ = Comunicación empresa – Coordinador innovación grupo

Figura 10.6. Esquema de comunicación sistema Murphy.

producto innovador. Este es un caso frecuente entre las PYMES de un sector como en el textil, en donde para lanzar un nuevo tejido al mercado se requiere la colaboración del suministrador de materia prima, la del hilador, del tejedor y la del tintorero-acabador, cada una de ellas pertenecientes, en la mayoría de los casos, a organizaciones empresariales diferentes.

Dado que en el proceso textil, como también sucede en otros sectores tecnológicos, el producto final obtenido es consecuencia de una serie de procesos acumulativos, de tal forma que las deficiencias en uno de ellos repercuten en la calidad de los procesos posteriores, la falta de comunicación entre las diferentes organizaciones que toman parte en el proceso puede dar lugar a situar fuera del estándar de calidad al producto final, lo cual repercute en una innovación no conseguida o en un retraso de la misma. En este tipo de innovación, que podríamos incluirla en la que denominábamos como «estética o técnica», el diseñador del producto final suele estar en la tejeduría y, por lo tanto, es el que tiene, o debe tener, la función coordinadora y, por lo tanto, ser el núcleo central de la comunicación. Un posible esquema de comunicación podría ser el indicado en la Figura 10.7.



- M = Mercado.
 A₁ – A₄ = Organizaciones empresariales diferentes
 A₁ = Suministro de materias primas
 A₂ = Hilatura
 A₃ = Tejeduría.
 A₄ = Tintorería y acabados.
 X_p = Centro de colaboradores en el proyecto.

Figura 10.7. Esquema de comunicación entre varias PYMES textiles.

Los sistemas de comunicación empleados hasta el presente han sido por medio del teléfono o con contactos personales, sin que en muchos casos no haya quedado constancia escrita de los parámetros técnicos o estéticos a conseguir, o de los procesos a emplear en las distintas fases. Ello origina, en muchos casos, malentendidos que repercuten en diferencias de calidad entre lo que se deseaba obtener y lo obtenido, lo cual produce reclamaciones y atrasos en las diferencias etapas del proceso. Por ello y aprovechando los medios que la informática ha puesto a disposición mediante el correo electrónico, se ha estudiado la forma de que la comunicación sea más fluida y concreta entre las

la industria textil, la posible solución ha sido el proyecto VIRTEX subvencionado por la CE que ha sido finalizado recientemente⁽⁸⁾ y cuya utilización para otras industrias creo que es posible, mediante adaptaciones.

10.5. Problemas en la comunicación de la innovación tecnológica

Cuando se participa en proyectos de innovación tecnológica, puede apreciarse que, aun estando bien establecido un sistema, surgen problemas que

hacen que la comunicación no funcione en la forma deseada. De acuerdo con nuestra experiencia, los problemas se presentan, por lo general, entre I+D y marketing, a los cuales nos referiremos, ya que la comunicación entre I+D y producción suele ser más fluida y con menos problemas.

G. R. Cooper en un trabajo publicado⁽⁹⁾, indicaba que los problemas que se presentan en la comunicación entre I+D y marketing se producen porque «*con frecuencia I+D se entusiasma con una nueva idea, sin tener suficientemente en cuenta su impacto comercial. Del mismo modo, I+D indica que marketing no interpreta bien las necesidades del consumidor y se malgastan recursos que no corresponden bien a las necesidades del mercado. Se pierde credibilidad entre ambos, produciéndose tensiones. Marketing cree que, a pesar de todo, I+D sigue preparando nuevos productos, mientras I+D piensa que marketing está obligándoles a suprimir la investigación y las innovaciones tecnológicas importantes y sólo piensa en satisfacer las demandas del mercado a corto plazo*».

G. K. Ashok y col. en un estudio efectuado sobre las relaciones entre marketing e I+D⁽¹⁰⁾, analizaron las relaciones que provocaban las tensiones entre ambos, mediante una encuesta entre 167 empresas americanas. Sus conclusiones las resumimos a continuación:

- A. *Dificultades en la comunicación.* Estaban relacionadas con aspectos importantes tales como: análisis de las necesidades del consumidor y poca posibilidad de ponerse de acuerdo entre los proyectos de I+D y las necesidades del mercado. De otra parte, las dificultades de comunicación eran una consecuencia de falta de tiempo, generalmente por parte de marketing, y de una defectuosa programación de las reuniones de información.
- B. *Insensibilidad respecto a las capacidades y perspectivas del otro.* En muchos casos, I+D indicaba que marketing no reconocía su capacidad y por otra parte, este culpaba a I+D de falta de sensibilidad acerca de las perspectivas del mercado.
- C. *Falta de apoyo por parte de la dirección.* Los mayores problemas que se presentaban con la dirección suelen ser: una orientación a corto plazo a fin de obtener beneficios; falta de conocimiento del mercado y toma de decisiones con marketing que impiden una colaboración eficaz entre este e I+D.
- D. *Diferencias culturales y de personalidad.* Por parte de marketing se consideraba una dificultad para su diálogo con I+D, la estrechez de miras, el «orgullo científico» y una orientación de los trabajos demasiado profesional. I+D indicaba que marketing presentaba resistencia al cambio y el síndrome NIH (*Not Invented Here*).
- E. *Falta de conocimiento del mercado.* Ambos departamentos, coincidían en señalar que la falta de conocimiento de la competencia, del mercado, de los consumidores y de las aplicaciones de los productos, constituían obstáculos para la colaboración.

Todos los encuestados coincidieron en señalar la importancia que tenía la comunicación entre ambos departamentos para generar innovación, si bien diferían del nivel de comunicación necesario.

Por nuestra parte, hemos podido observar que la comunicación entre marketing e I+D también se dificulta en los siguientes casos:

- A. Cuando el jefe de marketing es una persona bien situada en la empresa, con gran experiencia técnico-comercial y poco flexible en sus opiniones, para que se le discutan por parte de I+D los problemas que él plantea.
- B. Cuando la dirección con desconocimiento del mercado se apoya mucho en el jefe de marketing y no guarda una posición equilibrada entre este y el jefe de I+D.
- C. Cuando el jefe de marketing está fuera de la empresa, por razones de su cometido, y no delega en sus subordinados para que estos le representen en las reuniones previamente programadas.

Bibliografía

1. Allen T.J. *Managing the Flow of Technology*. MIT Press, 1977.
2. Marquis D. G. *The Anatomy of Successful Innovations*. National Science Foundation, 1977.
3. von Hippel E. A. *Technological Review*. Vol. 80, n.º 3, January 1978.
4. Tushman M.L. *Sinan Managenment Review*, 2, 1979.
5. Wallace P.W. *Group Age and Scientific Performance*. University of Michigan, 1962.
6. Allen T. J., Fustfeld A.R., *R & D Management*, 5, n.º 2, 1975.
7. Cegarra J. *La comunicación en la innovación tecnológica*. Alta Dirección, 4.1, pág. 181, 1995.
8. Seminario Virtex, *Organización virtual de la cadena de abastecimiento textil y de confección*, Barcelona 31/10/2000.
9. Cooper G. R. *Marketing News*, June, 1982.
10. Ashok G.K., Raj S. P., Wilemon D. *Marketing Interface in High Technology Fircus*. Journal Prod. Innovation, 1985.

Evaluación de la eficiencia de la investigación

11.1. Introducción

Durante los últimos veinticinco años hemos podido apreciar cómo una gran parte de departamentos universitarios y de sectores industriales a los que podríamos encuadrar en áreas de conocimiento y de industrias tradicionales, por ejemplo la textil, la del cuero, la de la madera, etc., han pasado desde una inicial expansión de sus centros de I+D en la década de los cuarenta, en algunos casos tal vez desmesurada, a una reducción paulatina de los mismos, por considerar que al haber casi alcanzado la frontera tecnológica de dichas áreas, la inversión dedicada a ciertos sectores de I+D, sobre todo en la industria, podría ser más productiva el aplicarla a otras áreas tecnológicas. Un ejemplo de esta situación se ha vivido en la industria de colorantes, en la cual parte de sus efectivos, previo las jubilaciones anticipadas necesarias, han pasado a engrosar los centros de investigación de las mismas empresas, dedicados a las ciencias de la vida, los cuales, a su vez, para hacer frente a la globalización se han fusionado formando compañías más rentables. Por otra parte, las industrias de colorantes existentes actualmente también se han agrupado buscando la innovación, más que en los nuevos productos, que también se efectúa a escala reducida, en la disminución de sus costes de producción.

En muchos casos, esto se ha efectuado de una manera intuitiva y a veces indiscriminada, tal vez por falta de unos criterios o sistemas de cuantificación que permitiesen evaluar la «*eficiencia*» o «*productividad*» de los centros de I+D afectados. La utilización de una u otra denominación es objeto de cierta controversia; personalmente prefiero la primera.

De otra parte, tanto las industrias tradicionales como las que hoy día denominamos de «alta tecnología», necesitan adecuar sus presupuestos dedicados a I+D y a innovación tecnológica en relación con las circunstancias económicas del

momento, lo cual lleva, en determinadas circunstancias, a tener un mayor número de proyectos de investigación o de innovación tecnológica que las disponibilidades económicas para realizarlos. Ello lleva necesariamente a considerar, de una forma global, la eficiencia del sistema para llevar a término la investigación o la innovación tecnológica, y también la *evaluación* de los resultados de estas.

Dado el enfoque que pensamos dar a este capítulo y considerando que lo que denominamos globalmente como eficiencia de un sistema es más o menos conocida, centraré esta exposición en desarrollar aquellos criterios generales que permitan evaluar la eficiencia de I+D y de la innovación tecnológica en su conjunto.

Antes de centrarnos en los dos apartados indicados, considero necesario el plantear algunas consideraciones de tipo general que ayuden a comprender la situación real del problema que pretendemos exponer. Son las siguientes:

- El objetivo general de todo trabajo de I+D en la universidad es la ampliación del conocimiento. Por otra parte, el objetivo de I+D en la industria en el ciclo de la innovación tecnológica y de esta en su conjunto, es la consecución de nuevos productos, nuevos procesos, nuevos servicios que tengan éxito en la comunidad y el aumento del conocimiento científico-tecnológico que pueda servir de base para posteriores desarrollos.
- Desde un punto de vista eficiente, es necesario que los recursos empleados para conseguirlo se utilicen de una manera óptima, y para ello se requiere la existencia de una estructura investigadora adecuada en la universidad, en los centros de investigación y en los de la industria.
- La consecución de dicha estructura implica varios aspectos tales como:
 - A. Adecuada orientación de los objetivos, de la estructura y de la organización interna de los equipos de I+D.
 - B. Una buena comunicación entre los equipos de I+D internos y externos, en la universidad para la mejora del conocimiento, y en la organización industrial para permitir una adecuada implantación de los resultados de aquéllos a fin de convertirlos en nuevos productos, procesos o servicios.
 - C. Comunicación “con” y conocimiento de la estructura de investigación de los centros gubernamentales, nacionales o supranacionales que permita a los equipos de I+D de las empresas un mejor aprovechamiento de los avances existentes en el campo científico y tecnológico, así como la utilización de recursos de infraestructura que por sus características no pudiesen ser de uso frecuente en la estructura industrial de investigación.
 - D. Todo sistema de evaluación de la eficiencia de la I+D o de la innovación tecnológica es complejo y su implantación requiere unos criterios más flexibles que los que ordinariamente se emplean, por ejemplo, en la evaluación de la eficiencia productiva o comercial.

11.2. Evaluación de la eficiencia en I+D

Desde hace unos años, existe un gran interés en el conocimiento de la eficiencia de I+D, fundamentado en el argumento de que un aumento de esta significa una mejora de la innovación tecnológica industrial y por lo tanto un aumento de la competitividad de la industria y del nivel de vida de los países. Sin querer indicar que ello no tenga una cierta relación, es evidente que existen otros muchos aspectos en la innovación tecnológica que al lado de la eficiencia de I+D pueden incidir positiva o negativamente sobre aquélla.

La determinación de la «eficiencia» requiere establecer, de alguna manera, una relación entre los recursos suministrados y los resultados recibidos en un determinado periodo de tiempo. Esta definición ya plantea un difícil problema cuando la deseamos aplicar a I+D, ya que si bien es relativamente fácil determinar los recursos para un periodo determinado, es difícil el valorar los resultados ya que éstos se pueden manifestar en periodos de tiempo desconocidos, lo cual dificulta el establecimiento de determinados «ratios». De otra parte, existe el problema acerca de «*qué indicadores se van a elegir para evaluar los resultados*».

Además, es evidente que las distintas áreas científicas o tecnológicas pueden necesitar indicadores diferentes y que por otra parte, la eficiencia debe considerarse dentro de la misma área y no es posible la extrapolación.

11.2.1. Evaluación de la eficiencia de I+D en la Universidad

Dado que como profesor universitario me he encontrado con este problema, me parece oportuno el indicar qué se viene haciendo o se puede hacer en las universidades que desean medir la eficiencia de los equipos de I+D en los laboratorios de sus departamentos, centros de investigación o institutos universitarios.

Que yo tenga conocimiento, más que una medida de la eficiencia mediante «ratios», lo que suele efectuarse es una valoración de los resultados. Estos suelen servir de base, en algunos casos, para el reparto de determinadas asignaciones económicas, como por ejemplo, los Fondos de Investigación Universitaria (FIU), en el caso de España.

Dentro de la investigación no efectuada bajo contrato, en la mayoría de laboratorios se hace, principalmente, investigación básica o aplicada, presentándose los trabajos en congresos, seminarios y revistas especializadas en las distintas áreas del conocimiento. El tipo y número de trabajos anuales constituyen la base de evaluación de resultados más comúnmente empleada. Las comunicaciones vienen afectadas por unos índices, obtenidos por consenso en las Juntas de Investigación Universitaria, premiando más aquellas publicaciones efectuadas en revistas de calidad contrastada, extranjeras o nacionales, que en las otras. Por ejemplo, el *Science Citation Index (SCI)* es un indicador obje-

tivo con un alto grado de representatividad de la actividad investigadora dentro de áreas específicas del conocimiento. Sin embargo, el SCI no cubre algunas áreas tecnológicas y las universidades de este tipo deben introducir aquellas que están omitidas, a fin de no establecer discriminaciones entre las materias impartidas en ellas. Dentro de este tipo de evaluación, también se incluyen la participación en congresos, autoría de libros de investigación, tesis doctorales, patentes, ingresos en academias, etc. Estas actividades también se valoran con índices, según su reconocida importancia. En algunas universidades españolas y extranjeras también se consideran, a efectos de evaluación, el número de veces que los autores son citados en la bibliografía de otros trabajos pertenecientes a su área científica o tecnológica.

Además, la consideración de la universidad no sólo como fuente de conocimiento, sino también de servicio a la sociedad, ha influido notablemente en el establecimiento de contratos entre esta con determinados organismos nacionales (CICYT) y supranacionales (UE), así como con la industria. En estos casos, dado que es difícil establecer un módulo de relación entre una publicación científica y un contrato, generalmente evaluado en euros, para obtener un sumatorio de puntos que permitan establecer una escala de resultados obtenidos por los diferentes laboratorios o departamentos, es necesario separar las dos fuentes de actividad.

Ejemplo de lo anterior puede apreciarse en los criterios de evaluación de la actividad investigadora o «productividad» que se siguen actualmente en la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), que resumimos a continuación.

Los indicadores de investigación y de transferencia de tecnología se han separado y son denominados *PAR* y *PATT* respectivamente. Los *PAR* incluyen los puntos obtenidos durante los tres últimos cursos según la actividad de investigación y se desglosan en tipos I y II, perteneciendo a los primeros las actividades de investigación de calidad contrastada y, por tanto, son más valorados. Los *PATT* se basan en el volumen de ingresos obtenidos por convenios, proyectos europeos, financiación pública, etc., y su valor corresponde a los tres últimos años según una determinada proporción que disminuye del año actual hasta el último del periodo considerado.

La Tabla 11.1 muestra un resumen de los criterios adoptados.

Es evidente que un sistema de este tipo presenta deficiencias entre las que deseamos destacar como más significativas las siguientes:

- Todas las áreas científicas o tecnológicas se evalúan con el mismo criterio. No se establecen diferencias entre investigación básica o aplicada, lo cual podría ser conveniente según la política de investigación a llevar a término por la universidad.
- La evaluación se efectúa sobre el número y la calidad de las publicaciones, sin tener en cuenta, en la mayoría de los casos, el número de investigadores que han tomado parte, con lo cual los grandes departamentos

Tabla 11.1.

Tipos	Nombre de la actividad	Valor
I	Actas de Congresos. Abstracts	4
II	Actas de Congresos. Abstracts	2
I	Actas de Congresos Notables	16-24
I	Artículos Revistas Notables	16-24
II	Artículos Revistas Divulgación	2
II	Artículos Revistas Científicas	4
I	Capítulos Libros de Investigación	4
I	Edición Libros Investigación	12
II	Capítulos Libros tipo II	2
II	Edición Libros tipo II	4
I	Autoría Libros de Investigación	24
II	Autoría Libros tipo II	8
I	Patentes registradas	12
I	Premios	2-12
II	Organización de Congresos	6
I	Autoría de Tesis	4-12
I	Tesis leída fuera de la UPC. Apto	2
I	Tesis leída en la UPC. Apto	4
I	Tesis leída en la UPC. Notable	6
I	Tesis leída en la UPC. Excelente	8

se llevan el bocado del león en el reparto de las aportaciones económicas de las investigaciones no contratadas.

- No se tiene en cuenta si existen áreas preferenciales de investigación que deben potenciarse más que las otras.

A pesar de estas deficiencias, que creo subsanables, considero que es mejor tener una evaluación de este tipo o similar que no poseer ninguna, ya que ello sirve de estímulo y, además, permite el poseer unos datos estadísticos que sirven para conocer el avance o retroceso de cada laboratorio o departamento con relación a su producción científica o tecnológica.

11.2.2. Evaluación de la eficiencia de I+D en la empresa

Cuando la medida de la eficiencia se plantea en el ámbito de la I+D de la empresa el problema varía, ya que la misión de I+D en la mayoría de las empresas no es la de hacer ciencia o divulgar conocimientos científicos en congresos o seminarios, aunque muchas veces se participe en estos por motivos de imagen innovadora, comerciales, o de otro tipo, sino la de buscar soluciones realistas a los problemas que plantean la creación o mejoramiento de los

productos o de los procesos, teniendo en cuenta que I+D es una de las etapas del proceso de la innovación tecnológica y que sus soluciones se deben encontrar en concordancia con la política general de la empresa y de acuerdo con producción y marketing. Volviendo al concepto de eficiencia como una *ratio* entre los recursos recibidos y los resultados obtenidos conviene el plantear qué vamos a considerar como recursos y qué como resultados.

Los recursos asignados que pueden considerarse como indicadores son abundantes, por ejemplo, inversión en I+D, inversión en enseñanza científica, número de científicos e ingenieros, etc. Sin embargo, F. M. Andrews y col.⁽¹⁾ han encontrado poca relación entre estos tipos de recursos y la eficiencia de I+D en un estudio efectuado en seis países; más importantes en su efecto sobre la eficiencia de I+D fueron ciertas características sociológicas, psicológicas y organizativas tales como la personalidad y habilidad del director de investigación, la satisfacción de los investigadores con su trabajo y la relación con sus colegas. P. Wallace y col.⁽²⁾ relacionan la eficiencia de los grupos de I+D con el tiempo en que los miembros de grupo trabajan juntos, mostrando que la eficiencia aumenta hasta un periodo de 4-5 años para después declinar; esta apreciación hace que muchas empresas no mantengan los mismos investigadores durante un número excesivo de años en un mismo equipo y el que estos se vayan renovando con investigadores más jóvenes que aporten nuevas ideas para rejuvenecer el equipo y, por lo tanto, su creatividad y eficiencia.

Engerman⁽³⁾ indica que hay efectos tales como «aprender por la experiencia» que son difíciles de cuantificar y que sin embargo pueden considerarse como recursos asignados de gran importancia. Como consecuencia de todo lo expuesto, es difícil efectuar firmes recomendaciones acerca de qué tipos de indicadores deben de utilizarse como medida de los recursos recibidos, siendo necesario y aconsejable el investigar más sobre este tema.

Los indicadores de resultados aún están menos desarrollados que los correspondientes a los recursos asignados. Los U.S. Science Indicators informan acerca de las patentes y análisis de las investigaciones científicas y tecnológicas, pero al mismo tiempo, los autores indican que «es imposible cuantificar con precisión los resultados de la investigación o determinar el avance del conocimiento que produce un aumento de los fondos dedicados a I+D»⁽⁴⁾. Sí puede observarse, que si se establece como eficiencia el número de patentes obtenidas por un millón de \$ de inversión, los resultados son más favorables a la industria (1.87) que a los centros gubernamentales (0.37). Fusfeld H. I. ha sugerido que como medida de la eficiencia de la inversión en I+D se podría considerar el coste por los diferentes profesionales empleados en cada sector y su variación en un periodo de tiempo⁽⁵⁾.

Ante una difusa situación como la indicada para la medición de la eficiencia de I+D parece aconsejable el resumir la situación de la forma siguiente:

- A. Es necesario profundizar más acerca de los indicadores a seleccionar para valorar, tanto los recursos como los resultados de I+D.

- B. No es previsible que un sólo indicador pueda cuantificar la eficiencia de la I+D, dado los distintos factores que inciden en ella, algunos difícilmente cuantificables.
- C. Los indicadores deben de utilizarse más que como un valor absoluto, como un marco para establecer un análisis comparativo de la evolución de la I+D dentro de cada área tecnológica o equipo de I+D.

11.3. Evaluación de la eficiencia en la innovación tecnológica

Tal como ya indicamos, la innovación tecnológica la definimos como el proceso de nos permite «la introducción, por primera vez en el mercado, de productos o procedimientos nuevos o mejorados que alcanzan plena realización práctica, industrial y comercial». La innovación tecnológica no es una acción simple, sino la totalización de una serie de procesos interrelacionados que tienen como objetivo el cambio tecnológico y que representamos de forma esquemática

$$Idea + I+D + Producción + Marketing = Innovación$$

Por ello, es evidente que si deseamos establecer la eficiencia global del proceso, la innovación, tengamos que preguntarnos cuáles son las acciones que permiten el obtener una innovación eficiente y cómo podemos evaluarla. Dada la complejidad del proceso, y teniendo en cuenta el ámbito de este texto, el centrar su contenido en algunos aspectos importantes del problema que nos ayuden a simplificarlo, sin perder por ello cierta rigurosidad en los aspectos esenciales. De acuerdo con este planteamiento, los dos aspectos que consideramos más importantes son:

- A. Una edecuada evaluación de un proyecto de innovación tecnológica.
- B. Un sistema de evaluación de la eficiencia de la innovación tecnológica.

La evaluación de los proyectos de innovación tecnológica ya fue comentada en el Capítulo 7 (7.3, págs. 134-135) y por lo tanto, remitimos al lector a lo que allí dijimos. Abordaremos pues, la segunda parte del problema.

11.3.1. Evaluación de la eficiencia

La evaluación de la eficiencia de la I+D dentro del conjunto de la innovación tecnológica, es un problema complejo y en cierto modo subjetivo ya que todo producto o proceso requiere, una vez obtenido por I+D, el concurso de producción, marketing y ventas para introducirse y consolidarse en el mercado. Los beneficios o pérdidas generadas pueden ser calculados, pero es difícil asignar una cuota participativa a cada uno de los componentes del equipo

innovador que represente con fiabilidad la contribución de cada uno al resultado obtenido. Por ello se adopta, en la mayoría de los casos, hacerlo de forma global para el conjunto innovador, estableciendo, eso sí, las correspondientes diferenciaciones por líneas de productos o por productos, que permitan conocer cuáles son más o menos rentables o eficaces.

Es generalmente aceptado por las empresas que poseen una estructura innovadora y un control de la innovación, que es conveniente disponer de algún sistema de evaluación de su eficiencia innovadora, con el cual más que buscar unos balances contables de la rentabilidad, se obtengan unos índices que actúen como orientadores de la tendencia evolutiva de la eficiencia innovadora y que sirvan de bases de comparación entre diferentes líneas o productos.

De acuerdo con este punto de vista, la técnica de evaluación debe sujetarse a unos principios generales que han sido deducidos del análisis de los diferentes métodos implantados en las empresas que tienen establecido este tipo de control. En general, estos principios suelen enunciarse de la forma siguiente:

- A. Seleccionar una base cuantificable como medida del éxito/fracaso. Por ejemplo: valor de los productos obtenidos, margen bruto, beneficio neto, etc.
- B. Enunciar el modo de evaluar el éxito/fracaso obtenido de manera que sea fácil de comprender por los directivos de la empresa.
- C. Efectuar la evaluación a largo plazo y a intervalos fijos. El plazo suele escogerse entre tres a cinco años, a fin de evitar las oscilaciones bruscas que se pueden producir cuando los periodos son cortos.
- D. Tener bien presente que no se trata de establecer un balance de pérdidas/ganancias, sino el conocer la tendencia del proceso innovador en la empresa para prever actuaciones futuras.
- E. Conjuntamente a la evaluación cuantitativa, también deben sospedarse la influencia de la innovación en aspectos difícilmente cuantificables tales como: imagen innovadora de la empresa en el interior y exterior, grado de tecnificación de los productos o procesos, mejoramiento del conocimiento técnico en el interior de la empresa, etc.

Tomando estas consideraciones generales como guía, es evidente que cada empresa puede montar su sistema de evaluación de acuerdo con sus características, y que por lo tanto las soluciones pueden ser variadas.

Los métodos empleados por la industria para evaluar la innovación oscilan entre las simples proporciones y los sistemas complejos. Los principales enfoques en la evaluación pueden agruparse en cuatro grupos: 1) proporciones o coeficientes; 2) *Cash-Flow*; 3) valoraciones del coste de los proyectos; 4) balance del resultado de la innovación. Existen variantes de cada tipo y son los más utilizados por la mayoría de la industria americana.

En la aplicación y análisis de algunos casos, en industrias pequeñas y medianas, hemos podido apreciar que pueden existir tres amplios grupos en donde se pueden encuadrar la mayoría de los proyectos a evaluar:

- Proyectos de nuevos productos.
- Proyectos de mejora o de nuevos procesos.
- Proyectos de mejora de productos.

En todos los proyectos debe llevarse una contabilidad de la inversión efectuada, de tal forma que se pueda, durante el transcurso del tiempo de duración del proyecto, conocer la situación de su coste con relación a lo presupuestado, controlando las desviaciones que se produzcan y actuando en forma conveniente cuando estas sean elevadas. Al final del proyecto se tendrá el coste total del mismo. En algunas empresas, los costes no se llevan por proyecto de producto o de proceso, sino por líneas de productos o procesos industriales, en cuyo caso, la evaluación de los «beneficios» debe efectuarse por línea industrial; es evidente, que en este caso se pierde información en relación con cada proyecto específico, por lo que si estos son importantes, no es aconsejable el sistema. Con relación a los costes globales de un proyecto de innovación tecnológica, se está de acuerdo en incluir todos los referentes a I+D, ensayos en producción y en clientes hasta que el producto o proceso pueda considerarse como terminado por el equipo de innovación, pero se presentan algunas discrepancias de criterio acerca de si deben o no incluirse los costes derivados de una nueva instalación industrial para llevar a término el proyecto, ya que sin esta la innovación no podría materializarse. Aunque parece razonable que estos debieran incluirse, hay quienes opinan que esta inversión no debe contabilizarse en el coste de la innovación tecnológica.

La evaluación de la eficiencia innovadora presenta modalidades diferentes en los tres casos indicados anteriormente, y posiblemente existen otras modalidades a las presentadas. No obstante, si nos atenemos a estas, las propuestas que hemos llevado a la práctica ⁽⁶⁾ se pueden concretar de la manera siguiente:

11.3.1.1. Proyectos de nuevos productos

Conocido el coste del proyecto (C), se contabiliza el margen bruto (Mb) o los beneficios (B) producidos durante un periodo entre tres y cinco años, a partir de su introducción en el mercado; sucesivas modificaciones del gasto, por ajustes del proyecto, se incorporan en los tres y cinco años. Un Índice de Eficiencia (IE) se puede obtener por la relación:

$$IE = \frac{Mb}{C} \times 100$$

El IE representa el MB producido por cada 100 pesetas invertidas en el proyecto de innovación tecnológica. La evolución de este índice en el transcurso de los años sucesivos, nos da una idea de si el producto tiene aceptación o no en el mercado, y ello nos debe llevar a las oportunas reflexiones para considerar nuevos proyectos de innovación. Este mismo criterio puede ser aplicado a un área de productos, en cuyo caso los componentes de la fracción son la suma de los gastos de todos los proyectos y la suma de todos los márgenes brutos de todos los productos; ello permite el comparar la eficiencia entre diferentes líneas de productos y obrar en consecuencia para futuras decisiones en la aplicación de recursos a cada línea. A título de ejemplo, indicamos algunos valores reales de los IE de diferentes líneas y su evolución durante los años 1986-1990 en una empresa de productos químicos con investigación propia en cada línea.

Índices de eficiencia

LÍNEAS	1983-87	1984-88	1985-89	1986-90
A	870	980	1100	1500
B	350	490	590	580
C	1820	1190	640	1240
D	2830	2280	2510	3490

De acuerdo con estos resultados, puede apreciarse que la línea B es la que produce una eficiencia más baja con tendencia a mejorar; la A muestra una tendencia franca a mejorar, sobrepasando a la C a partir del periodo 1985-1989. La que da mejores resultados es la D. Todo ello, convenientemente analizado, tal como se hizo en este caso, llevó a tomar medidas que rectificaron el rumbo de la innovación en cada línea a fin de conseguir mejores resultados.

11.3.1.2. Proyectos de mejora o de nuevos procesos

En estos proyectos, es posible el aplicar un sistema similar al anterior, pues una vez terminado el proyecto y conocido su coste, se puede analizar el impacto económico del proceso mejorado o del nuevo por unidad de producto producido, y de acuerdo con ello, establecer un índice similar al indicado para los productos. En el cálculo del índice de eficiencia pueden presentarse dos casos:

La mejora de proceso se traduce en una reducción de costes de fabricación sin modificar la calidad del producto. En este caso, la diferencia entre el margen bruto nuevo (Mbn) y el antiguo (Mba) por unidad producida, multiplicada por el número de unidades producidas Up en el periodo de tiempo considerado, tres o cinco años, a partir de la aceptación del nuevo proceso es lo que se

considera como aportación del proceso mejorado por la innovación tecnológica. El IE puede evaluarse mediante la fórmula:

$$IE = \frac{(Mbn - Mba) \times Up}{C}$$

La mejora del proceso no modifica sensiblemente su coste pero el proyecto se ha efectuado para obtener una mejor calidad del producto. El cálculo del IE es más problemático, ya que no se puede cuantificar bien el impacto de esta mejora en el aumento de ventas, en la mejor imagen de la empresa, etc. Para ello, proponemos otro tipo de estimación subjetiva que analizaremos al comentar la mejora de productos ya que el objetivo final del proyecto de innovación ha sido mejorar el producto.

Sin embargo, es bastante frecuente el que en estos proyectos, principalmente los de nuevos procesos, que normalmente requieren inversiones en activos fijos, se calcule su rentabilidad *a priori*, es decir, en el estado inicial del proyecto, procediéndose a un seguimiento de su coste durante su desarrollo.

11.3.1.3. *Proyectos de mejora de productos*

En estos casos pueden adoptarse dos tipos de evaluación:

- A. Establecer en IE similar a los anteriores, con la idea de evaluar si la mejora introducida ha tenido impacto sobre la venta del producto antiguo. Para ello, se propone el calcular la diferencia entre el Margen Bruto Promedio por unidad vendida (Mbprm), de un periodo comprendido entre 3-5 años anterior a la mejora del producto y el Margen Bruto por unidad vendida (Mbm) del producto mejorado, multiplicada por el número de unidades vendidas U_v en el periodo de tiempo considerado, entre 3 y 5 años. El IE puede establecerse por la fórmula:

$$IE = \frac{(Mbm - Mbprm) \times U_v}{C}$$

- B. Establecer unos criterios de evaluación ponderados, de tal forma que abarquen aquellos aspectos más importantes que nos pueden indicar si el impacto del producto mejorado es o no apreciado en la empresa y en el mercado. A cada criterio se la asigna un valor entre 1 y 5, según se considere por los evaluadores el impacto producido; la suma de los puntos asignados nos indicará, subjetivamente, el impacto del producto mejorado.

Los tipos de criterios que suelen escogerse deben de estar en relación con aquellos aspectos que puedan considerarse que tienen mayor impacto en el

interior o en el exterior de la empresa y pueden ser varios, según el tipo de producto y empresa. A título de ejemplo y para un producto de uso textil, se escogieron por una productora de fibras los siguientes criterios:

- a) Grado de apreciación de la mejora por los clientes.
- b) Incidencia en la competitividad con otros suministradores.
- c) Necesidad de la mejora para evitar la pérdida de mercado.
- d) Repercusión en reclamaciones.
- e) Incidencia de la mejora en la producción.
- f) Incidencia en la imagen de la empresa.

El IE se estableció en este caso por la fórmula siguiente:

$$IE = \frac{\text{Puntos totales}}{C}$$

Como resumen de todo cuanto hemos expuesto podemos indicar que la evaluación de la IE de la I+D en la empresa presenta dificultades, ya que la labor de esta no puede considerarse aisladamente sino formando parte de un conjunto para conseguir la innovación tecnológica en la empresa. Por otra parte, al evaluar esta no podemos hacerlo con un criterio estrictamente contable, sea cual sea el método escogido, sino más bien con un criterio de tipo comparativo que nos permita evaluar la marcha de la innovación tecnológica para tomar las decisiones adecuadas en el mejoramiento de la misma.

Bibliografía

1. Andrews F.M. col. Cambridge University Press, 1979.
2. Wallace P. col. Michigan University, 1962.
3. Engerman S.L. «Measuring Science and Technology», no publicado, 1980.
4. Science Indicators, 1978, pág. 14.
5. Fusfeld H.I. «Innovation and USA Research», 1980.
6. Cegarra J. *Comunicación privada*, Barcelona, 1992.

Otras obras de consulta

- Robert E. Seiler, *Efectividad en la Investigación y el Desarrollo*, Edit. Labor S. A., Barcelona, 1974.
- Brian Twiss, *Managing Technological Innovation*. Edit. Pitman Publishing Ltd., London, 1974.
- President's Direct R&D System Control Checklist*. Edit. The international Technical Information Institute, Tokyo, 1980.

Control de los proyectos de investigación

12.1. Introducción

Las enormes cantidades de dinero que se dedican a los proyectos de investigación e innovación y el carácter dinámico de estas actividades, ha hecho necesario, por parte de las direcciones, establecer un determinado tipo de control que permita conocer la situación de los proyectos, tanto desde el punto de vista de la consecución de sus objetivos científicos o técnicos, de la idoneidad de la estructura concebida al iniciar el proyecto para llevarlo a término, así como de la situación de la financiación asignada y del tiempo para realizarlo.

Los controles bien establecidos son tanto más eficaces en la medida que influyen positivamente en la manera de actuar los equipos investigadores y cuando las normas sobre las que se basan se han establecido de acuerdo con las personas dedicadas a este oficio. Por otra parte, la eficacia de un control no es nunca absoluta, pero resulta tanto mayor cuanto más sencillos son los medios empleados para llevarla a término. Una encuesta en la industria americana sobre el control de los proyectos, mostró que el 87% de las empresas ejercían algún tipo de control y sólo el 13% no efectuaba ninguno.

Todos los sistemas de control están basados en el reconocimiento de la situación tal cual es en el momento de ejercer el mismo, en comparación con la prevista cuando se dio luz verde a la ejecución del proyecto. Por ello, los componentes del sistema de control deben tener una cierta correspondencia con los que formaban el equipo para la autorización del proyecto. Es decir, si el proyecto se inició porque el director de investigación tiene autoridad para aceptar o rechazar proyectos, el proceso de control le corresponde a él, pero si se otorga a un comité el encargo de autorizar o rechazar los proyectos, a este le corresponderá el control. La acción del control se justifica cuando existen variaciones entre lo esperado y la situación real del proyecto, lo cual ocurre en

la mayoría de los casos. Por ello, para constatar estas variaciones es absolutamente necesario que en la planificación inicial del proyecto se hayan fijado unas etapas de tipo científico o técnico, que relacionen el tiempo y los costes de cada una de ellas. En muchos casos esto no es posible, lo cual hay que tener en cuenta al fijar los sistemas de control.

La periodicidad en el establecimiento de los controles es muy variable dependiendo del tipo de proyecto y del área de conocimiento en donde puede encuadrarse. Por lo general, suelen ser mensuales, trimestrales o semestrales, tanto más próximas cuanto más dinámica es la evolución del conocimiento, la técnica o el mercado.

12.2. Aspectos que se revisan en el control de proyectos de I+D

12.2.1. La revisión científica o técnica

La dinámica de la evolución del conocimiento hace necesario que se revise, en unos periodos determinados, si la situación original del conocimiento al iniciarse el proyecto ha variado y si esta variación puede suponer el replanteamiento parcial o total del objetivo del mismo. Las técnicas más frecuentemente empleadas suelen ser: informes escritos, presentaciones orales en donde se discuten diferentes aspectos del proyecto, reuniones de seminario, etc. En estas reuniones es aconsejable la participación de los informadores científico, técnicos o comerciales, según el tipo de proyecto que se revisa.

12.2.2. La revisión del potencial humano y del equipo material

Consecuencia de lo anterior, es necesario conocer si el equipo humano y el material asignado necesitan ser modificados en qué componentes y número, según la etapa del proyecto objeto de la revisión.

12.2.3. La revisión del tiempo de terminación y del coste

La revisión científica y técnica puede variar el tiempo de terminación del proyecto, requiriendo unas modificaciones del coste previsto.

12.3. Sistemas de control de proyectos de I+D

Dado que existen muchos tipos de proyectos de I+D, resulta difícil el abarcar las diferentes posibilidades que se pueden presentar. Por ello, centraremos esta exposición en dos tipos de posibilidades. Las de aquellos proyectos de los que se conocen *a priori* las etapas seguir, en los cuales se pueden evaluar las

variaciones existentes, tal como hemos indicado anteriormente, y las de aquellos otros en donde no es posible definir de una manera concisa las etapas de su desarrollo, debido a su incertidumbre.

12.3.1. Proyectos donde se conocen las etapas a seguir

Partiendo de que en la planificación del proyecto se han evaluado los tiempos y recursos necesarios para cada etapa, nuestra experiencia se ha encontrado con dos tipos de situaciones.

En una de ellas, se da una asignación global para el proyecto y se controla el tiempo en que se desarrolla cada etapa, por parte del director del proyecto o del equipo investigador. Ello suele suceder con muchos proyectos subvencionados por las Administraciones en donde existe un jefe de proyecto o coordinador, el cual suele enviar al organismo subvencionante una memoria de la situación, en unos periodos de tiempo fijados.

En estos casos suele utilizarse de un gráfico Gantt en donde se va siguiendo si el proyecto se encuentra adelantado o atrasado con respecto al tiempo estimado en la planificación. Como ejemplo podemos citar un proyecto de la Comisión Científica y Técnica (CICYT) (Figura 12.1), en el cual se muestra el gráfico Gantt de su planificación en el tiempo⁽¹⁾.

En el segundo caso, al final de cada etapa se efectúa un control del tiempo empleado y de los recursos empleados. Esta manera de proceder es muy frecuentes en la industria, pues la dirección necesita conocer, de acuerdo con su sistema de control:

- a. El progreso de cada etapa en términos de duración y tiempo.
- b. Identificar aquellas etapas en las cuales la situación está por debajo de lo esperado y el efecto que ellas tendrán sobre el desarrollo total del proyecto.
- c. Medir el progreso del total del proyecto en relación a lo planificado en coste y duración.

La Tabla 12.1 muestra una estimación del control y progreso de un proyecto⁽²⁾.

Según Brian Twiss⁽²⁾, estos datos es mejor representarlos en forma de gráficos de: a). Coste acumulativo y tiempo, b). Progreso técnico y coste, c). Progreso técnico y tiempo. La Figura 12.2. muestra los tres casos indicados.

Es aconsejable el dibujar estos tres gráficos ya que ellos dan diferentes apreciaciones de la marcha de los proyectos. En el Proyecto 1, según se aprecia en la Figura 12.2 (a), el proyecto está gastando más de lo planificado, lo cual puede ser interpretado como insatisfactorio. Sin embargo, la Figura 12.2 (b) muestra que este mayor coste es debido a que el proyecto avanza técnicamente en relación con el coste. Posteriormente apareció un problema técnico

Diagrama de tiempos

Tarea	Primer año	Segundo año	Tercer año
1	3 Meses, determinar actividad enzimática		
2	3 Meses, fabricación de hilos y tejido		
3-4	1 Mes, lavado, secado y transporte del tejido		
6.2	1 Mes, planificación primer y segundo tratamiento enzimático		
6.2	2 Meses, tratamiento enzimático (primer y segundo tratamiento 20 expert.)		
8	1 Mes, 1.ª serie de acabados		
9	2 Meses, medida parámetros físicos		
5	1 Mes, tintura		
6.2	1 Mes, análisis estadístico		
8	1 Mes, 2.ª serie de acabados		
9	2 Meses, medida parámetros físicos		
6.2	1 Mes, 2.º análisis estadístico		
6.2	3 Meses, 2.º tratamiento enzimático		
8	1 Mes, 3.ª serie de acabados		
9	4 Meses, medición parámetros físicos		
7	2 Meses, observación microscópica		
10	Análisis estadístico final. Optimación	3 Meses	
11	Tratamiento enzimático tejido teñido	1 Mes	
11	Acabado del tejido teñido	0,5 Meses	
12	Determinar características tintores: color, brillo, solidez	3 Meses	
13	Discusión, conclusiones y redacción	6 Meses	

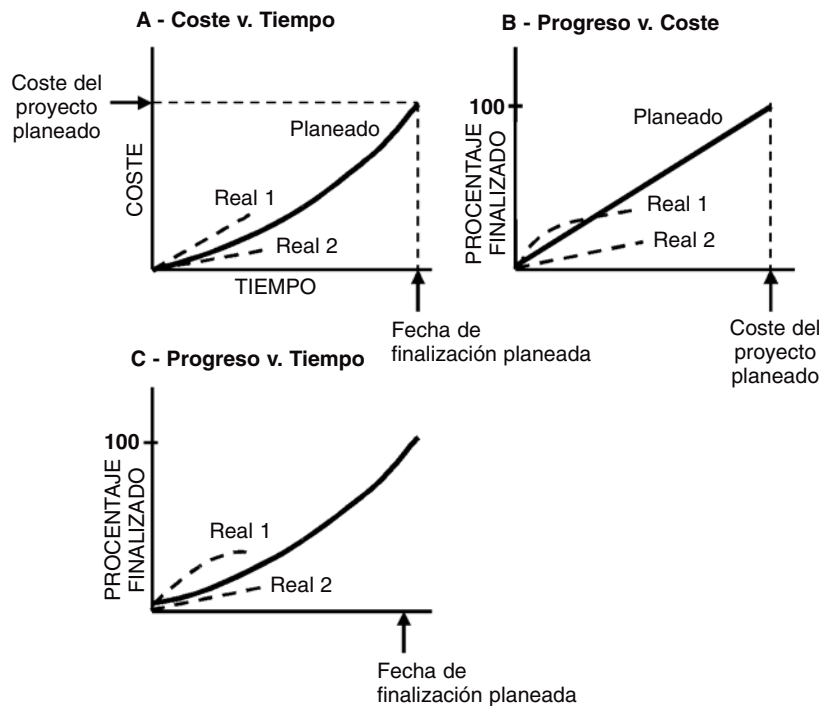
Figura 12.1. Gráfico Gantt de control de tiempo de un proyecto de I+D.

Tabla 12.1. Control del progreso de un proyecto de investigación

Etapas	Coste estimado (\$)	Coste de la etapa como % del coste total	Coste actual (\$)	Porcentaje de cumplimiento	Comentarios
A	10.000	20	10.500	100	
B	2.000	4	1.600	100	
C	7.000	14	5.000	70	
D	5.000	10	1.500	25	
E	6.000	12	5.000	10	
					Nueva estimación para el cumplimiento (\$)
F	5.500	11	—	—	
G	6.500	13	4.500	65	
H	5.000	10	1.000	10	
J	3.000	6	—	—	
Total	50.00	100	29.100		

% del proyecto completado = 20 + 4 + 14 + 10 + 12 + 11 + 13 + 10 + 6 = 47.

% del coste estimado gastado hasta la fecha = 58,2.

**Figura 12.2.** Gráficos de control de proyectos de I+D⁽²⁾.

que ralentizó el proyecto y el coste incrementó más allá de lo planificado para el progreso alcanzado. La Figura 12.2 (c) sugiere que el tiempo planificado todavía podía ser cumplido, si el problema técnico se resolviese rápidamente. El Proyecto 2 muestra una situación completamente diferente, pues ha progresado lentamente desde el principio. Aunque el gasto también es inferior al planificado, también el avance técnico es más bajo, ambos con relación al coste y al tiempo. Sea cual sea la causa de dicha situación, dirección inadecuada o dificultades técnicas, es aconsejable la terminación del proyecto en la fase actual.

12.3.2. Proyectos con poca definición de las etapas a seguir

Este tipo de proyectos suele aparecer en aquéllos en donde se desea obtener un elevado grado de innovación, tal como sucede con sistemas de defensa sofisticados, biología molecular, nuevas teorías científicas, etc. Según José Riverola y Beatriz Muñoz Seca⁽³⁾ los problemas comunes que se presentan son:

- Inestabilidad, con cambios frecuentes en las estimaciones de los costes y los tiempos.
- Dificultad de detectar las áreas críticas con antelación. Gran cantidad de puntos críticos variables.
- Dificultad en la estimación de los costes y de los recursos necesarios del proyecto.
- Los retrasos no se resuelven añadiendo nuevos recursos al proyecto.
- A menudo, la dirección cree que el proyecto no avanza con la suficiente rapidez.
- Frecuentes reuniones de revisión.
- Dificultades en la utilización de instrumentos de control (Pert...).
- Dificultades en indicar con antelación las actividades a desarrollar.

Estas situaciones son catalogadas por dichos autores como de *«incertidumbre estructural en la definición operativa»*.

En estos casos, la mejor solución es la *«delegación por confianza»*. La dirección da autoridad y plena confianza al director del proyecto y a su equipo, como consecuencia de que los conoce bien y sabe que pondrán todo su interés en la resolución del problema planteado⁽³⁾.

12.4. Cancelación de proyectos

Como consecuencia del control y revisión de los proyectos, se encuentran algunos casos en donde se prevé que el proyecto no puede alcanzar los objeti-

vos científicos o técnicos propuestos, o bien estos no se pueden conseguir de acuerdo con el coste y el tiempo propuesto, y por lo tanto el proyecto de I+D debe ser cancelado. De acuerdo con lo anterior, en la cancelación de proyectos pueden darse de dos casos: la que ocurre con proyectos desacertados y la que tiene lugar con proyectos acertados.

12.4.1. Proyectos desacertados

Ello puede ser debido a varias causas, entre las que podemos citar:

- El objetivo del proyecto no se propuso bien porque la información no era la adecuada para conocer, en el momento de la propuesta, el estado del conocimiento o del mercado en donde se desarrollaría el proyecto.
- Por falta de comunicación con la dirección, el proyecto no estaba en la línea de lo que la dirección deseaba, por lo que le faltó el apoyo de esta.
- La dinámica del sector fue tan rápida que la competencia obtuvo antes los objetivos propuestos en el proyecto. Esta circunstancia puede darse, mayormente, en proyectos que requieran un tiempo largo.
- Falta de colaboración entre I+D y producción o marketing para la resolución del proyecto.

12.4.2. Proyectos acertados

Entre las diversas causas podemos citar:

- La planificación no fue lo suficientemente ajustada en los costes y el tiempo de realización.
- Ante la disminución de los recursos destinados a I+D, la dirección puede considerar que los asignados a determinados proyectos serían más rentables aplicados a otros proyectos.
- En otros casos, coyunturas a escala mundial en el suministro y coste de materias primas pueden aconsejar la cancelación o aplazamiento del proyecto.
- La variación en los objetivos de la empresa pueden afectar a la cancelación de determinados proyectos para dedicar los recursos a otras áreas del conocimiento o del mercado.

En muchos casos, la cancelación de un proyecto de I+D suele ser difícil de adoptar, sobre todo si el equipo investigador estaba muy entusiasmado con el proyecto, ya que además, el personal investigador es muy reacio a abandonar un proyecto, pues siempre hay la esperanza de dar con la solución adecuada.

Por otra parte, cuando se domina un área del conocimiento científico, técnico o del mercado, los investigadores ofrecen una resistencia a dejarla para dedicarse a otra que no dominan tanto.

Bibliografía

1. Cegarra J., Riva A., Naik A., Pepió M. «*Aplicación de proteasas en el acabado de la lana*», Proyecto Investigación CICYT Mat95-0414, INTExTER (UPC), Tarrasa, 1998.
2. Twiss B. *Managing Technological Innovation*, 3th Edition, págs. 161-164. Edit. Pitman Publishing Limited, London, 1986.
3. Riverola J. Muñoz Seca B. *Implementación de proyectos de innovación: un paradigma y sus implicaciones*. Cap. 6, pág 136, de Escorsa P., Valls J. *Tecnología e innovación en la empresa. Dirección y Gestión*. Edit. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 1997.

Otras obras de consulta

- Dimitris N. Chorafas, *La investigación en la empresa*. Edit. Aguilar S. A., Madrid, 1964.
- Robert E. Seiler, *Efectividad en la investigación y el desarrollo*. Edit. Labor, S. A., Barcelona, 1974.
- Escorsa P, Valls J. *Tecnología e innovación en la empresa. Dirección y Gestión*. Edit. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 1997.

Estructuras de investigación y de innovación

13.1. Introducción

La forma como está estructurada la investigación, tanto en la universidad como en la empresa, ha ido experimentando modificaciones a lo largo del tiempo, de acuerdo con las necesidades que esta ha ido planteando. Sin remontarnos muy atrás, es evidente que el desarrollo del conocimiento científico y tecnológico desde mediados del siglo XIX hasta finales del siglo XX ha sido espectacular y por consiguiente las estructuras investigadoras se han ido modificando entre estos periodos. Así, al principio el investigador, como impulsor único de su quehacer, disponía de un pequeño laboratorio o taller, muchas veces en su propio domicilio, en donde efectuaba sus experiencias con unos elementos adquiridos personalmente o fabricados por él. Por ejemplo, se cita que Einstein escribió parte de su Teoría de la Relatividad en la cocina de su casa, si bien después dispuso de otros medios para ampliar dicha teoría. Por lo general, en un principio los investigadores disponían de pocos elementos y facilidades, y a pesar de ello fueron capaces de efectuar grandes descubrimientos científicos y tecnológicos en el siglo XIX, que han sido la base del gran avance experimentado en ambos campos en el siglo XX, denominado por José Manuel Sánchez Ron *El Siglo de la Ciencia*⁽¹⁾.

Si a finales del siglo XIX y principios del siglo XX la figura más corriente era la del investigador solitario, pronto se pensó que para lograr los avances del conocimiento científico y tecnológico de manera más rápida, era necesario la creación de institutos de investigación, tales como los creados en Alemania, Inglaterra, Estados Unidos, Francia, además del impulso dado a la investigación en las universidades. La creación de estos centros de investigación requería una cierta estructura organizativa, que sin frenar la libertad de acción de los investigadores, permitiera una acción conjunta más eficaz. De ello, aunque

muy brevemente, nos ocuparemos en este capítulo, a fin de dar al lector una visión general de la situación actual de la estructura investigadora en la Universidad, en los centros o institutos de investigación públicos y en las empresas. Nuestro referente será, en líneas generales y en los dos primeros casos, lo que acontece en nuestro país.

13.2. Estructura investigadora en la Universidad

La función investigadora de la universidad española, caracterizada por la elección libre en sus temas y con especial énfasis en la formación de investigadores, queda asignada a los departamentos y a los institutos universitarios, tal como quedó definida en Ley de Reforma Universitaria (LRU) de 1983.

En los departamentos, de acuerdo con la L.R.U. (Art. 33), los catedráticos y los profesores titulares tienen plena capacidad docente e investigadora y por lo tanto, la facultad de elegir libremente los objetivos de su investigación científica o tecnológica, sin tener que consultar al director del departamento. Por consiguiente, su estructura orgánica estable es muy reducida: catedrático, profesores titulares y ayudantes. Los objetivos, generalmente, se centran en el campo del conocimiento científico o tecnológico afín a las enseñanzas que imparten, en sectores muy especializados de las mismas. En general, el catedrático y los profesores titulares investigan conjuntamente en los mismos proyectos, aunque también pueden hacerlo en proyectos diferentes, ayudados por los estudiantes que hacen sus tesinas, tesis doctorales, u otros profesionales de plantilla de la universidad, o adscritos a determinados proyectos durante el tiempo que duren estos. La universidad favorece que los proyectos de investigación sean de tipo interdepartamental, pues de esta forma se puede profundizar más en el avance del conocimiento tanto científico como tecnológico; en estos casos, a cada grupo investigador se le asigna una parte del proyecto de investigación y se nombra un coordinador del proyecto, que suele recaer en el departamento y el investigador al que corresponde el mayor peso de la investigación. Es aconsejable que los directores de cada departamento tengan conocimiento de este tipo de acciones.

Dado que las asignaciones de la universidad para dotar a los grupos investigadores para tener un mínimo de personal auxiliar estable, para la adquisición de material fungible y para la compra de equipo, son meramente simbólicas, existen grandes dificultades para tener mínimas estructuras estables por parte de los grupos investigadores, los cuales deben recurrir a los programas autonómicos y nacionales, principalmente, para disponer de una financiación que les permita continuar sus líneas de investigación, lo cual no siempre es posible en determinadas áreas del conocimiento, no consideradas como prioritarias en dichos programas.

Los Institutos Universitarios (IU) fueron creados y pensados en la LRU (Art. 10) como unos centros de investigación científica y técnica, además de otras funciones, próximas a la industria. Sin embargo, no han sido muchos los

que se han creado después de dicha ley. Se rigen por los Estatutos de la Universidad a la que pertenecen y por su Reglamento. La estructura de los IU es de tipo funcional, ya que es la que mejor se adapta a su función investigadora, en los casos que se trate de investigación básica, básica dirigida o aplicada. Sin embargo, cuando los proyectos de investigación requieren la participación de varios laboratorios, lo cual es frecuente a medida que los proyectos son más complejos, se elige un responsable del proyecto, para su mejor coordinación, que suele recaer en el jefe de laboratorio que tiene mayor participación en el proyecto. Aunque los jefes de laboratorio poseen libertad para elegir los tipos de proyectos a efectuar, deben comunicar sus propuestas de contratos o convenios al director del IU, el cual debe autorizarlas, o efectuar observaciones, o cancelarlas si estas no caen dentro del marco de actividades del IU, o pueden crear conflictos internos por invadir áreas de competencia de otros laboratorios del centro. Los IU podrán tener carácter interuniversitario o ser de titularidad mixta, cuando las circunstancias así lo aconsejen. Como ejemplo de estructura de un IU incluimos el organigrama del IU INTEXTER de la Universitat Politècnica de Catalunya, de acuerdo con su Reglamento del 27/10/1989, en donde existen órganos de gobierno colegiados, la Junta y el Consejo del IU, y órganos de gobierno unipersonales del IU, el director, los subdirectores y el secretario, con las atribuciones que les confiere su Reglamento.

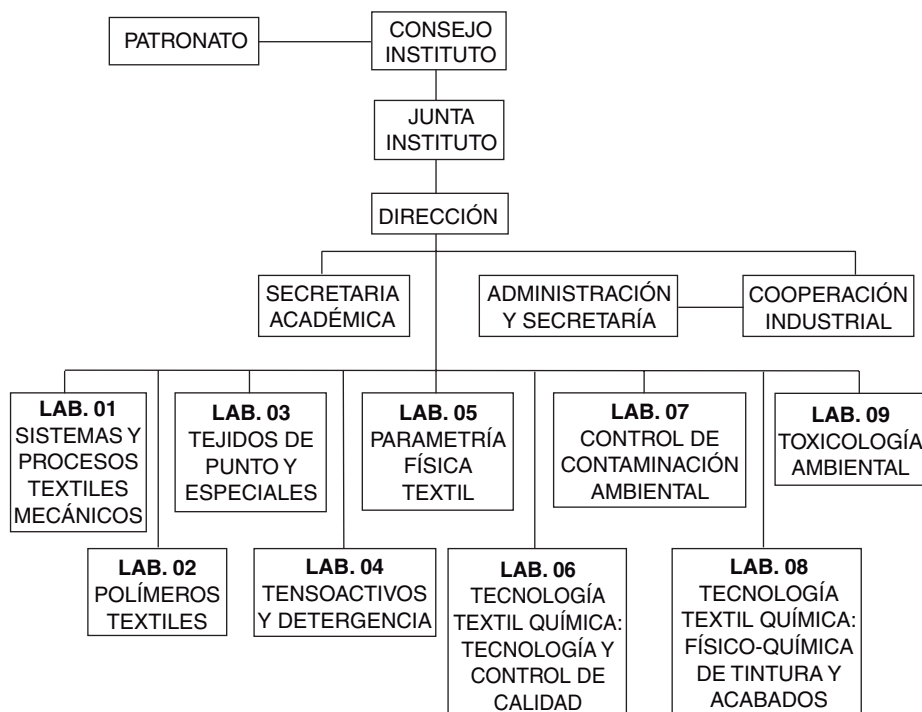


Figura 13.1. Organigrama del IU INTEXTER de la UPC.

13.3. Estructura investigadora del sector público

Como consecuencia de la importancia adquirida por la investigación en sus diferentes tipos y áreas del conocimiento, los entes públicos, Estados, regiones, autonomías, etc., según su respectivo ordenamiento, han considerado necesaria la creación y sostenimiento de centros de investigación públicos o mixtos, distintos de los universitarios. Los primeros dependen de los respectivos Ministerios afines a su especialidad, estando financiados por estos, y los segundos dependen de una dirección mixta sector público-sector privado, cuya financiación es compartida.

13.3.1. Centros de investigación públicos

La estructura de estos centros es diferente según los países y el objetivo para el que fueron creados. Aunque algunos ya existían a principios del siglo xx en Alemania, Francia, Inglaterra etc., las dos guerras mundiales de 1917 y 1939 dieron un gran impulso a la creación de muchos de estos centros, por desgracia con fines bélicos, si bien sus descubrimientos fueron posteriormente aplicados a fines civiles, como ocurrió con el radar y la energía nuclear.

De una manera general, estos centros se dividen en dos amplios grupos:

13.3.1.1. Centros o institutos dedicados a ciencias básicas

Son monodisciplinarios y su objetivo es el avance del conocimiento fundamental, dedicándose, por ejemplo a: física de altas energías, astrofísica, física del estado sólido, química-física, fusión nuclear, enzimología, biología molecular, neurobiología, matemáticas, etc.

Algunas de estas disciplinas tienen como objetivo el aumentar el conocimiento de, por ejemplo, cómo está constituida la materia o el universo donde vivimos; en este aspecto, su investigación es muy parecida a la que se efectúa en algunos departamentos universitarios, presentado el resultado de sus investigaciones en congresos, seminarios, etc. Sin embargo, en otras ramas científicas, sin prescindir de sus fines específicos, abren el campo a nuevos conocimientos que posteriormente se traducen en nuevas tecnologías, tal como ocurrió con la física del estado sólido, que fue la base para la invención del transistor de silicio, base, a su vez, para el desarrollo espectacular de las computadoras y otras aplicaciones informáticas.

13.3.1.2. Centros o institutos tecnológicos

Son multidisciplinarios y sus objetivos están centrados en producir ciencia y tecnología en un sector industrial determinado, que tenga interés para dicho sec-

tor a fin de hacerlo más competitivo y con repercusiones sociales. Por lo tanto, a diferencia de los anteriores, su temática no es libre y en muchos casos, bien de forma directa o indirecta, la investigación dentro de su sector debe de ser orientada a problemas muy específicos que sean de interés sectorial nacional.

Para lograr estos objetivos es necesario un buen contacto con la industria del sector, además de un buen conocimiento de la situación a escala mundial de los problemas a investigar, pues estos pueden estar resueltos en países más avanzados y para evitar el pago de *royalties*, es necesario buscar otras vías de solución a las ya conocidas. Además, es necesario el dotar a estos centros de un departamento de *Prospección tecnológica*, con la finalidad de que sus propuestas investigadoras se efectúen con horizontes a mediano y largo plazo, cuando ello sea posible.

La estructura multidisciplinaria es consecuencia del tipo de investigación que tienen que efectuar, pues la resolución de un problema de ciencia aplicada requiere la colaboración de varias ramas del conocimiento. Así, un programa de investigación aplicada en ultrasonidos requiere el concurso de un físico especialista en acústica, de un ingeniero eléctrico, de un matemático y de un ingeniero especialista en materiales. Una investigación en enzimología aplicada a los acabados textiles, requiere el concurso de un biólogo, de un químico especializado, de un matemático estadístico, de un ingeniero de procesos químico textiles y de un analista en propiedades físicas y químicas de materias textiles. La investigación biomédica para desarrollar nuevos fármacos contra el cáncer requiere la colaboración del biólogo molecular, del biólogo químico, del patólogo, del biofísico, del químico farmacéutico, del biotecnólogo y del oncólogo.

Para llevar a buen término los objetivos de estos centros, es elemento esencial entre su personal, el director. En el Capítulo 4, pág. 74, ya indicamos las características que debe poseer el jefe de un grupo de investigación, señalando como las más apreciadas, las de honestidad, competencia, visión de futuro e inspiración. E. Primo Yúfera⁽²⁾ indica que *«La dirección de un centro de investigación es una de las tareas más difíciles de la sociedad actual y su misión fundamental es crear el clima adecuado para que los equipos realicen un trabajo fecundo; al mismo tiempo, el director debe vigilar el correcto desarrollo de los programas y el mantenimiento de las líneas prioritarias del instituto. El clima de equilibrio entre estas dos situaciones es la clave del éxito o del fracaso y exige grandes dosis de trato humano, sobre todo con los científicos»*.

13.3.2. Estructura orgánica de personal

Aunque en otros países las estructuras pueden ser diferentes, a título de ejemplo, expondremos la estructura orgánica del personal de un centro o instituto del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) de España, de acuerdo con la última reglamentación aparecida en el Real Decreto 1945 del 1

de diciembre de 2000⁽³⁾, añadiendo algunas consideraciones que consideramos necesarias. Estos centros tienen una estructura de personal compuesta por órganos unipersonales y órganos colegiados.

Los órganos unipersonales son:

13.3.2.1. El Director

Para llevar a cabo su misión, el director si bien no debe inmiscuirse en la labor creativa de los investigadores, sí que debe supervisar los tipos de trabajos que se efectúan en el centro, a fin de que estos se encuadren en las líneas de trabajo propias del centro y no se diluyan en aspectos colaterales que conlleven a una pérdida de tiempo y de los recursos asignados. Por ello, deberá tener un conocimiento general suficiente científico-tecnológico, acerca de las diferentes facetas que dentro de una misma área de conocimiento pueden darse en su centro, pues ello es valorado muy positivamente por el equipo investigador. Cuando sea necesario deberá proponer, con el asesoramiento adecuado, los cambios de orientación necesarios para centrar la marcha del o de los proyectos de investigación, propuesta que deberá llevarse a término con firmeza y delicadeza, a fin de no producir desánimo en el equipo investigador.

Otras de sus funciones, y no menos importante que la anterior, es la de cuidar que el clima de trabajo sea distendido, procurando suavizar todas las acciones que puedan representar tensiones injustificadas entre él y sus subordinados y entre estos, ya que como hemos señalado en el Capítulo 12 (pág. 253), un buen clima de trabajo en todos los niveles, es necesario para obtener una buena productividad investigadora.

Otra función importante es la de representar a su centro ante el entorno científico, industrial y social, con el fin de dar a conocer la labor desarrollada de una forma asequible a cada una de las comunidades indicadas. Esta labor es hoy muy importante, sobre todo en el entorno industrial y social, ya que, por lo general, en nuestro país ha existido y aún hoy existe un desconocimiento de lo que estos centros y, en general la investigación, pueden aportar al desarrollo económico y bienestar social de los países.

Además de las funciones indicadas, también le corresponden las de velar por el correcto uso de las instalaciones, sus normativas de seguridad, distribuir entre los departamentos los recursos disponibles de todo tipo, etc.

13.3.2.2. Los Vicedirectores

Los vicedirectores son personas de soporte del director, el cual les establecerá las funciones que considere convenientes para el mejor funcionamiento del centro.

13.3.2.3. Los jefes de departamento

El departamento constituye la unidad estructural de investigación, al frente de la cual existirá su jefe correspondiente, propuesto entre el personal científico del mismo y designado por el director del centro. Corresponderá al jefe de departamento el supervisar el buen funcionamiento del mismo tanto desde el punto de vista científico como de personal. Será asistido por los investigadores responsables de cada proyecto.

13.3.2.3. El gerente

Será el responsable, bajo las órdenes del director, de la gestión económica y administrativa, de los servicios generales, de las compras, suministro de materiales y del mantenimiento de las instalaciones, así como del personal asignado a estos servicios y de la secretaría del centro.

Los órganos colegiados son:

13.3.2.4. La Junta del centro

Estará compuesta por todos los miembros de los órganos unipersonales y por representantes del personal igual a un tercio del total. Será presidida por el director del centro y será la encargada de elaborar los objetivos científicos y técnicos del mismo y las previsiones de recursos. Será informada de las propuestas del director e informará de los proyectos, contratos, etc., que se desarrollen en el centro, así como de aprobar la memoria anual de actividades. Propondrá una lista de candidatos para director del centro.

13.3.2.5. El claustro científico

Estará formado por el personal científico del instituto y presidido por el director. En él se discutirán los asuntos científicos, aprobará el programa científico de actividades, y, entre otras, informará razonadamente la lista de candidatos para director que le proponga la Junta del Centro.

13.3.3. Estructuras fijas

Están formadas por los departamentos y por los servicios. Dado el carácter multidisciplinar que requieren hoy los proyectos de investigación, tal como hemos indicado en 13.3.1.2, en los centros o institutos tecnológicos existen las unidades estructurales propias de la investigación, radicadas en los departamentos cuyo número y especialización varía con la especialidad propia del centro.

En los servicios se sitúan en instrumental científico de técnicas avanzadas que requieren un personal especializado y que ayudan a los departamentos en la solución que requieren algunos aspectos de sus investigaciones. Por ejemplo, un microscopio electrónico, un centro de cálculo potente, un taller mecánico o de vidrio, etc., los cuales dan sus servicios a todos los departamentos. Para algunos equipos de elevado coste y que pueden ser utilizados por varios centros, estos también se ubican en los servicios del centro que los utiliza con mayor asiduidad y a él recurren los otros departamentos de los otros centros.

13.3.4. Estructuras móviles

Los centros públicos tecnológicos con una estructura departamental fija, permitirían las investigaciones para la profundización en áreas del conocimiento, pero no serían adecuados para el desarrollo de proyectos tecnológicos más o menos avanzados que requieren el conjunto de varias disciplinas. Por ello, es necesario que para llevar a término estos proyectos se formen lo que se conoce como «Grupo de Proyecto». Este tipo de estructura organizativa está considerado como muy eficiente para que los proyectos se finalicen, dentro de lo posible, en cortos periodos de tiempo.

El grupo de proyecto está compuesto por investigadores de las distintas especialidades existentes en el departamento del centro, según las necesidades de cada investigación, que se agrupan durante el periodo de tiempo necesario para el desarrollo del proyecto y que, una vez finalizado este vuelven a sus respectivos departamentos. Durante este periodo el grupo de proyecto está dirigido por un jefe o coordinador del proyecto, nombrado por el director del centro, y que suele ser un investigador del departamento en el cual recae una parte muy importante para llevar a buen fin el proyecto. Sus atribuciones son las necesarias para que el equipo funcione adecuadamente y es el responsable ante el director del buen desarrollo del proyecto y el interlocutor con el exterior acerca del mismo.

13.4. Estructuras investigadoras en las empresas

Las estructuras investigadoras de las empresas han ido cambiando en el transcurso del tiempo y al analizar los organigramas de estas estructuras se puede apreciar la diversidad de situaciones que se dan, dependiendo del tamaño (multinacional, grande, mediana o pequeña), tipo de área tecnológica (tradicional, avanzada, puntera), situación que pretende alcanzar dentro de su sector productivo (líder, seguir al líder, copiar de forma inteligente), tiempo de su presencia en el mercado, etc.

En general, las empresas innovadoras han tenido sus inicios en estructuras muy simples. El empresario, generalmente una persona con estudios especiali-

zados, gran trabajador y con visión de futuro, actuaba como motor del cambio en colaboración muy directa con sus empleados, hasta lograr con éxito la aceptación de un nuevo producto o proceso por el mercado. Un ejemplo de esta forma de hacer lo podemos encontrar en la que hoy es una gran empresa como Motorola con más de 20.000 ingenieros y 147.000 personal de plantilla en todo el mundo. Según cuenta Robert Galvin⁽⁴⁾, hijo del promotor, los inicios de su padre fueron muy modestos como constructor de radios para coches. Como consecuencia de un viaje a Alemania en 1936, llegó al convencimiento de que Hitler declararía la guerra, y a su vuelta a Estados Unidos, se interesó por el sistema de comunicaciones del ejército americano, apreciando que era el mismo que usaron durante la Primera Guerra Mundial, o sea, el tendido de un cable telefónico desde las trincheras a la retaguardia. A través de una serie de consideraciones tuvo la idea de un transmisor portátil que quedó plasmada en el conocido como SCR 536, el popularmente llamado «*walkie-talkie*» de la Segunda Guerra Mundial. En la actualidad es el segundo constructor mundial de teléfonos móviles, teniendo divisiones industriales en los sectores de semiconductores, negocios de Internet, telecomunicaciones en la empresa, entre otros.

A partir del esfuerzo inicial con éxito y con el crecimiento de las empresas, ha sido necesario pensar en determinado tipo de estructuras organizativas que asegurasen el funcionamiento de la organización, una vez efectuados los cambios estructurales necesarios. Aunque cada empresa debe pensar cuál es el tipo de estructura innovadora que le conviene, las actualmente en vigor, con posibles cambios en el futuro, se pueden encuadrar en los tipos que exponemos a continuación. No obstante, hemos de indicar que cada tipo tiene sus ventajas e inconvenientes y que en muchos casos deben crearse estructuras mixtas para buscar un equilibrio.

13.4.1. Funcionales

Tal vez fue el primer tipo que se creó, copiando la estructura departamental de la universidad, o sea, por especialidades científicas o tecnológicas. Este tipo de estructura permite profundizar en el conocimiento de un área específica y es apropiada para proyectos de alta tecnología y está orientada para obtener resultados a largo plazo. La experiencia ha demostrado que este tipo de estructura no facilita la rapidez en la finalización de los proyectos de innovación tecnológica, pues falla la comunicación y el ajuste de tiempos que deben existir entre los diferentes laboratorios. Por lo tanto, no es aconsejable cuando el tiempo es un factor primordial para entrar con éxito en el mercado, por lo que no es conveniente para mercados muy dinámicos. La Figura 13.2 muestra un tipo de estructura funcional⁽⁵⁾.

Aunque las empresas no suelen efectuar investigación básica, en algunos casos este tipo de investigación se requiere como soporte para el avance del conocimiento tecnológico. En este caso, existen laboratorios dedicados exclu-

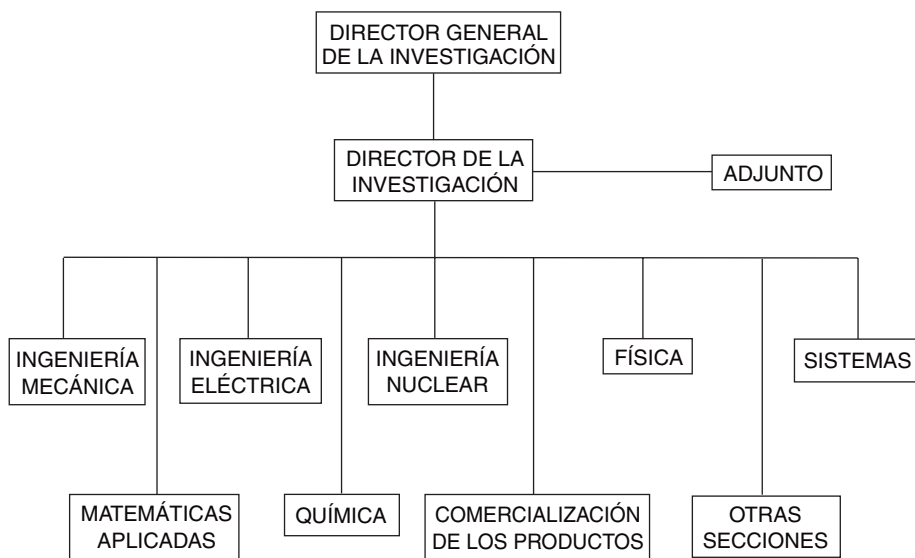


Figura 13.2. Estructura de I+D de tipo funcional.

sivamente a la investigación básica dirigida. Así, por ejemplo, en los laboratorios de la Bell Telephone existen algunos laboratorios dedicados a las ciencias físicas, y muy especialmente al estudio del electromagnetismo, física del estado sólido, teoría de la computación, etc. Como un ejemplo de los estudios de investigación básica dirigida, se puede citar el laboratorio de física del estado sólido, en donde en 1947-1948 W. Shockley, J. Bardeen y W. Brattian, estudiando los cristales de silicio, descubrieron que un cristal tenía una estructura análoga a la rejilla del triodo, al que llamaron «transistor». Este invento determinó el final del tubo termoiónico o válvula empleado en los computadores, ya que era más compacto, fácil de fabricar, más económico y no se gastaba. Este descubrimiento e invención se utiliza hoy en los «chips» integrados en los billones de microprocesadores que controlan, por ejemplo, motores de los coches, teléfonos celulares, misiles, computadores, máquinas herramientas, etc., produciendo una verdadera revolución tecnológica. Laboratorios de este tipo también tienen empresas como Dupont de Nemours, General Motors, Novartis, Kodak, Carl Zeiss, entre otras.

13.4.2. Por proyectos

Este tipo de estructura se pensó para disminuir el tiempo en la realización de los proyectos de I+D cuando estos requieren el concurso de varias especialidades. Los investigadores de cada especialidad están coordinados por un jefe de proyecto (*Product Manager* o *Project Manager*) el cual puede

o no pertenecer a uno de los laboratorios que colaboran en el proyecto, sin ejercer mando jerárquico sobre los investigadores que trabajan en él, los cuales siguen dependiendo de los jefes de los laboratorios de su especialidad, pero sí la responsabilidad profesional o técnica. Esta coordinación permite que el proyecto avance con cierta rapidez y cuando surgen los problemas entre el jefe de proyecto y el jefe de un departamento especializado, suele ser el Director de I+D el que debe actuar para resolverlo; por ello, el jefe de proyecto debe tener una cierta habilidad en su cometido a fin de evitar los conflictos que siempre perjudican la marcha de los proyectos. En este tipo de organización no se profundiza demasiado en las diversas tecnologías que intervienen en el proyecto, pero estos suelen acabarse con mucha aproximación en el plazo fijado y a los costes estimados. Los investigadores que intervienen en el proyecto forman un grupo de proyecto hasta la finalización o cancelación de este. Una vez que el proyecto ha finalizado, las personas se mueven hacia otros proyectos; según la carga de trabajo, una misma persona puede estar asignada a más de un proyecto. Este tipo de estructura puede considerarse como un estado intermedio entre la funcional y la matricial. En la Figura 13.3 se muestra el tipo de estructura por proyecto correspondiente a una empresa dedicada a la fabricación de fibras sintéticas de acrilonitrilo ⁽⁶⁾.

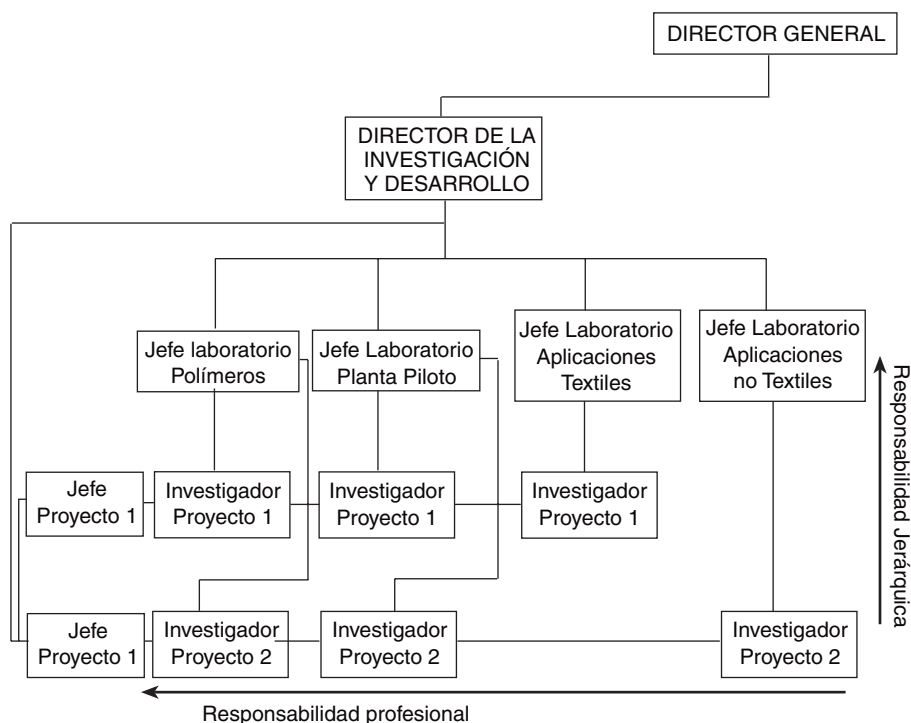


Figura 13.3. Estructura de I+D de tipo por proyecto.

13.4.3. Estructura matricial

Tal como hemos visto, los dos tipos de estructuras anteriores poseen sus ventajas e inconvenientes. La estructura matricial pretende tener las ventajas de la funcional y la de proyecto y obviar sus inconvenientes. Para ello debe tener la capacidad de profundizar en las tecnologías y hacer que los proyectos se terminen en un plazo determinado y a un coste aproximado al previsto. En este tipo de estructura, al jefe de proyecto le corresponde la responsabilidad jerárquica y al jefe del departamento la responsabilidad profesional. Mediante este intercambio de responsabilidades el proyecto de I+D avanza con más rapidez que en la estructura funcional, por estar el investigador adscrito al proyecto bajo la responsabilidad del jefe de proyecto, y además no pierde profundidad en el conocimiento tecnológico por encontrarse el investigador bajo la responsabilidad de su jefe de departamento. Al igual que en el caso anterior, la doble dependencia de mando del investigador puede presentar algunos problemas, dependiendo ello de la actitud de los jefes respectivos. En la Figura 13.4 se muestra un esquema de este tipo de estructura ⁽⁷⁾.

En cualquiera de las estructuras mencionadas para I+D, a medida que el proyecto avanza para entrar en su fase final innovadora, es necesaria la incorporación de los jefes de producción, marketing y finanzas, con lo cual en el caso de la estructura matricial, por citar un ejemplo, la organización global de

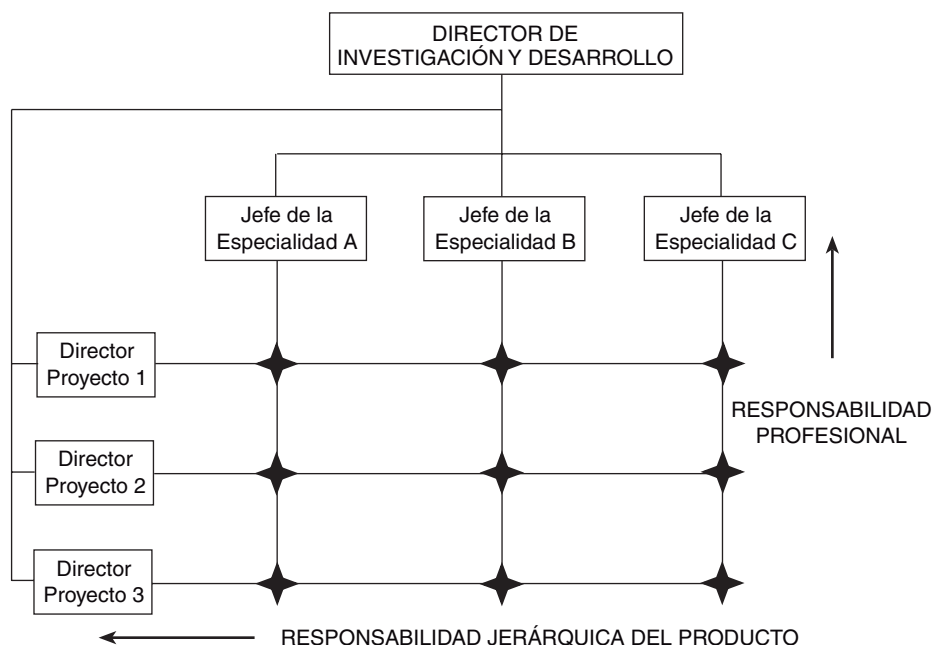


Figura 13.4. Estructura de I+D de tipo Matricial.

tipo matricial es de la forma como se indica en la Figura 13.5⁽⁸⁾. Resulta evidente que durante todo el proceso innovador el jefe de proyecto requiere tener una buena dosis de capacidad negociadora y habilidad para que el proyecto finalice.

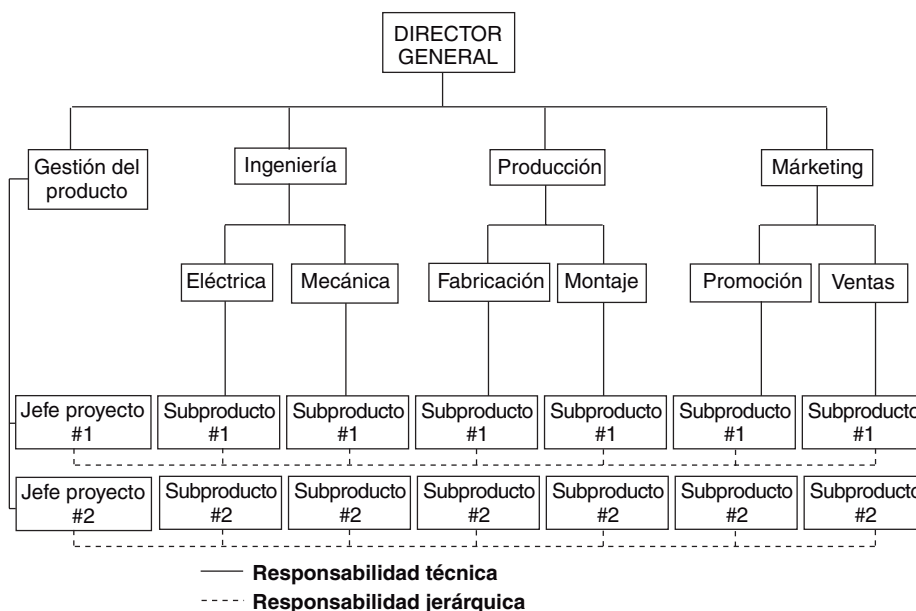


Figura 13.5. Estructura matricial de I+D+I.

Existen otros tipos de estructuras organizativas de la I+D+I que por la índole de este tratado no vamos a considerar aquí. Los lectores que deseen ampliar estos conocimientos pueden consultar la obra del profesor Pere Escorsa y Jaume Valls Pasola, *Tecnología e innovación en la empresa dirección y gestión*, así como las otras referencias bibliográficas que incluimos en este capítulo.

Bibliografía

1. Sánchez Ron J.M. *El siglo de la ciencia*. Edit. Grupo Santillana de Editores, Madrid, 2000.
2. Primo Yúfera E. *Introducción a la investigación científica y tecnológica*, pág. 274. Edit. Alianza Universal, Madrid, 1994.
3. Real Decreto 1945 del 1 de diciembre del 2000, *Boletín Oficial del Estado*, Madrid.
4. Csikszentmihalyi M. *Creatividad*, pág. 122. Edit. Paidós Ibérica, S. A., Barcelona, 1998.

5. Chorafas D. *La investigación en la empresa*, pág 44. Edit. Aguilar, Madrid, 1964.
6. Cegarra J. *Comunicación privada*, 1990. Curso de Doctorado, «*Metodología de la investigación y la innovación tecnológica*», Universitat Politècnica de Catalunya, Terrassa, 1985-2000.
7. Escorsa P., Valls J. *Tecnología e innovación en la empresa. Dirección y gestión*, pág. 149. Edit. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 1997.
8. Galbrahi J. *Matrix Organization Desings*, Business Horizons, February pág. 29, 1971.

Obras consultadas

- Chorafas D. *La investigación en la empresa*. Edit. Aguilar, Madrid, 1964.
- Robert E. Seiler, *Efectividad en la investigación y el desarrollo*. Edit. Labor, S. A., Barcelona, 1974.
- Escorsa P., Valls J. *Tecnología e innovación en la empresa. Dirección y gestión*. Edit. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 1997.

Actualidad y perspectiva científica

14.1. Introducción

Como final de esta obra, hemos creído conveniente indicar algo acerca del conocimiento actual y de la previsión científica y tecnológica, debiendo advertir, desde ahora, que con relación a la previsión, no se trata de adivinar el futuro sino de conocer lo que en algunos campos científicos y tecnológicos se considera que serán temas prioritarios en la investigación durante el siglo XXI, y además, en el campo de la tecnología los principales métodos que se han utilizado hasta el presente para conocer la evolución de determinado sector tecnológico.

De una forma general, se indica que en el siglo XXI los temas prioritarios a investigar serán el «*medio ambiente*», las «*comunicaciones*» y la «*biología*». En el caso del medio ambiente se consideran primordiales los estudios que permitan mantener un crecimiento sostenido, de manera que se contrarresten los nocivos efectos que la creciente industrialización está produciendo en la atmósfera, los ríos, el mar y las personas a través del ruido, la contaminación ambiental, la aglomeración urbana, las radiaciones electromagnéticas, etc. En las últimas décadas del siglo XX hemos podido apreciar el gran auge de las comunicaciones, tanto a nivel mundial mediante los satélites artificiales, como a nivel personal a través de la telefonía inalámbrica, la exploración espacial mediante naves tripuladas o sondas de captación a diferentes planetas y las plataformas extraterrestres habitadas, conjunto de realizaciones que pueden considerarse como el inicio de lo que se pretende llevar a término en el siglo XXI, cuyas metas son difíciles de determinar actualmente. Asimismo, los avances en el campo de la medicina, cirugía y la biología durante el siglo XX, coronados con éxito en los descubrimientos que han llevado a establecer el genoma humano, abren un gran campo para atacar a las enfermedades que aquejan a la humanidad, mediante el estudio y conocimiento de los genes que producen las disfunciones, lo cual dará lugar a la síntesis de nuevos fármacos y terapias para erradicar importantes causas de mortandad actuales.

Por otra parte, desde un punto de vista social, hemos de pensar que el desequilibrio que actualmente existe entre los países desarrollados y los menos desarrollados, debe tender a encontrar un mayor ajuste que lleve a estos últimos alcanzar cotas de bienestar social que les permita una vida digna mediante la mejora de su nivel de conocimientos, a lo cual deben contribuir los países más desarrollados, haciendo realidad la frase «más vale enseñarles a pescar que no darles un pez para que coman».

De acuerdo con estos objetivos, que ya anticipamos que serán parciales puesto que no pretendemos abarcar todo el campo del conocimiento científico o tecnológico, deseamos resumir lo que diversos especialistas, en cada área de las aquí tratadas, piensan acerca del estado actual del conocimiento y de lo que serán las directrices que guiarán la investigación en sus diversos campos en el siglo XXI. A fin de hacer más comprensible el estado actual del conocimiento, en el principio de algunos apartados se incluye un breve resumen histórico.

Por otra parte, también resumiremos los métodos empleados actualmente por las empresas para conocer cuál es la situación actual en un campo concreto tecnológico, denominado «*Vigilancia o inteligencia tecnológica*», y aquellos otros métodos que tienen por objetivo determinar los cambios futuros que se pueden producir en un área tecnológica concreta, conocidos como «*Previsión tecnológica*».

Aunque en algunos casos resulta difícil establecer la frontera entre lo científico y lo tecnológico, intentaremos en este Capítulo 14 exponer lo que podríamos considerar como perteneciente al conocimiento científico y sus perspectivas, y en el Capítulo 15 lo que podría considerarse incluido en el conocimiento tecnológico, sus perspectivas y la previsión tecnológica.

14.1.1. Conocimientos actuales y perspectivas científicas

Dentro de este apartado vamos a incluir la opinión de determinados expertos en diferentes campos de la ciencia, presentada aquí de forma resumida por el autor de este libro, acerca de cuál es el estado actual del conocimiento y las perspectivas de la investigación científica en el siglo XXI, según han sido recogidas en la obra *La Ciencia en tus manos* dirigida por el Profesor Pedro García Barreno⁽¹⁾.

14.2. El mundo del microcosmos: un siglo de física de partículas

Un resumen de la situación del conocimiento de la física de las partículas a finales del siglo XX y las perspectivas científicas para el siglo XXI, según Francisco J. Ynduráin⁽²⁾, son tal como se citan a continuación.

14.2.1. Hace cien años

Según el citado autor, considera interesante, antes de entrar en la discusión de las partículas y de sus interacciones, el conocer la situación de la física básica a finales del siglo XXI.

La evaluación de la situación científica a finales del siglo XIX era extraordinariamente positiva. El optimismo estaba justificado, pues la solidez de la física basada en las ecuaciones de Newton y Galileo, la teoría cinética del calor que permitía reducir los fenómenos térmicos a mecánica y la teoría del electromagnetismo de Maxwell, era tal que se conocía a la física como «física clásica». El conjunto de estas tres teorías parecía explicar todas las fuerzas que actuaban en el Cosmos. La composición de este estaba compendiada en la tabla periódica de Mendeleiev, la cual reflejaba la composición de toda la materia mediante unas sustancias elementales y de sus enlaces químicos de naturaleza eléctrica.

Este optimismo podía haber sido mitigado, si se hubiese prestado atención a ciertos fenómenos físicos que se conocían antes de 1900, tales como la radiación a bajas temperaturas, la radiactividad natural, la contradicción entre las ecuaciones de Newton y las de Maxwell y la contradicción entre la edad de la Tierra y la del Sol. Después se demostró que el optimismo era injustificado, al resolver las anteriores contradicciones con la teoría de la relatividad, la mecánica cuántica y la física de las partículas.

— *El descubrimiento del electrón y el átomo de Rutherford.* Otro aspecto a exponer era la situación del conocimiento de lo infinitamente pequeño. Sin entrar en consideraciones históricas de la antigüedad griega, en 1808 Dalton formuló la teoría atómica, según la cual todos los elementos están formados por pequeñas unidades, *los átomos*, que se suponían indivisibles y cuyo enlace pensaba que era de naturaleza eléctrica, como después se demostró. La vindicación más impactante de la teoría atómica fue la formulación de la mecánica estadística por Maxwell y Boltzman, que permitió reducir todos los fenómenos termodinámicos al movimiento de partículas constituyentes de los gases o de cualquier material.

En 1897 Joseph J. Thomson descubrió que la electricidad está formada por el movimiento de partículas elementales, los *electrones*, que identificó como partículas elementales de los átomos, invalidando la teoría de Dalton, pero validando la naturaleza eléctrica del enlace químico. Thomson utilizó en su descubrimiento el tubo de rayos catódicos inventado por Crookes unos años antes, pero las condiciones de su experimentación no permitían apreciar otras partículas del átomo que los electrones, debido a que la energía disponible en el tubo de Crookes (unos pocos de electrones-voltios) era insuficiente. La exploración de la estructura de la materia depende crucialmente de la energía disponible para llevarla a cabo. Más tarde, con el descubrimiento de la radiactividad de ciertas sustancias naturales (uranio, radio y polonio) primero por Bec-

querel y más adelante por los Curie, se pudo disponer de materiales que podían emitir radiaciones de partículas muy energéticas del orden de 20 megaelectrón-voltio. Rutherford aprovechó la disponibilidad del polonio para efectuar sus experiencias, con las que demostró de manera irrefutable que el átomo consta de un núcleo con carga positiva, muy pesado y pequeño, rodeado a una cierta distancia de una nube de electrones.

14.2.2. La exploración experimental de pequeñas distancias. Aceleradores y rayos cósmicos

Los resultados de Rutherford planteaban nuevas cuestiones y en 1920, él mismo sugirió que el núcleo podía contener además de protones otras partículas de masa parecida pero sin carga eléctrica, los *neutrones*, identificados finalmente en 1932 por Chadwick. En el primer tercio del siglo xx, la imagen de la estructura microscópica de la materia era pues sencilla: el átomo estaba formado por un núcleo que contenía protones y neutrones y girando a gran distancia de este una nube de electrones, ligados al núcleo por una interacción electromagnética.

Según hemos visto anteriormente, la posibilidad de estudiar la estructura de la materia a pequeñas distancias depende de la energía de que disponemos. De acuerdo con ello, el estudio más profundo de lo conseguido por Rutherford, requería energías más altas para profundizar en la estructura de protones y neutrones. Estas energías pueden encontrarse en la naturaleza en los rayos cósmicos, o ser producidas por el hombre mediante los aceleradores.

Los rayos cósmicos, que no se sabe de donde proceden, nos bombardean continuamente y algunos poseen energías muy elevadas, cuyo aprovechamiento ha permitido algunos descubrimientos importantes de la física de partículas. Sin embargo, los rayos cósmicos son erráticos y no se pueden considerar como una fuente de energía constante, por lo que ha sido necesario recurrir a la construcción de los aceleradores, cada vez más potentes.

El principio básico de los aceleradores es el mismo que el del tubo de rayos catódicos de Crookes, o sea, la aceleración por medio de campos eléctricos de partículas cargadas, con la diferencia que el tubo de rayos catódicos tenía unas limitaciones insuperables, por lo que se decidió, en la segunda mitad del siglo xx, la construcción de los ciclotrones o sincrotrones. En estos aceleradores, en forma de anillo, se hace seguir a las partículas una trayectoria circular (ciclotrón), por medio de campos magnéticos, y se les da a las partículas de forma sincronizada (sincrotrón), un impulso por medio de campos eléctricos, al pasar repetidas veces la misma partícula y suministrarle energía en puntos concretos. El ciclotrón más importante de Europa se encuentra en Ginebra (LEP-200 capaz de una máxima energía de 200 GeV), a caballo entre Francia y Suiza y tiene 27 km de diámetro. En el 2005 será operativo, también en Ginebra el CLH capaz de una máxima energía de 14.000 GeV.

Actualmente los aceleradores de partículas están llegando a su techo. Necesitan mucho espacio, son muy caros, muy lentos en construirse y requieren abundante mano de obra entre científicos e ingenieros. Salvo que surja un nuevo método para la aceleración de partículas, será necesario volver a los rayos cósmicos que, den cuando en cuando, proporcionan partículas de energía cien veces superiores a las del CLH.

14.2.3. Detectores

Los detectores son los artefactos que permiten medir e identificar cómo están ligados los componentes de los átomos o de los núcleos, para después detectar las partículas e interpretar sus resultados. Esta labor es, tal vez, la más importante para el progreso de las investigaciones sobre la estructura microscópica de la materia.

A partir de los años cuarenta se fabricaron detectores para investigar partículas que se mueven con unas energías enormes. Los primeros tipos fueron los de cámaras de niebla; estas están llenas de vapor sobresaturado y al pasar una partícula se condensa el agua a lo largo de su trayectoria. Se fotografía la trayectoria y después se analiza para conocer las propiedades de la partícula que se estudia. Un sistema parecido es el de las cámaras de burbujas que se llenan de un líquido sobrecalentado; al pasar la partícula se forman unas burbujas, a lo largo de su trayectoria. Este último método ha sido durante muchos años el más eficaz, lo que promovió la construcción de cámaras de burbujas cada vez más grandes. Con este tipo de cámara, se descubrieron las «corrientes neutras» e indirectamente la partícula Z, en 1973. Ya en esa fecha se habían desarrollado otros métodos en los que las trayectorias se reconstruyen electrónicamente, los fototubos, etc.

El tamaño de los detectores también se aumentó. Muchos de los utilizados en el acelerador LEP son mayores que un edificio de tres pisos. Asimismo, se incrementó el número de investigadores para su construcción y manejo. Los experimentos con el LEP se llevan a cabo con científicos colaboradores de más de quinientos participantes de toda Europa, americanos, japoneses, chinos, etc. Para el análisis de las imágenes se utilizan sofisticados métodos informáticos, que han dado lugar a que un importante desarrollo de la informática se haya producido en los laboratorios de física de partículas. Así, la industria noruega de microprocesadores, durante un tiempo líder mundial, se desarrolló en colaboración con el CERN. También fueron investigadores de este centro los que desarrollaron, a final de los años ochenta, la transmisión de información en hipertexto, poniendo en marcha la *World Wide Web* (Internet).

14.2.4. Partículas e interacciones I: Interacciones

Las bases de la física del siglo xx son la relatividad y la mecánica cuántica. Sin ellas, que describen el marco en el que actúan las fuerzas que operan en el

Universo, no habría sido posible ni la comprensión de la naturaleza a escala microscópica, ni la aplicación de buena parte de los fenómenos que han cambiado la sociedad en los últimos años: ordenadores, televisores, centrales nucleares, etc.

Sin embargo, para tener una imagen más completa del Universo no basta con conocer su naturaleza a escala microscópica, sino que es necesario conocer qué interacciones específicas utiliza la naturaleza y cómo actúan. La historia, resumida del proceso de su conocimiento es como sigue.

Las experiencias de Rutherford no sólo determinaron la estructura del átomo, sino que revelaron la existencia de una fuerza, que actúa entre protones y neutrones (no entre electrones), mucho más intensa que la electromagnética y a la que se denominó «integración fuerte». Por otra parte, el descubrimiento de la radiactividad implicó la existencia de una fuerza mucho menos intensa que la electromagnética y que por ello, se denominó «interacción débil». La estructura de las fuerzas electromagnéticas se determinó bastante pronto; en 1927 Dirac hizo los primeros cálculos y en las décadas cuarenta y cincuenta, debido a los trabajos de Schwinger y Feynman, entre otros, se construyó la teoría electrodinámica cuántica, perfectamente compatible con las teorías de la relatividad y la mecánica cuántica y con una precisión impresionante entre los valores experimentales y los obtenidos por dicha teoría.

Las interacciones fuertes y débiles tardaron más en ser comprendidas y fue necesario construir una teoría cuántica y relativista de ambas interacciones, lo que se consiguió en los años 1971-1973. Estas teorías han superado con éxito las confrontaciones con los datos experimentales, si bien no con la exactitud de la teoría electrodinámica cuántica, llegando para las interacciones débiles a errores del 1/1.000 y para las interacciones fuertes a 1/100 en la predicción de los resultados experimentales. Las comprobaciones experimentales de las interacciones débiles y fuertes son muy dificultosas debido a que se necesitan energías muy elevadas y cálculos complicados. En las interacciones fuertes, las energías necesarias son del orden de los diez mil millones de electrón-voltio, caso de los quarks *b*. En las interacciones débiles *W* y *Z*, las energías necesarias son del orden de unos quinientos mil millones de electrón-voltio, solamente posibles de alcanzar con el acelerador LEP.

La única interacción que no se conoce a escala microscópica es la gravitatoria, debido a que falta información experimental del campo gravitatorio a cortas distancias, para comprobar si la teoría de la relatividad y la cuántica son compatibles a este nivel.

14.2.5. Partículas e interacciones II: Electrones, neutrinos y quarks. Familias de partículas

Como resumen de lo anterior, podemos decir que en la actualidad somos capaces de comprender la estructura microscópica de la materia que constituye

el Universo y sus correspondientes antipartículas en términos de cuatro partículas. En primer lugar, los quarks de tipo *u* y *d*, que forman, por interacción entre sí, los protones y neutrones, los cuales a su vez forman los núcleos de todos los átomos existentes en la naturaleza. Estas partículas se mantienen unidas y estructuradas mediante la llamada «interacción fuerte», de muy corto alcance y elevada intensidad. Los átomos contienen electrones ligados a los núcleos por interacción electromagnética. En la desintegración radiactiva de algunos núcleos, se producen, mediante las llamadas «interacciones débiles», además de las partículas citadas, *neutrinos* de tipo electrónico. A partir de 1971-1973 se propusieron las teorías correctas de las interacciones débiles y fuertes, y en 1982 se descubrieron, con todas las propiedades predichas por la teoría, las partículas intermediadoras de la interacción débil, *W* y *Z*. A la teoría que reúne las tres interacciones, fuertes, débiles y electromagnéticas, junto a las cuatro partículas fundamentales y las correspondientes intermediarias, que permite una descripción detallada y coherente de todos los fenómenos de la naturaleza se la conoce como «*modelo estándar*», que también explica el número y propiedades de las demás partículas inestables producidas en los aceleradores de alta energía.

Sin embargo, con este modelo no se da una explicación de la interacción gravitatoria. No hay aún una teoría satisfactoria que relacione a esta con las demás interacciones. Una de las más atractivas, la de las (super) cuerdas, es aún imperfecta; tiene la peculiaridad de suponer que el Universo tiene más dimensiones de las cuatro espacio-temporales conocidas; no percibiríamos esas dimensiones adicionales (posiblemente seis) al encontrarse «enroscadas sobre sí mismas» en distancias pequeñísimas.

14.2.6. Perspectivas para el siglo XXI

Todos los intentos de ir más allá del modelo estándar y de avanzar más profundamente en el conocimiento de la materia, iniciados desde 1973-1975 y hasta el presente, han fracasado. No obstante, se describirán algunos de los más interesantes, por si pudieran ser la base de la física de partículas del siglo XXI. Los que consideramos más interesantes son:

Teorías de gran unificación. A mediados de los años setenta, Pati y Salam y, especialmente, George y Glashow construyen modelos en los que las tres fuerzas se unifican en una *única*, y las cuatro partículas resultan ser diferentes estados de una *única* partícula elemental. Tales teorías tenían importantes consecuencias y, entre ellas, la de que el protón tenía que ser inestable, siendo su tiempo de desintegración 10^{30} años, lo cual ofrecía una explicación de la aparición de la materia en el *Big Bang* a partir de la energía pura, por el proceso inverso a la desintegración. Esta teoría suscitó un cierto entusiasmo al principio, pero a partir de los ochenta cayó en descrédito, por no poder detectarse la inestabilidad del protón. Sin embargo, tiene aspectos positivos que, tal vez, en un futuro pudieran dar base en el siglo XXI para corregir sus defectos.

Teorías supersimétricas. A principios de los setenta Julius Wess y Bruno Zumino presentan estas teorías, en las cuales lo que se unifican son las tres fuerzas y las cuatro partículas, de tal forma que todos son distintos estados de un único objeto fundamental. Dada la enorme elegancia de esta teoría, los físicos siguen interesados por ella después de veinticinco años de su presentación, y la supersimetría continúa siendo un tema principal en la investigación de la física de las partículas.

Según Ynduráin, la idea de unificar las partículas con las fuerzas no funciona por los dos motivos siguientes. En primer lugar, no se ha observado la existencia de fuerzas y partículas suplementarias predichas por estas teorías, los denominados *compañeros supersimétricos*. En segundo lugar, todos los modelos concretos que se han construido de supersimetría han sido invalidados por la experimentación.

Tanto la teoría de la unificación como la de la supersimetría no tocan apenas ninguna de las carencias que tiene la física de las partículas. Por ejemplo, no explican por qué existen dos familias de partículas elementales pesadas entre las formadas a altas energías en los aceleradores, ni el enrevesado esquema de las masas de las partículas. Además, no resuelven los dos puntos débiles de la física de altas energías: el mecanismo de Higgs ni la imbricación de la relatividad general (gravitación) en la física microscópica. Estas dos cuestiones constituirán, sin duda, la base de la investigación en física en el siglo XXI.

Una dificultad inherente a esta investigación es que la verificación experimental de los distintos modelos y teorías requiere poner en juego energías colosales para conseguir el choque entre partículas en los que estas se aproximen a distancias cortísimas. Estados Unidos y Europa compiten intensamente en la carrera para obtener las energías más altas en aceleradores de partículas cada vez mayores.

Por último, hay que mencionar un aspecto de la física de las partículas que ha ido adquiriendo adeptos últimamente y que será un tema importante en la investigación experimental y teórica del futuro, tal cual es *la masa de los neutrinos*. La historia comienza a principios de los sesenta, cuando se intentan detectar los neutrinos que las reacciones nucleares solares producen en grandes cantidades. Como la interacción de los neutrinos es proporcional a su energía, y esta es muy pequeña, se necesitan detectores enormes y mucho tiempo, para registrar alguno de ellos. Las primeras experiencias fracasaron. En los años ochenta se intenta nuevamente su detección y el resultado, después de mucho tiempo, es que el número de neutrinos detectado es significativamente muy inferior al que se esperaba, menor de la mitad. El porqué cuando es corta la distancia que separa la fuente de emisión de los neutrinos del detector estos se detectan en cantidades conforme con la teoría y cuando es grande parece que se pierden por el camino, es un problema que tendrá a los físicos teóricos ocupados mucho tiempo*.

* *Nota del autor.* Resultados muy recientes muestran que ello sucede porque los neutrinos de un tipo se transforman en los de otro a una cierta velocidad (se dice que oscilan) y ello implica,

14.3. El mundo de la química

José Elguero⁽³⁾ presenta la situación actual de la química y las perspectivas de esta materia para el siglo XXI, considerando varios apartados a los que nos introduce con una visión de lo que ha sido la relación de la química con la física y la biología. Todo ello, procuraremos resumirlo en este apartado.

14.3.1. Los fundamentos de la química

La explicación básica de la química, tal como la conocemos hoy, se inicia en 1901 cuando Max Planck introduce los *quanta* para explicar la radiación del cuerpo negro. En pocos años, un gran número de eminentes físicos construyó uno de los más notables edificios de la humanidad, *la mecánica cuántica*, edificio que, muy probablemente, seguirá siendo considerado excepcional en el siglo XXI.

Si Max Planck no hubiese descubierto la teoría cuántica, la química probablemente habría avanzado, pero lo habría hecho más lentamente, porque responde a las necesidades de los hombres y porque es una ciencia experimental. Se puede considerar que la historia moderna de la química empieza en 1939 cuando Linus Pauling publica *The Nature of the Chemical Bond and the Structure of Molecules and Crystals*. Esta obra, de enorme influencia, daba una visión coherente de la química basada en la mecánica cuántica. Hasta entonces, la química había efectuado grandes progresos con un fundamento teórico rudimentario: el átomo tetraédrico del carbono y la isomería óptica, el átomo de carbono plano de Kekulé, la mesomería y las propiedades tridimensionales de los complejos metálicos.

La química puede considerarse como un puente entre la física y la biología. Elguero opina que la física no invadirá el terreno de la química, ya que ésta no interesa a los físicos. Sin embargo, según Elguero en los próximos veinte o treinta años, la química invadirá el terreno de la biología, que va a pasar de ser una ciencia de modelos sencillos para convertirse en una disciplina cuantitativa y rigurosa, sin perder la espontaneidad que caracteriza a ambas. A su vez, la biología proporcionará a la química esencialmente objetivos y problemas para nuevos temas de investigación.

Además del impacto trascendental de la teoría cuántica, la física ha influido en la química a través de los métodos de determinación estructural, difracción y espectroscopía. La física, por otro, lado ha dado una explicación, basada en la violación de la paridad de la interacción débil estudiada en la física de partículas, de por qué la naturaleza ha seleccionado a los aminoácidos de estructura L y los azúcares D. Merece la pena destacar, que muy recientemente, científicos españoles han propuesto otro mecanismo para ello, basado en

definitivamente, que tienen una masa finita, aunque minúscula (según el esquema teórico actual).

los efectos de la rotación terrestre. De hecho, un problema que ha preocupado a los creadores de la física cuántica es el de los enantiómeros, pues su función de onda debería ser una superposición de las dos configuraciones L y D simultáneamente. A ese estudio se han dedicado grandes nombres de la física contemporánea.

Aunque las fronteras entre las distintas ramas de la química son cada vez más permeables, aún es válido desglosar su estado actual y sus avances en las ramas orgánica, inorgánica y química física.

14.3.2. Química orgánica

La esencia de la química orgánica es la creación de enlaces carbono-carbono de la manera más selectiva y suave posible. Sin embargo, actualmente esto lo hacen mejor las *enzimas* que cualquier químico, a pesar de que estos tienen un arsenal de herramientas que no usa la naturaleza, en particular los metales «exóticos». Esta exposición que quiere dar una idea del tipo de «puntos calientes» que más interesan en la química actual, la desglosaremos en dos apartados: la síntesis orgánica total de un producto natural y la utilización de los enzimas.

La posición de Woodward y sus seguidores es que para cada compuesto orgánico existe una síntesis óptima, y que para conseguirla hay que actuar sobre el estado de transición, de la misma forma que hacen las enzimas. Para ello es necesario utilizar un catalizador que acerque los reactivos y los coloque en posición adecuada, para que de todas las reacciones posibles elijan la más adecuada. Dos contribuciones significativas y respetuosas con las concepciones de Woodward, son la reacción de Sharpless y la metátesis de olefinas, de las que mencionaremos solamente la primera en atención a la forma resumida que intentamos dar a este apartado. Sharpless (MIT) introdujo en los años ochenta la epoxidación asimétrica de las olefinas, en particular de dobles enlaces $C = C$ en alcoholes alílicos, para obtener epóxidos empleando como catalizador un derivado de titanio y un tartrato ópticamente activo. La idea de que la quiralidad esté en el catalizador fue revolucionaria y muchos químicos interesados en la síntesis asimétrica la han seguido después. En general, es de esperar un aumento de reacciones de tipo selectivo por el empleo de catalizadores en la síntesis de moléculas cada vez más complejas, utilizando todos los elementos de la tabla periódica, lo que llevará, de hecho, a una unificación de la química orgánica e inorgánica en una *química molecular*.

Las enzimas son los biocatalizadores de los sistemas biológicos y casi todas ellas son proteínas, no teniendo ninguna característica especial: están formadas por aminoácidos habituales, muchas de ellas son metaloproteínas y pueden tener una o más cadenas proteicas. Tiene tres características especialmente interesantes: 1) actúan como un catalizador químico estabilizando el estado de

transición al disminuir la energía libre para alcanzarlo; 2) son específicas, para cada reacción, sustrato o producto, lo cual es muy interesante para la síntesis orgánica, pues una enzima cataliza sólo un grupo muy próximo de reacciones, como las proteasas que hidrolizan los enlaces peptídicos, amidas y esterasas; 3) operan en condiciones experimentales muy suaves, pues las reacciones bioquímicas no toleran grandes saltos energéticos, altas temperaturas o reactivos agresivos. Es necesario puntualizar que una enzima actúa como un catalizador, es decir, no altera el equilibrio de la reacción, sino que disminuye el tiempo para realizarla.

Con la excepción de algunos procesos industriales, licuefacción de almidones, hidrólisis de penicilinas, etc., la utilización de las enzimas en forma masiva en síntesis orgánica, por diversas causas, no empieza hasta los años ochenta, si bien en 1940 ya se habían obtenido unas veinte enzimas con un elevado grado de pureza, aunque a base de grandes esfuerzos. El gran impulso del estudio de las enzimas y de la fermentación se debió a las propiedades maravillosas de la penicilina y al éxito conseguido en el aumento de su producción, lo cual condujo a mejorar los sistemas de fermentación y de purificación. Es de esperar que la utilización de las enzimas en los procesos bioquímicos experimente un notable incremento en el siglo XXI.

14.3.3. Química inorgánica

Desde un punto de vista pedagógico es conveniente dividir la química inorgánica moderna en *química organometálica*, *química de coordinación*, *química del estado sólido* y *química bioinorgánica*. Las fronteras entre ellas son difíciles de delimitar y hay muchos temas de investigación que pertenecen a dos de las divisiones anteriores.

Química organometálica. Es la química de los compuestos con enlace metal-carbono. Como representativos del pasado reciente y del futuro se puede elegir a Wilkinson y Schrock.

George Wilkinson, conjuntamente con F. Albert Cotton, escribieron *Advanced Inorganic Chemistry* que ha tenido una gran influencia en sucesivas generaciones de estudiantes. Wilkinson puede considerarse como uno de los fundadores de la química organometálica. El catalizador de Wilkinson, un complejo de rodio con cloro y ligandos fosforados, juega un papel importante en la transformación de aldehídos en hidrocarburos, reducción de olefinas, desulfonación, etc. Richard R. Schrock es un químico inorgánico-organometálico (MIT) con relevantes contribuciones en la reacción de metátesis de olefinas, en su variante asimétrica, con la síntesis de polímeros ordenados y otros temas de relevancia.

Química de coordinación. Es la química de los compuestos que tienen enlaces entre un metal y elementos no metálicos diferentes del carbono. Como ejemplo de los temas de interés futuro citemos la transformación de nitrógeno

en amoníaco, que en su realización industrial actual (proceso Haber-Bosch) ha sido y es uno de los grandes descubrimientos de la química de grandes consecuencias económicas. En la activación del dinitrógeno N_2 , con la rotura los enlaces $N\equiv N$, sólo en tiempos recientes se ha logrado avanzar algo, siendo uno de los problemas a resolver en el siglo XXI. Se avanza en dos frentes bastante alejados entre sí: a) en el empleo de catalizadores para transformar el nitrógeno en otros compuestos, hidracina, enlaces carbono-nitrógeno, etc.; y b) en la nitrogenasa, enzima que contiene en su centro activo dos átomos de molibdeno y seis de hierro cuyo comportamiento es de difícil conocimiento y en el cual se está avanzando con dificultad. Con este y otros metaloenzimas como la metanomonooxigenasa, que transforma CH_4 en metanol; hidrogenasas que activan H_2 a los centros activos de la fotosíntesis, la obtención de compuestos de coordinación sintéticos que tengan actividad semejante (los llamados biomimetálicos) son objetivo de numerosas investigaciones.

Química del estado sólido. En la química del estado sólido, la síntesis de nuevos materiales ha tenido una gran trascendencia y es un campo reciente, al cual se le prevé un gran desarrollo en los próximos años. Comprende la síntesis de nuevos materiales tales como óxidos metálicos compuestos para su uso como superconductores, la cerámica resistente a altas temperaturas utilizadas en los satélites y la lanzadera espacial, vitrocerámica, la oblea de silicio, materiales con propiedades ópticas no lineales, eléctricas o magnéticas de interés. La química del estado sólido aporta mucho a la física, no sólo al revés, pues es la química la que sabe cómo fabricar las complejas estructuras necesarias.

Química bioinorgánica. Corresponde a esta rama de la química el estudio de los procesos que ocurren en los seres vivos en los cuales los metales, y su capacidad de oxidación-reducción, adquieren un papel fundamental. En este campo hay que citar los trabajos de Henry Taube (PNQ 1983) y sus estudios sobre los procesos redox, en especial sobre el mecanismo de las reacciones de transferencia electrónica de los compuestos de coordinación.

14.3.4. Química física

Es el campo de la química más difícil de resumir, debido a tres razones: a) tiene una frontera mal definida con la física; b) cubre casi todos los aspectos de la química; c) sus diferentes ramas están muy especializadas y la comunicación entre los que la practican se hace difícil.

Química computacional. Se pueden considerar dos vertientes: cálculos teóricos y modelación molecular. El primero de ellos empieza a ser de uso frecuente en los laboratorios para apoyo a otras técnicas y para aprobar diferentes hipótesis (mecanismos de reacción, conformaciones accesibles, estados de transición). El modelado molecular ha permitido estudiar grandes sistemas incluso en fases condensadas (estado sólido o en disolución). Esto ha permitido estudiar interacciones fármaco-receptor así como proponer nuevos fármacos prediciendo su mecanismo de reacción. Es de esperar que en un futuro pró-

ximo se verá un desarrollo en algoritmos más realistas para el estudio de fases condensadas en los cálculos teóricos y el estudio de estados excitados. En particular, la simulación de proteínas y la predicción de su plegamiento.

En el futuro desarrollo de la computación uno de los aspectos que más interesan al químico es el de poder obtener información sobre los *estados de transición* de manera que se entiendan mejor los mecanismos de reacción y, sobre todo, poder intervenir en dichos estados para dirigir la síntesis según nuestros objetivos.

La utilización de láseres y otras espectroscopías de pulsos junto con técnicas de haces moleculares servirán para estudiar cinética de reacciones y dinámica molecular con alta resolución temporal, que permita «ver» la formación y ruptura de enlaces.

En las propiedades termodinámicas está el campo de los disolventes enriquecidos en los últimos años con los líquidos supercríticos, el agua superfluida, etc. Recientemente han aparecido una nueva clase de disolventes, los *disolventes iónicos*.

14.3.5. Química y medicina

Todos los seres vivos, con excepción de los virus y los mamíferos, producen sustancias que se pueden utilizar como fármacos. La lista es interminable y a título de ejemplo se citan: de los hongos (penicilinas), de las plantas (morfina), de los árboles (taxol, un antitumoral), de los organismos marinos (briostatina, para el tratamiento de la leucemia), y de los batracios (epibatidina, un analgésico no opioide). El aislamiento, identificación y posible síntesis artificial de todos ellos, es una tarea formidable para el químico. En un futuro próximo, mamíferos genéticamente modificados serán fuente usual de medicamentos. Por otra parte, sustancias naturales se modifican «artificialmente», en mayor o menor grado, para obtener un medicamento.

Actualmente, exceptuando los antibióticos y los esteroides, la mayoría de nuestros medicamentos son fruto del ingenio de los químicos y farmacéuticos. Sin embargo, ello va a cambiar con el paso del tiempo debido a una serie de factores:

- a) Cuando el proyecto de genoma humano, acabado hacia el 2003, revele los secretos del ADN humano, será posible para químicos y biólogos moleculares unir fuerzas y diseñar fármacos específicos que refuercen o debiliten la acción de determinados genes.
- b) Destaca en síntesis la enorme importancia de los métodos combinatorios, tanto en los productos de interés biológico como en catálisis.
- c) La química en biología y medicina llevará a: comprensión de los procesos fundamentales de la vida, desarrollo de nuevos fármacos, química prebiótica, y a la neuroquímica.

La química combinatoria es un conjunto de metodologías químicas altamente automatizadas dirigidas a la preparación de productos químicos, generalmente en grandes números, que cubran determinadas áreas del espacio químico. Su preparación se lleva a cabo mediante la reacción, de forma combinatoria, de una serie de moléculas, que son fragmentos o monómeros, que componen los productos finales que forman la librería. Es una disciplina en cuyo nacimiento y desarrollo han influido decisivamente los centros de investigación privados, a fin de seleccionar productos con determinadas propiedades para uso en farmacia, agroquímica, química de la alimentación, ciencia de materiales, etc.

Además de la química combinatoria, hay que mencionar los avances en biología molecular y celular mediante la utilización de nuevas tecnologías. Así, la *genómica* trata de los métodos automatizados para el estudio de la genética y las funciones de los genes en los seres vivos. La relación entre las proteínas formadas por expresión de los genes y sus funciones, se la denomina *proteómica*.

A pesar de los avances en los medicamentos realizados en el siglo xx, todavía existen un gran número de enfermedades no resueltas tales como la artritis, el cáncer o la gripe y otras nuevas que han aparecido como el sida y la resistencia a los antibióticos, por citar algunos ejemplos. Son nuevos retos que se plantean para el futuro.

14.3.6. Química de los materiales

Durante el siglo xx se han producido grandes avances en el campo de nuevos materiales para aplicaciones tecnológicas, tanto de materiales inorgánicos como de los orgánicos.

Entre los materiales inorgánicos, uno de los descubrimientos más importantes ha sido el de los *superconductores de alta temperatura crítica*, por su relevancia en la química inorgánica estructural y química del estado sólido. Estos materiales seguirán siendo importantes en la investigaciones del futuro.

Entre los materiales orgánicos, durante el siglo xx los *polímeros* ocupan un sitio de preferencia, ya que pinturas, lacas, prótesis, fibras sintéticas para el vestido o de uso industrial, etc., están presentes cotidianamente en nuestras vidas. Existen nuevos campos para el futuro: sangre sintética, espejos inteligentes, polímeros conductores, fibras camaleónicas, fibras ecológicas, etc., son retos planteados para los investigadores.

Los *cristales líquidos* tienen un comportamiento entre los líquidos y los sólidos, y son un conjunto de compuestos cada vez más variados, con aplicaciones para pantallas, etc. Otras aportaciones han sido la de los *fularenos* y los *dendrimeros*, ambos de gran importancia en la química supramolecular por sus posibilidades a contribuir al desarrollo de los ordenadores y a la obtención de receptores abióticos que simulen a los receptores naturales.

Otras muchas aportaciones en el campo de la química podrían ser citadas, pero dado el carácter de este capítulo, nos limitaremos a lo expuesto y remitir al lector al texto elaborado por el profesor Elgero⁽³⁾.

14.4. Funciones básicas y envejecimiento

Javier García-Sancho describe en el Capítulo 12 de la obra *La Ciencia en tus manos* las funciones básicas en los seres vivos en apartados citados como: el origen de los seres vivos, las células, el metabolismo, las células eucariotes, los organismos pluricelulares, la función y comunicación celular, los mensajeros celulares y el envejecimiento. Es esta última parte, la que intentamos resumir en este apartado, remitiendo al lector a lo escrito por el profesor García-Sancho en su original⁽⁴⁾.

El envejecimiento se manifiesta con una serie de *cambios mentales y físicos* que son la expresión del declive de las funciones del organismo. Con él, disminuye el peso por pérdida de la masa muscular el hueso y otros tejidos, aunque la grasa y los tejidos de relleno pueden aumentar. Con ello, disminuye la fuerza, se deterioran las articulaciones, se pierde capacidad visual, auditiva y memoria, capacidad de reacción y aumenta la inseguridad. La función sexual disminuye y se pierde la capacidad reproductora. Disminuye la función hormonal, las heridas cicatrizan con dificultad, disminuye la capacidad defensiva del organismo frente a las infecciones, con lo que aumenta la posibilidad de adquirir enfermedades.

La esperanza de vida ha ido aumentando en el transcurso de la historia y como consecuencia de la disminución de la mortalidad infantil y juvenil. En los tiempos de Cristo, la esperanza de vida era de 20 años, aumentando a los 40 a principios del siglo XIX y alcanzando los 80 en los países desarrollados, al iniciarse el siglo XXI. No obstante, parece ser que existe un límite que no se puede sobrepasar alrededor de los 120 años, creyéndose que este se alcanzará entre el 2020 y 2050. Los progresos de la medicina no lograrán sobrepasar este *límite genético*.

14.4.1. Envejecimiento y telómeros

Actualmente se plantea la pregunta de si el envejecimiento está escrito en los *telómeros*. Con este nombre se denominan a una secuencia de unos diez mil pares de bases que no codifican ningún gen y que existen en los extremos de los cromosomas de la célula. Ellos actúan como una especie de cubierta protectora frente a los enzimas y evita recombinaciones aberrantes de ADN (ácido dextrorriboneuclónico). Debido a la división celular, los telómeros se acortan y al cabo de cien divisiones los telómeros desaparecen y con ello se empiezan a perder genes, lo cual ocasiona la muerte celular.

En las células de los organismos unicelulares existe un enzima, denominado *telomerasa*, que sintetiza la porción perdida durante la división de las célu-

las, de modo que su longitud se mantiene constante. Las células de los organismos pluricelulares no contienen telomerasa, excepto las *células germinales*, y por lo tanto se produce su senectud al cabo de las 50-100 divisiones. Las células germinales que contienen telomerasa son capaces de dividirse sin acortar sus telómeros. También existe telomerasa en las células de los *embriones*, pero esta se pierde durante el proceso de diferenciación. Asimismo, en los tejidos se conserva una fracción muy pequeña de *células madre* que poseen una cierta actividad telomerasa que permite que sus telómeros se acorten más lentamente que el resto de las células, lo cual permite que puedan dividirse para regenerar los tejidos, cuando estos han experimentado una destrucción extensa.

Se cree que el acortamiento de los telómeros es el responsable de la mala capacidad de regeneración de los tejidos de los ancianos, si bien se considera que este no es el único factor, sino que existen *otros factores*. Por otra parte, el acortamiento de los telómeros *previene el cáncer*. Un cáncer se caracteriza por el crecimiento incontrolado de las células cancerosas, las cuales invaden el territorio de las células normales, desplazándolas y haciéndolas desaparecer. Dado que las células cancerosas son capaces de expresar la telomerasa, los telómeros pueden mantener una longitud suficiente para evitar la detención de la división celular y, por consiguiente, las células cancerosas se multiplican rápidamente ya que han «olvidado cómo envejecer y morir». Actualmente se están investigando fármacos que inhiban la formación de telomerasa para evitar el crecimiento de los tumores malignos.

14.4.2. Genes, evolución y envejecimiento

La mayoría de los organismos pluricelulares envejecen, salvo algunas excepciones como las langostas, el lenguado hembra, los tiburones y los cocodrilos. Habitualmente, se piensa en la evolución en términos de individuos o especies, cuando, en realidad, la unidad evolutiva es el *gen*. Este se transmite por la herencia, de tal forma que los hijos sólo heredan la mitad de nuestros genes, los nietos una cuarta parte y al cabo de unas pocas generaciones nuestra contribución genética, como individuos, es insignificante. Los genes cambian por una mutación o un intercambio con otros genes. En la mayoría de los casos, este cambio es desventajoso o letal y no se transmitirá a la descendencia o se perderá al cabo de varias generaciones. El nuevo gen puede conferir, en algunos casos, una ventaja especial al individuo, transmitiéndose a la descendencia y, lentamente, al cabo de varias generaciones, conferirá un cambio a la especie.

Es probable que la duración de la vida esté escrita en los genes. Un chimpancé cuya dotación genética tiene una homologación con el ser humano del 98,4%, vive solamente la mitad. Parece claro, pues, que este 1,6% de diferencia deba de tener influencia sobre el envejecimiento.

Es característico de algunos genes el expresarse preferentemente *durante una época de la vida*; así, durante el desarrollo embriológico se expresan los

genes que determinan la forma del corazón, el ojo o la mano. A lo largo de la vida extrauterina, el inicio de etapas importantes como el crecimiento durante la infancia y los cambios sexuales durante la pubertad, son la expresión de ciertos genes. Por lo tanto, es posible que la vejez se desencadene cuando les llega el turno a ciertos genes responsables del cambio negativo de nuestra calidad de vida, función reproductora, etc., por lo que si se pudiese retrasar su expresión, podríamos prolongar la juventud y tener una vida más plena y apacible.

14.4.3. Teorías del envejecimiento

Es probable que existan genes cuya expresión o falta de expresión ocasionen que las células no puedan cumplir con su función normalmente. El problema reside en que no se conoce cómo actúan esos genes y qué cambios se producen en las células que las hacen envejecer. Existen muchas teorías sobre el envejecimiento, pero ninguna de ellas es satisfactoria, aunque se acepta, generalmente, que el envejecimiento resulta *de la acumulación de daños* de tal forma que evita que las células cumplan con su función normalmente. En la Tabla 14.1 se presentan algunas de ellas⁽⁷⁾.

Es posible que estos daños afecten al ADN, dificultando su replicación y su expresión y que arrastren a multitud de células hasta un momento que son incompatibles con la vida. Se estima que en cada célula se producen cada día y de forma espontánea unos sesenta mil accidentes que pueden calificarse como daños del ADN. Sin embargo, la inmensa mayoría de estos daños se reparan rápidamente por medio de *enzimas reparadoras* específicas que si se volvieran poco activas, los daños tenderían a perpetuarse. El síndrome de Werner y la progeria, son enfermedades genéticas caracterizadas por un envejecimiento rapidísimo (la muerte ocurre antes de los veinte años). Se han encontrado alteraciones en la enzima helicasa que participa en la reparación del ADN, sugiriéndose que el gen de la helicasa, por disminución de su expresión, podría ser uno de los implicados en el envejecimiento.

Los daños al ADN suceden espontáneamente, pero su frecuencia aumenta vertiginosamente en ciertas circunstancias. Una de ellas es en presencia de *radicales libres de oxígeno* que se encuentran en el peróxido de hidrógeno, el radical hidroxilo u otros. Los radicales son moléculas muy activas que atacan las proteínas, los lípidos y ácidos nucleicos, ocasionando en estos últimos mutaciones y otros daños. Los radicales libres se producen por la acción de la luz ultravioleta en la piel, donde son responsables del envejecimiento prematuro por la acción prolongada a la luz solar. En el organismo existen sustancias antioxidantes que evitan la acción de los radicales libres, tales como las vitaminas A, E y C y los b-caroteno. Ello ha hecho que en determinados preparados se incluyan estas sustancias para aumentar su dosis en nuestro organismo, pero los antioxidantes también tienen efectos contraproducentes, entre ellos daños al ADN. El organismo también posee enzimas que contrarrestan los radicales libres, tales como glutatión-peroxidasa y la superóxido-dismutasa. Experien-

Tabla 14.1. Teorías del envejecimiento

Programación	Número de divisiones limitado (límite de Hayflick). ¿Generado por alteraciones de telomerasa?
Acumulaciones del ADN	Síntesis de proteínas eneficaz. Imposibilidad para la división. ¿Generado por la ineficacia de las enzimas reparadoras?
Acumulación de baños, basura y tóxicos	Gránulos de lipofuchsina. Interfieren con el metabolismo normal
Radicales libres de oxígeno	Daño de ADN, especialmente el mitocondrial. ¿Generado por ineficacia de enzimas antioxidantes?
Teoría nutricional	La restricción calórica alarga la vida
Teoría del colágeno	El envejecimiento del colágeno lo hace más rígido. Provoca anomalías articulares y formación de depósitos en los vasos
Teoría inmunitaria	Expresión de proteínas anómalas que dan lugar a la generación de autoanticuerpos
Teoría neuroendocrina	Alteraciones hipotálamo-antihipofisarias que determinan la alteración de muchas hormonas. Esto provoca un declive de las funciones de todas las células

cias con esta última han logrado alargar la vida de la mosca de la fruta un 30%, por lo que se sugiere que su gen o el de otras enzimas peroxidasa podían actuar como inhibidores del envejecimiento.

Se ha experimentado que una *dieta hipocalórica* alarga la vida de los animales experimentados, lo cual se interpreta en el contexto de la teoría de los radicales libres, puesto que al reducir la cantidad de sustratos para la respiración, esta disminuye y con ella la formación de radicales libres. En los animales viejos se acumulan una serie de sustancias inservibles (proteínas o lípidos dañados por radicales libres, etc.) que las células son incapaces de procesar con rapidez y las van acumulando en forma de gránulos que contienen *lipofuchina*; la acumulación de esta se ha propuesto que es causa del envejecimiento neuronal.

En los animales viejos se modifica también el *colágeno*, se hace más rígido, produciendo alteraciones en la piel, las articulaciones y en los vasos sanguíneos. En la piel el envejecimiento se acelera por la exposición al sol, probablemente debido a la acción de los radicales libres por la acción de la luz ultravioleta. En ello se fundamenta la incorporación de filtros absorbentes de la luz ultravioleta en las cremas para el bronceado por exposición a la luz solar.

La *teoría unificada del envejecimiento* conjuga factores genéticos y ambientales. De acuerdo con ella, las células del organismo están sujetas a continuas agresiones, tal vez la más importante el ataque al ADN mediante

radicales libres de oxígeno, que supera por sus mecanismos protectores e inhibidores debidos a varios genes que se expresan durante la juventud. Al declinar esta, la expresión de estos genes declina y aparecen otros que atenúan los mecanismos defensivos, con lo que disminuye la vitalidad de las células y aparece el envejecimiento. Este cambio en la expresión genética está regulado por el sistema neuroendocrino, en donde un reloj biológico, quizá activado por la expresión de un gen del envejecimiento, ordena cambios hormonales que favorecen la expresión de los genes del envejecimiento en todas las células del organismo. En algunas zonas, se produce el acortamiento de los telómeros con lo que la regeneración se hace imposible. El conjunto de todas estas degeneraciones aboca en una vida cada vez más precaria que al final conduce a la muerte.

14.4.4. Perspectivas

Probablemente la batalla contra el envejecimiento se efectuará en dos frentes. Por un lado, los avances de la medicina nos depararán un aumento de la expectativa de vida. Por otro, la manipulación de los genes del envejecimiento permitirá aumentar la vida máxima.

Los avances de la medicina. La *medicina molecular* augura para el siglo XXI la cura de muchas enfermedades actuales: infecciosas, cardiocirculatorias, cáncer, perinatales y respiratorias. Según el proyecto del genoma humano, para el año 2005 se conocerá la secuencia de todos los genes, lo cual permitirá descubrir las bases de todas las *enfermedades genéticas*. De acuerdo con las perspectivas, se calcula que en el año 2010 se habrán catalogado entre dos mil y cinco mil mutaciones que ocasionan estas enfermedades. En el año 2020 cada persona podrá tener el código personalizado de su ADN, lo cual permitirá diagnosticar cualquier alteración genética y tomar las medidas adecuadas antes de que se manifieste. Entre los años 2020 y 2050 la terapia genética permitirá sustituir el gen defectuoso por el normal.

En el tratamiento del cáncer se están efectuando grandes avances, sobre todo en los mecanismos que lo producen. Se estima que en el 2020 se habrán catalogado genéticamente unos 200 tipos de cáncer y se podrán *diagnosticar muy tempranamente*, detectando la presencia de la proteína anómala en la sangre que lo produce. El conocimiento del genoma ayudará a preparar vacunas para prevenir el cáncer antes de que aparezca. Se habrá aprendido a estimular las defensas naturales contra esta enfermedad mediante la administración de *anticuerpos monoclonales* que atacan selectivamente a las células tumorales. Por otra parte, utilizando *inhibidores de la telomerasa* se podrá combatir la inmortalidad de los tumores cancerosos.

Las enfermedades infecciosas, tuberculosis, infecciones respiratorias, sida, malaria, etc., constituyen actualmente un conjunto de enfermedades que mediante el uso de antibióticos se han mitigado mucho, si bien, en algunos casos, los virus y las bacterias, mediante mutaciones se hacen resistentes a los

antibióticos y es necesario la aplicación de otros medicamentos a los que estos agentes no sean resistentes. Caso especial merece el sida, cuyo genoma cambia a la velocidad de 1 por 100 cada año. Es previsible que la *biología molecular de bacterias y virus* ayude a combatir estas enfermedades mediante el perfeccionamiento de las técnicas de secuenciación del ADN y del *diseño molecular de nuevos fármacos*.

Otra de las áreas en donde la medicina conocerá importantes avances es en la *ingeniería de tejidos y órganos*, que sustituirá con ventaja a los actuales trasplantes. La idea consiste en hacer crecer en el laboratorio un tejido o un órgano para después implantarlo en el paciente. Actualmente ya se están utilizando la implantación de piel artificial con buenos resultados. La implantación de células gliales en los animales para estimular la regeneración de las células nerviosas cuando han sufrido lesiones en la médula espinal, se ha efectuado con resultados aceptables. Se supone que dentro de veinticinco-cincuenta años, se podrán fabricar en el laboratorio *órganos artificiales* tales como riñones, hígado o corazón. Para ello el problema más grave es el obtener *células madre* capaces de crecer rápidamente en el laboratorio y que no ocasionen rechazo al paciente. No obstante, el sistema para obtener dichas células de embriones presenta graves problemas éticos de difícil solución, por lo que se investigan otros caminos.

Otro campo de gran interés es la aplicación de la *nanotecnología* a la medicina. El objetivo sería el crear *máquinas moleculares* del tamaño de una molécula que puedan utilizarse para reparar lesiones, eliminar productos de desecho, matar microbios o células tumorales. Para ello queda un camino largo que recorrer.

Con todos sus progresos, la medicina convencional no logrará alargar la vida más de los 120 años, siendo hasta la fecha el procedimiento más eficaz la reducción de la dieta calórica, manteniendo un aporte suficiente de los componentes fundamentales. Hay que buscar otros caminos tales como la identificación de los genes del envejecimiento.

Manipulación de los genes del envejecimiento. Los resultados actuales sugieren que podrían incluir los genes que regulan la expresión de la reparación del ADN y las enzimas antioxidantes. Otra línea en la que se ha avanzado considerablemente es la identificación de los genes que originan las enfermedades neurovegetativas. Así se conoce que la expresión de una variante del gen de una lipo-proteína (apo-E), favorece la aparición temprana de la enfermedad de Alzheimer. Quizá este tipo de conocimientos nos permita identificar el reloj endocrino que marca las horas del envejecimiento. El conocimiento de los genes del envejecimiento se prevé para el año 2025. Las posibilidades de acción se basarían en la *manipulación genética de los embriones*, lo cual es un proceso muy complejo por sus implicaciones morales y de consecuencias impredecibles. Por otra parte, el alargamiento de la vida suscitará otros problemas de tipo económico y social, difíciles de prever en el momento actual.

14.5. El cerebro un universo a explorar

Intentar efectuar un resumen de lo que el profesor Carlos Belmonte expone acerca del *Desafío del cerebro*⁽⁵⁾, de la obra *La Ciencia en tus manos*, es algo que por su complejidad y extensión me resulta difícil y que, por otra parte, es extraordinariamente atrayente dada la importancia que este órgano tiene en nuestras funciones vitales más importantes. Al lector interesado en conocer en mayor profundidad los temas aquí tratados, lo remito a dicho capítulo, que no dudo encontrará sumamente interesante.

En el segundo milenio, la neurociencia, disciplina dedicada al estudio del sistema nervioso, constituye una punta de lanza de la biología y de la biomedicina moderna. El cerebro es un órgano con más de cien mil millones de células y cada una de ellas establece como media mil conexiones con sus vecinas, mediante múltiples prolongaciones con un diámetro inferior a la diezmilésima de milímetro y una longitud superior a un metro. Su extraordinaria complejidad estructural y funcional explica la ignorancia que todavía tenemos de su conocimiento.

14.5.1. Los elementos del cerebro: células nerviosas y circuitos neuronales

Todas las células nerviosas, *neuronas*, están constituidas por un *cuerpo celular* que actúa como centro metabólico de la neurona, un tipo de prolongación más larga y fina denominada *axón* y otras más cortas y ramificadas, a veces muy numerosas conocidas como *dendritas*. Recientemente, se ha comprobado la existencia de grandes diferencias entre la estructura submicroscópica y molecular entre el axón y las dendritas. El primero contiene proteínas específicas distribuidas a lo largo de su membrana, y en él tiene lugar un tráfico de moléculas y pequeños orgánulos que viajan en ambas direcciones en su interior. Además, las diferencias entre las neuronas son debidas a sus contenidos en estructuras filamentosas, conocidas como *microtúbulos* y *neurofilamentos*, de distribución variable en cada célula y que forman el *citoesqueleto*. Tanto en el cuerpo celular como en las dendritas, también se producen diferencias en las proteínas que sintetizan y que resultan muy variadas, dando al cerebro una muy alta expresión de la información genética contenida en el ADN.

Más numerosas que las neuronas son las células *glía* que las envuelven por todas partes. Su misión es diferente a la de las neuronas, pues además de recubrirlas y aislarlas eléctricamente entre sí, actúan como soporte físico para su crecimiento, para la captación de neurotransmisores y detritus celulares, defensa para la infección, entre otras funciones.

Ramón y Cajal estableció la hipótesis de que la denominada «honda nerviosa» se transmitía desde las dendritas al cuerpo neuronal y desde este al axón. Asimismo, fue el primero en establecer que las células nerviosas se comunica-

ban entre sí mediante conexiones especializadas que denominó *sinapsis*. Hoy se conoce que el número, actividad, plasticidad y modulación funcional de estas conexiones son la base de muchas de las más complejas actividades del cerebro.

Los denominados *potenciales de acción* o *impulsos nerviosos* son señales eléctricas conducidas a gran velocidad por los axones individuales, que permiten transmitir la información a grandes distancias, con elevadas frecuencias en algunas células (1.000/s); la codificación de la frecuencia constituye el principal método de transmisión en el sistema nervioso, de tal manera que una neurona puede transmitir a otra las características del mensaje (duración, intensidad, etc.) expresándolo en una frecuencia de descarga del impulso nervioso.

Las células nerviosas poseen una membrana fosfolipídica en la que se insertan unas proteínas denominadas *canales iónicos*, que se comportan como poros submicroscópicos a través de los cuales pueden pasar iones inorgánicos de sodio, potasio, cloro o calcio. Entre el interior y el exterior de la membrana y en condiciones de reposo, existe una diferencia de potencial, electronegativo en el interior, de 60-90 mV. Cuando por alguna circunstancia externa se excita la membrana, se produce una apertura selectiva de los canales iónicos, desapareciendo la diferencia de potencial durante milisegundos. Este cambio es el que conocemos como potencial de acción o impulso nervioso.

En los últimos años, el avance y conocimiento de cómo funcionan los canales de los diferentes iones, ha experimentado un gran avance. La genética molecular ha logrado distinguir como entidades moleculares diferentes una gran cantidad de canales, que se diferencian entre sí por sus propiedades funcionales características, apertura, cierre, inactivación, etc. Los conocimientos de las bases iónicas de excitación de las neuronas han tenido una gran importancia en el avance de los fármacos empleados en el control del sistema nervioso, desde los anestésicos locales hasta los antidepresivos.

Para la detección de las acciones externas que inciden sobre nuestro organismo así como de los continuos cambios que ocurren en nuestro interior, el sistema nervioso dispone de las denominadas *neuronas sensoriales primarias* que tienen su cuerpo celular en los ganglios sensoriales y mandan su axón a todos los órganos y tejidos, formando parte de los nervios periféricos, los cuales actúan como receptores de los cambios que se producen y los transforman en potenciales de acción.

A su vez, las neuronas responsables de mover los músculos del cuerpo, *motoneuronas*, que tienen su cuerpo en la médula espinal y en el cerebro, mandan sus axones fuera del sistema nervioso central, a través de los nervios periféricos, los cuales actúan sobre el músculo. La velocidad a la que se conducen los impulsos nerviosos a través de los nervios periféricos y de sus axones es vital para la pervivencia de la especie, ya que detectan las acciones peligrosas y mandan los impulsos para evitarlas. La respuesta a estas acciones del medio ambiente ha sido el aumento del diámetro de los axones y su recubrimiento de una cápsula de *mielina*. Esta sustancia, producida por las células glía y de

composición compleja, actúa como un aislante eléctrico, interrumpido a tramos de 0,2-2 mm, entre los que salta el potencial de acción, aumentando su velocidad de conducción hasta unas cincuenta veces superior a la de los axones que no tienen mielina. Su daño o modificación ocasiona enfermedades graves del sistema nervioso, tales como la esclerosis múltiple.

14.5.2. Neurotransmisores e intercambio de señales entre neuronas

A finales del siglo XIX ya se conocía que la comunicación entre las neuronas se producía mediante contactos, sinapsis, entre las terminaciones axónicas de una neurona y el cuerpo o las dendritas de otra. Se discutía si estos contactos eran de tipo eléctrico o químico. En 1921 Otto Lewi fue el primero en demostrar que las fibras nerviosas parasimpáticas del corazón, cuando se activaban, liberaban una sustancia química, la acetilcolina, que retrasaba su frecuencia de contracción. Más tarde, P. N. Bernard Katz y sus colaboradores, confirmaron la hipótesis de que la despolarización de la terminación presináptica liberaba un neurotransmisor químico que se difundía hasta la membrana contigua postsináptica de la otra célula nerviosa, produciendo su despolarización y eventualmente un potencial de acción. Otros investigadores continuaron estos trabajos de forma intensiva, dado que el funcionamiento cerebral se apoya en las conexiones entre sus neuronas, y a finales del siglo XX una gran parte de la farmacología cerebral se orienta a controlar y modular los procesos en los que se fundamenta la transmisión sináptica.

Los estudios efectuados han permitido conocer el proceso por el que se liberan los neurotransmisores, que resumimos a continuación. Cada terminación nerviosa contiene una vesícula llena de neurotransmisores, denominadas *vesículas sinápticas*. En estado de inactividad, estas vesículas se hallan ligadas al citoesqueleto del axón en un depósito de reserva. Desde allí se mueven a una zona especializada de la membrana, donde se almacenan y se fusionan, vaciándose después al espacio extracelular, en un proceso llamado *exocitosis*, reconstituyéndose después con recaptación del neurotransmisor que se incorpora al depósito inicial. En condiciones de reposo, la liberación del neurotransmisor, que depende del calcio presente en el interior de la terminación nerviosa, ocurre espontáneamente y en pequeña medida. En condiciones de excitación por el potencial de acción, entra mucho más calcio en las terminaciones, por abrirse muchos canales iónicos, y el proceso de vaciamiento de los neurotransmisores hacia el espacio extracelular se acelera, con lo cual los receptores de la terminación postsináptica captan el neurotransmisor, cumpliéndose así el proceso de transmisión sináptica.

La naturaleza ha utilizado como neurotransmisores sustancias que se emplean para otros fines en nuestro organismo. Así, son neurotransmisores los aminoácidos, los péptidos, algunas aminas derivadas de ambos. Un neurotransmisor relevante es la acetilcolina. Los avances de la neuroquímica en la

segunda mitad del siglo xx han permitido caracterizar multitud de moléculas neurotransmisoras, tales como la dopamina, la adrenalina, y la neuroadrenalina, que juegan un papel muy importante en el sistema nervioso central, en funciones de regulación del movimiento, del estado de ánimo o la atención. Otros neurotransmisores participan en funciones cerebrales, tales como el sueño, la conducta emocional o la regulación del estado de ánimo.

Otro de los hallazgos de la neurobiología celular han sido los receptores de las células diana. Muchos de estos son canales iónicos que se abren por unión con el neurotransmisor durante milésimas de segundo, en lugar de hacerlo por el potencial de acción. Durante este instante dejan pasar sólo iones de sodio que despolarizan la célula postsináptica. La biofísica y la biología molecular han aportado en la última década del siglo xx una amplia información sobre su composición, su origen genético y su unión al neurotransmisor. De esta información se deduce que existen dos grandes familias de receptores: los de glutamato y los de otros transmisores de molécula pequeña como son los nicotínicos, entre otros.

Como efecto importante de la acción finalizadora del neurotransmisor, es su recaptación por la terminación nerviosa que lo ha liberado, que de esta forma lo recapta en parte finalizando el efecto sináptico. Este proceso tiene gran importancia, pues su bloqueo farmacológico como, por ejemplo el que efectúa el antidepresivo Prozac, puede modificar la actividad sináptica y con ello el funcionamiento neuronal.

Dado que prácticamente todas las funciones cerebrales dependen de las sinapsis química del cerebro, no es de extrañar que gran parte de la investigación moderna de la neurobiología se oriente a clarificar los mecanismos sinápticos, las diferentes moléculas que participan en la transmisión de las señales de unas neuronas a otras, para regular la acción sináptica mediante fármacos específicos, sin alterar las otras funciones cerebrales.

14.5.3. El cerebro: desarrollo, funciones cognitivas, emociones, aprendizaje, memoria y alteraciones

De una forma resumida desarrollaremos esta parte tan interesante del capítulo del Doctor Belmonte que estamos comentando.

Desarrollo. El estudio de los procesos que tienen lugar en sistema nervioso para el desarrollo del cerebro, desde el embrión hasta el animal adulto, constituye el campo de la neurobiología en el que han surgido mayores novedades en las postrimerías del siglo xx. La genética y biología molecular han permitido en pocos años dar un gran paso en el conocimiento de las etapas más significativas en la formación del sistema nervioso y en la organización de sus circuitos neuronales. La organización neuronal tiene lugar en varias etapas, durante las cuales se efectúa una selección de aquellas neuronas que servirán para la conexión y se eliminan las que no son necesarias para la consoli-

dación del cerebro del adulto. La formación pasa por tres fases: *la formación del tubo neuronal, la diferenciación de las neuronas y la formación de sus circuitos*.

En los primeros estadios embrionarios, el sistema nervioso aparece como un conglomerado de células que se sitúan en la parte dorsal del embrión, formando una placa engrosada de su capa superficial, denominada la ectodérmica. Posteriormente, esta placa neural se incurva y se cierra para formar un tubo neuronal que se flexiona varias veces. Uno de sus extremos da origen al cerebro y el otro, la porción más caudal, origina la médula espinal. A finales del siglo XX se ha logrado identificar muchas células no neurales vecinas, que actúan como inductoras de la génesis de las células neuronales. El destino final de que una célula ectodérmica se convierta o no en célula neuronal se decide por las células vecinas que activan o no a genes neurogénicos, determinando que esas células se conviertan o no en neuronas. Las que lo hacen emigran grandes distancias hasta alcanzar su posición final, en donde las células vecinas determinan sus características definitivas, particularmente los neurotransmisores que se expresarán en su entorno por los factores químicos específicos. Una vez que se ha completado la formación de la neurona y su contenido, el próximo paso es la formación de los complejos circuitos en los que se basa el funcionamiento del sistema nervioso. Estos se forman mediante los axones de las células nerviosas, los cuales se dirigen a una célula específica y escogen su contacto en una zona específica de esta, ignorando en su camino otras posibilidades de sinapsis. Se han propuesto dos alternativas para explicar el sistema de selección, pareciendo la más verosímil la de Roger W. Sperry, según la cual la selectividad de las conexiones durante el desarrollo se debe a que existe una precisa compatibilidad entre señales químicas de las células pre y postsinápticas. No obstante, se ignora todavía si el mecanismo que induce a la selectividad de las conexiones es o no de naturaleza genética.

Funciones cognitivas. El cerebro humano es de una gran complejidad anatómica que se aprecia en el aspecto de su superficie llena de pliegues, surcos, recovecos, debido a que su crecimiento evolutivo ha tenido que adaptarse a la capacidad del cráneo que lo contiene, el cual ha seguido en su evolución unas dimensiones proporcionadas a la del resto del cuerpo. Este extraordinario desarrollo de la corteza cerebral en los humanos, ha ido paralelo a la adquisición de capacidades excepcionales para la captación, elaboración, almacenamiento y uso de la información sensorial, lo que se conoce con el nombre de *procesos cognitivos*.

La evidencia de que las funciones cognitivas estaban vinculadas con la conducta humana, impulsó a algunos científicos desde finales del siglo XIX a buscar las zonas del cerebro relacionadas con determinadas funciones del mismo. Así, el francés Pierre Paul Broca observó, entre otras, que una lesión localizada en un lugar específico del lóbulo frontal del hemisferio cerebral izquierdo producía incapacidad para hablar, a pesar de que el aparato motor del lenguaje permanecía intacto. La heterogeneidad de las distintas áreas de la corteza cere-

bral fue puesta de manifiesto por Korbinian Brodmann, el cual elaboró un mapa de la corteza cerebral, todavía vigente, dividida en 52 áreas corticales que podrían servir de sustrato a diferentes funciones cerebrales. Sin embargo, el gran avance de la neurociencia se ha producido a finales del siglo xx, al poner de manifiesto las bases biológicas de muchos procesos mentales tales como: la percepción, la acción, la memoria o el lenguaje. Ello se ha logrado integrando metodologías muy diversas, las cuales han permitido el conocer la ubicación cerebral y el análisis experimental de procesos mentales complejos, como el recuerdo de una situación o la planificación de un acto motor. En procesos mentales más complejos, tales como la consciencia, parece razonable pensar, que como ya ocurre con otros procesos mentales más simples como la percepción visual o la memoria, se llegue a comprender cómo el cerebro construye esa compleja y aparentemente inextricable función.

Emociones. Las experiencias sensoriales, visión, tacto, olfato, etc., raramente son neutras y nos hacen experimentar, en mayor o menor grado, sentimientos de placer o displacer. Nuestra actividad cerebral, que procesa continuamente percepciones o experiencias memorizadas, viene acompañada de estados de ánimo variados tales como alegría, tristeza, miedo, depresión, etc., a los cuales definimos como estados emocionales. En estos hay dos componentes distintos: el emocional y el fisiológico. Así, el miedo, estado consciente emocional, viene acompañado de reacciones biológicas bien definidas tales como aceleración del corazón, sudoración, temblor, palidez, etc.

Análogamente a como ha sucedido en otras áreas del sistema nervioso, ha sido a finales del siglo xx donde se han clarificado los mecanismos cerebrales que ponen en marcha y coordinan las reacciones físicas del organismo producidas por los estados emocionales. Así, hoy se conoce que el hipotálamo, localizado en el centro de nuestro cerebro, es la estructura que coordina el conjunto de la respuesta emocional inconsciente. Controla por un lado, al sistema nervioso autónomo responsable de la frecuencia cardíaca y respiratoria, las modificaciones del flujo sanguíneo, la erección del pelo, cambios de la movilidad intestinal, mide los niveles de glucosa y de las hormonas gastrointestinales que motivan el inicio o interrupción del apetito, etc. Pero además, integra las acciones motoras adecuadas a las características del estímulo, elaborando una respuesta coherente y proporcionada. Además, en el cerebro existen áreas del neocórtex que forman parte del denominado sistema límbico, que parecen ser estructuras implicadas en la génesis del componente consciente de la emoción, muy especialmente de la del miedo.

Intercalada entre la parte de las estructuras corticales del comportamiento consciente y el hipotálamo, se encuentra una estructura, la amígdala cerebral, en donde parece ser que se integran ambos componentes de la emoción. Los pacientes que tienen lesiones localizadas en la amígdala son incapaces de interpretar estados sensoriales de temor, pero siguen respondiendo con los cambios vegetativos tales como taquicardia, sudoración, palidez, etc., sin saber asociar conscientemente el estímulo con las consecuencias negativas que promueve.

Las neuronas situadas en el área denominada tegmental anterior, que contienen el neurotransmisor dopamina y se proyectan a la corteza límbica, parecen estar implicadas, en animales de experimentación, en los mecanismos de refuerzo y recompensa, equivalentes a los que generan en el ser humano sentimientos de satisfacción y placer. Se cree que es en esta vía en donde actúan muchas de las drogas como la cocaína, las anfetaminas, la nicotina, etc., que o bien aumenta la liberación de dopamina, con la sensaciones de placer, o reducen las acciones inhibitorias de otras neuronas sobre ellas.

Aprendizaje y memoria. Nuestra conducta en el tiempo se determina por tres factores: los genes, que preestablecen determinadas capacidades de acción sobre varios estímulos; el aprendizaje, mediante el cual adquirimos información sobre el mundo exterior y la memoria, mecanismo con el cual almacenamos la información, codificada, para su posterior utilización, cuando la necesitamos.

Existe evidencia de que la memoria no es una función cerebral unitaria, como tendemos a pensar normalmente. Según el contenido y características de la información recibida, existen varios tipos de memoria. Una a corto plazo, que permite almacenar la información sólo durante segundos o minutos. Otra a largo plazo extendida, a periodos muy prolongados que pueden abarcar toda la vida de la persona.

Dentro de la memoria a largo plazo, se ha logrado identificar un tipo de memoria, denominada implícita, que es la que nos capacita para llevar a término tareas secuenciales, recordándolas de manera inconsciente y que forma parte del aprendizaje automático de ese tipo de tareas y que se adquiere por la repetición; este tipo de memoria se da en toda la escala animal, desde el caracol al hombre y posiblemente refleja una adaptación biológica a presiones ambientales ligadas a la supervivencia. Eric R. Kandel ha sido el científico que en el último cuarto del siglo xx más ha contribuido a clarificar los mecanismos que a escala celular explican cómo se puede almacenar, de modo transitorio o permanente, la información en una neurona aislada y en un circuito neuronal, como base de lo que llamamos memoria a corto plazo o memoria implícita.

El otro gran tipo de memoria a largo plazo es la denominada memoria explícita, mucho más flexible que la anterior, y que nos permite recordar personas, acontecimientos, lugares, etc., y sus significados, mediante un acto mental deliberado y consciente. A su vez, la memoria explícita tiene dos componentes: la llamada memoria episódica, que nos permite recordar los acontecimientos, las personas y las experiencias personales, y la memoria semántica, que nos capacita para el recuerdo de objetos y hechos, y el de las palabras y su significado.

El estudio de las lesiones cerebrales y su relación con la pérdida de memoria explícita, ha permitido el estudio de alguno de los mecanismos neuronales en los que se fundamenta la memoria explícita. En un caso, un paciente con lesiones en los lóbulos temporales internos, conservó la capacidad de aprendizaje reflejo, manteniendo la posibilidad de aprender acciones motoras ligadas a

apreciaciones sensoriales que no son conscientes, como por ejemplo resolver un rompecabezas a fuerza de repetirlo, si bien, en sucesivas experiencias, no recordaba haberlo practicado nunca. En la memoria explicativa intervienen muchas estructuras cerebrales localizadas en la corteza que sintetizan la información recibida de la piel, músculos, articulaciones, visual y auditiva, enviándolas a otras estructuras localizadas en la corteza temporal: Cada una de estas estructuras juega un papel en la memoria explícita, así el hipocampo es muy importante para la adquisición de la memoria espacial y en menor grado que otras áreas para el reconocimiento de objetos, de tal forma que lesiones en el hipocampo afectan profundamente a aquélla. No obstante, todavía se está lejos de conocer de modo coherente cómo se organizan los procesos de la memoria explícita. Cabe esperar que en los próximos años, la investigación en neurobiología celular pueda aclarar los procesos que ocurren a nivel celular con la compleja interacción entre las diversas áreas neuronales de la corteza cerebral que nos proporcionan la capacidad de rememorar experiencias y conocer la diversidad del mundo exterior.

14.5.4. Enfermedades neurológicas y mentales

Hemos creído conveniente, aunque de forma muy breve, resumir este apartado del Doctor Belmonte, dado el doloroso impacto social de este tipo de enfermedades en la época actual, así como las perspectivas existentes en la atenuación de sus dramáticos efectos o sus posibilidades de curación. Entre las diferentes enfermedades se pueden señalar: la esquizofrenia, la depresión, la ansiedad, la enfermedad de Alzheimer y la de Parkinson. El efecto más prometedor es que algunas de las enfermedades que parecían inaccesibles a la comprensión científica, empiezan a ser entendidas en sus fundamentos moleculares y celulares, abriendo así una esperanza a la aplicación de tratamientos más eficaces.

La esquizofrenia ha podido asociarse a una alteración poligénica que afecta a entre tres y diez genes. Esta alteración no parece ser su única causa y se ha sugerido que al defecto genético pudiera añadirse una enfermedad infecciosa o una lesión perinatal, que afectaría a modificaciones en la corteza frontal, el hipocampo y el *globus pallidus*. Por otra parte, la neurofarmacología ha establecido que los diferentes síntomas que presenta la enfermedad, tales como alucinaciones, delirio, aislamiento social, actividad baja, etc., podrían corresponder a un mal funcionamiento de los diferentes circuitos cerebrales que usan la dopamina como neurotransmisor. Aunque las drogas que se utilizan hoy para paliar los síntomas de la enfermedad tienen una acción sobre los receptores dopaminérgicos, puede que existan otros neuroreceptores implicados.

Otro grupo de enfermedades mentales que actúan sobre el estado de ánimo son la depresión y la ansiedad. La depresión unipolar, endógena o melancólica, es una enfermedad caracterizada por un estado negativo, sin causa externa que lo justifique, que suele ir acompañada por una falta de interés del paciente por todo lo que le rodea, que le impide disfrutar de cualquier cosa y que en los

casos extremos puede llevar al enfermo al suicidio. La depresión tiene orígenes hereditarios y parece ser el resultado de una alteración del cromosoma 18, aunque también las condiciones ambientales de la vida moderna, principalmente el estrés, contribuyen a la aparición de la enfermedad. Durante los ciclos depresivos, se observa una actividad anormalmente baja en los circuitos cerebrales implicados en la emoción, lo cual lleva a formular la hipótesis de que su causa es un déficit cerebral en aminos biogénicos, dado la gran eficacia sobre ella de fármacos tales como los inhibidores de la monoaminooxidasa y los compuestos tricíclicos. También en este tipo de enfermedad es necesario una investigación más profunda para conocer los mecanismos celulares que se alteran con esta enfermedad.

A lo largo de la vida del individuo pueden aparecer muchas otras alteraciones nerviosas, producidas por diferentes causas. En algunas de ellas, el envejecimiento cerebral parece ser un factor importante en su aparición. En los últimos años se ha establecido con mayor precisión la relación casual entre la aparición de mutaciones genéticas y el desarrollo de enfermedades neurodegenerativas como la de Alzheimer o la de Parkinson.

La enfermedad de Alzheimer ocasiona graves alteraciones en los cambios cognoscitivos y de memoria de las personas. Ello es producido por: la formación en algunas neuronas de ovillos neurofibrilares que contienen la proteína β -hiperfosforilada dentro del cuerpo neuronal y de las dendritas; porque se forman depósitos extracelulares de la proteína β -amiloide, originando placas seniles que causan la lesión de las neuronas. La generación excesiva de radicales libres y residuos proteicos, también es causa de la muerte neuronal. Actualmente, se carece de un tratamiento específico para esta enfermedad, si bien se busca activamente en inhibir la formación de amiloide, en reducir la reacción inflamatoria local y en intentar rescatar las neuronas y sinapsis dañadas, mediante la aplicación de neurotrofinas. El diagnóstico precoz es otra de las metas que se persigue.

En la enfermedad de Parkinson se producen acumulaciones de una proteína, α -sinucleína, en el citoplasma de algunas neuronas y muy especialmente en las de la sustancia negra, un núcleo neuronal muy implicado en el movimiento. Ello da lugar a la destrucción de neuronas dopaminérgicas y consecuentemente a la ausencia de los efectos sinápticos de la dopamina sobre las neuronas del cuerpo estriado, el principal núcleo motor del cerebro. El resultado es un trastorno motor que se caracteriza por temblor, rigidez y movimientos lentos. El origen del Parkinson es todavía desconocido, si bien se piensa que existen diferentes causas que lo pueden producir, tales como mutaciones genéticas en algunas familias o por intoxicación química.

Los tratamientos de las enfermedades cerebrales degenerativas suelen ser diversos. Suministro de fármacos como la L-dopa, un precursor de la dopamina, que será transformado en esta, sustituyendo el neuro transmisor deficitario; antioxidantes y sustancias neuroprotectoras para prevenir la muerte celular y otros en vías de ensayo.

14.6. Biotecnología

Este apartado se fundamenta en el Capítulo 14, Biotecnología, de la obra *La Ciencia en tus manos*, cuyo autor es el profesor Ángel Martín Municio. Sin desmerecer a los otros capítulos que forman la citada obra y, tal vez, por un gran interés por mi parte por estos temas, y me atrevo a creer que por parte de los lectores a quienes va dirigida esta obra, los futuros doctores, la extensión de este resumen esté, tal vez, descompasada. No obstante, espero que su actualidad e interés lo justifique.

La *Biotecnología* ha sido definida por la OCDE en 1982 como la «*aplicación de los principios científicos y técnicos al tratamiento de materiales por agentes biológicos con el fin de obtener bienes y servicios*». Los *agentes biológicos* son principalmente microorganismos, células animales y vegetales, y preparaciones enzimáticas. Los *bienes y servicios* son productos de las industrias de la alimentación y bebidas, de los sectores médicos y farmacéuticos y de la industria textil.

14.6.1. Historia

La historia de la biotecnología puede dividirse en tres etapas: La primera etapa, de veintitantos siglos, comprende desde los orígenes de la cultura del hombre hasta el siglo XVIII. Se puede decir que sus orígenes más remotos se encuentran en el Neolítico, con la domesticación de los animales, la producción agrícola y el asentamiento estable de pequeñas poblaciones. Todo ello forzó las artes culinarias con la aparición de nuevos instrumentos que transformaron la manera de conservar los alimentos. Varios miles de años antes de Cristo ya se conocían la forma de obtener mediante *fermentaciones* la obtención de cerveza, el pan y el vino, así como los más famosos colorantes procedentes del reino animal y vegetal utilizados en la tintura del lino y la lana. Durante la época de la Grecia clásica, los filósofos buscaron la *sustancia primaria* que originaba las fermentaciones. Más tarde Plinio, en su obra *Historia natural*, describe la tecnología para obtener nuevos productos. Poco dio de sí la ciencia de estos campos durante la Edad Media, salvo su lucha por desasirse del lastre de la Antigüedad.

La segunda etapa se inicia con la *revolución científica* de Lavoisier con la interpretación de la combustión, la respiración y la producción de calor, basada en la nueva teoría del oxígeno. Ello produjo la separación entre la química y la biología y empezaron a esclarecerse la naturaleza biológica y química de las fermentaciones. A finales del siglo XIX Pasteur dio el soporte biológico a lo iniciado por Lavoisier, abandonándose la filosofía vitalista y surgiendo la *bioquímica* y posteriormente la *biología molecular*. La *biotecnología* de la primera mitad del siglo XX, se dedicó fundamentalmente al estudio de las propiedades de las enzimas con el fin de mejorar las cualidades de los alimentos. Adquieren importancia los factores económicos y los problemas sociales de la

salud y el medio ambiente, lo cual lleva buscar soluciones en *biotecnologías específicas*. Pasado el ecuador del siglo XX, la bioquímica pudo ofrecer a la biología y a la química el estudio del metabolismo, la especificidad enzimática y su localización celular. Una tendencia científica crítica sobre la manera semi-descriptiva de los tratamientos biológicos de la bioquímica, dio origen al nacimiento de la biología molecular, como una forma reduccionista de la física a la biología, que llevó al empleo de las técnicas físicas, sobre todo a la *difracción de rayos X* y los *métodos espectroscópicos* de todo tipo para elucidar las estructuras químicas de importancia biológica. La biología molecular bajo ese prisma perdió su novedad al cabo de varias décadas, volviéndose a encontrar con los métodos e ideas de la biología, logrando una mayor extensión y realismo y con los métodos y conceptos de los nuevos campos de la biología celular, la genética, la virología, la microbiología y la inmunología. Con ello se llega a una ciencia biológica unificada.

La tercera etapa, fruto de la anterior, ocupa las tres o cuatro últimas décadas del siglo XX y constituye la *tercera revolución* y dentro de ella, la tecnología del DNA-recombinante representa un cambio en las perspectivas de la humanidad, al originar los diferentes campos del conocimiento en conexión con la *biotecnología moderna*, múltiples variantes de esta, tales como: la *fabricación bacteriana* de las proteínas del ser humano, la *ingeniería de proteínas*, el conocimiento y las aplicaciones del *genoma humano* y de otros seres vivos, la *farmacología de los medicamentos antisentido*, los *medios de diagnóstico*, las *especies transgénicas* y su gran variedad de aplicaciones, *las vacunas*, *los animales clonados*, *las plantas clonadas* al abrigo de infecciones, de rápido cultivo, tierra artificial y sol ficticio, el *biogás*, la *biomasa*, los *biochips* y los *biosensores*, etc., todo lo cual está en sus inicios y se verán desarrollados, con otros nuevos que se presentarán, a lo largo del siglo XXI.

La biotecnología moderna tiene sus raíces en el conocimiento científico de *la estructura y función de los biopolímeros*, proteínas y los ácidos *dexorribonucleicos* (ADN), responsable de la información en los genes, y las distintas clases de los ácidos *ribonucleicos* (mRNA, tRNA, rRNA), responsables de la expresión genética conducente a la gran especificidad de las proteínas, expresada a través de sus diferentes niveles estructurales y la gran variedad de sus funciones. El conocimiento de la expresión genética tuvo su punto crucial en 1953, con el descubrimiento de la *doble hélice* propuesto en 1953, produciéndose a partir de dicha fecha, en las dos décadas siguientes, una gran cantidad de avances científicos, entre los cuales se pueden citar:

- Descifrado del *código genético*.
- Descripción con gran detalle de la maquinaria celular y los procesos bioquímicos implicados en la *replicación del ADN* y en la *biosíntesis de proteínas*.
- Desarrollo de un modelo que interpreta la *regulación de la biosíntesis de las proteínas* en bacterias.

- Obtención por primera vez de la *síntesis química de un gen*.
- Conocimiento de la estructura primaria, secuencia, de las proteínas.

Basado en estos conocimientos, en la década de los setenta se dirigió la atención hacia la *diferenciación celular* y el *desarrollo*, como mecanismos dependientes de la regulación de la expresión del ADN. En esta década, ante los conocimientos teóricos adquiridos y la carencia de aplicaciones de interés, se adopta, conjuntamente entre científicos, empresarios y las grandes ayudas de la Agencia de Promoción de la Investigación en EUA, el proyecto común de *la inserción en una célula de fragmentos de ADN de otra procedencia*. El conjunto de los conocimientos adquiridos en este proyecto condujo a lo que habría de conocerse como *tecnología del ADN recombinante*, componente fundamental de la *ingeniería genética*. Esta técnica permite la replicación del *ADN* en el seno de las bacterias, lo cual puede modificar el patrimonio genético de un organismo, el humano incluido, mediante la transferencia de genes aislados o creando secuencias artificiales de información genética, con lo que se consigue *añadir nuevas propiedades o cambiar las existentes* de una simple célula o de un organismo superior. Con ello, se pueden obtener microorganismos, animales o vegetales transgénicos, de forma que se puedan producir sustancias útiles o de nuevas características deseables.

Otros avances fueron dirigidos hacia el objetivo científico-tecnológico de lograr la *síntesis de proteínas específicas*, lo cual se produjo, por primera vez, en 1977 con la síntesis bacteriana de una proteína humana: la *somatostatina*. El conjunto de una serie de resultados experimentales condujo, a finales de los setenta, en la expresión en bacterias de toda una variedad de genes animales entre los que se encontraban los de la hormona del crecimiento, insulina e interferón.

En los años 1979-1980 se produce la aceptación política de las nuevas tecnologías biológicas, impulsándose la colaboración entre las universidades y el sector privado mediante las ayudas de la National Science Foundation y la promulgación de dos importantes incentivos legales en EUA. Los nuevos hallazgos impulsan con más fuerza la investigación en la década de los ochenta en la *diversificación de la biotecnología vegetal* y en la obtención de *reactivos biomédicos*.

14.6.2. Aplicaciones de la biotecnología

Las aplicaciones de la biotecnología son muy variadas, si bien las primeras se centraron en la salud y en los vegetales.

Entre otras aplicaciones, la tecnología del ADN-recombinante ha permitido transmitir a ciertas bacterias el gen propio de la insulina y el de la hormona del crecimiento del hombre, y producir de forma industrial estas hormonas simul-

táneamente al crecimiento bacteriano. En otros casos, ha permitido la obtención de sustancias como el *interferón*/ utilizado en ciertos tipos de leucemia o de sarcoma de Kaposi, del *activador tisular del plasminógeno* de gran utilidad en el infarto agudo de miocardio, del *factor VIII* que reemplaza al factor natural carente en los hemofílicos.

En la década de los noventa, las técnicas de *micropropagación in vitro* que contribuyen al acortamiento de los largos y caros métodos de producción, crecimiento y evaluación de muchas especies vegetales; la propagación selectiva de muchas plantas ornamentales y el empleo de cultivos de células vegetales; la mejora de la resistencia a herbicidas, virus e insectos específicos.

Como era de esperar, al percatarse la industria de las posibilidades que ofrecía la biotecnología, ya en los años 1975 y sobre todo a finales de 1976, una serie de compañías multinacionales crean sus propios programas de investigación en dicha área. Entre otras, Hoffman-La Roche, Merck, Upjohn y Miles. En los años 1977-1978 se crean diversas compañías para la explotación de los resultados científicos, tales como Genex Corporation en Estados Unidos y Biogen en Europa. A partir de esas fechas toda una serie de compañías multinacionales empiezan a efectuar inversiones en las compañías de ingeniería genética, de tal manera que la biotecnología ha jugado un gran papel en la reconversión tecnológica y en la diversificación de la economía. Las líneas principales de actuación a principios del siglo XXI, se indican en la Tabla 14.2 según el profesor Martín Municio.

Dentro de las principales vías de actuación de la aplicación de la biotecnología indicadas en la Tabla 14.2, nos referiremos resumidamente a algunas de ellas.

Las nuevas biotecnologías se aplican en la explotación vegetal con fines comerciales en los casos de:

Obtención de plantas transgénicas con distintos objetivos:

Aumento de la producción y de la calidad. Así, en el caso del algodón se ha logrado reducir el empleo de herbicidas, aumentar la producción y mejorar la resistencia de la fibra. Además, en el año 2004, será posible la obtención de un algodón de color azul, similar al del índigo, evitando la tintura de aquél con el consiguiente acortamiento del ciclo de ennoblecimiento y de un menor efecto contaminante en las aguas de vertido. En el tomate, la introducción de un gen que inhibe la formación de la pectinasa, ha logrado obtener un producto con tesura constante. La mayor resistencia a los efectos de las heladas en los vegetales superiores se ha logrado mediante el tratamiento de las plantas con cultivos bacterianos de *Pseudomonas syringae*, privando al gen responsable de la elaboración de una proteína que actúa como núcleo de cristalización del hielo.

Obtención de materiales para el diagnóstico de plantas. Mediante estos materiales es posible conocer las enfermedades de las plantas y actuar genéticamente para evitarlas.

Tabla 14.2. Líneas principales de actuación en Biotecnología

PROTEÍNAS HUMANAS <ul style="list-style-type: none"> — Anticuerpos monoclonales, citoquinas (interferones, factores estimulantes de colonias), enzimas (activador tisular de plasminógeno), hormonas (insulina, eritropoyetina, hormona de crecimiento), vacunas — Enzimas híbridas
INGENIERÍA DE PROTEÍNAS. INGENIERÍA METABÓLICA Y DE TEJIDOS <ul style="list-style-type: none"> — Proteína pancreática (GAD) responsable de la diabetes tipo 1 — Metabolitos, aceites — Ingeniería de tejidos, biomateriales
FARMACOLOGÍA, ENZIMOLOGÍA INDUSTRIAL, BANCOS DE CÉLULAS <ul style="list-style-type: none"> — Vacunas, vacunas-ADN, terapia antisentido, tripleshélices — Productos biofarmacéuticos. Biomasa. Alimentos fermentados — Cultivos de células vegetales y animales. Microprogramación <i>in vitro</i> — Células embrionarias totipotenciales
MANIPULACIONES GENÉTICAS <ul style="list-style-type: none"> — Plantas transgénicas. Hemoglobina humana en tabaco. Arquitectura floral — Materiales vegetales industriales. Polímeros degradables — Animales transgénicos. Peces y aves transgénicos — Terapia génica. Terapia antitumoral. Reproducción asistida — Clonación — Proteínas terapéuticas en mamíferos
BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL <ul style="list-style-type: none"> — Fitorremediación de suelos. Bioabsorción de metales. Biodiversidad
TÉCNICAS ESPECIALES <ul style="list-style-type: none"> — Reactivos de diagnóstico. Diagnóstico genético con sondas-DNA. Biosensores — Cromosomas artificiales. Electroporación. Balística de genes. Liposomas — Fecundación <i>in vitro</i>. Tecnología «terminator» — Biochips-ADN — Bioinformática
BIOTECNOLOGÍA MILITAR

Desarrollo de técnicas de micropropagación de árboles y plantas ornamentales y cultivos de células vegetales. Las plantas ornamentales, por ejemplo rosales, tulipanes y crisantemos, se han modificado genéticamente para obtener colores imposibles de lograr con los procedimientos clásicos de cruzamiento o hibridación.

Aplicaciones no alimentarias. La conversión en *biomasa* y la obtención de *productos vegetales y derivados*: celulosa, almidón, féculas y aceites vegetales.

14.6.3. El Proyecto Genoma Humano

El Proyecto Genoma Humano se inició en 1990 en Estados Unidos como un programa ambicioso. Su objetivo era *descifrar la estructura y la función del patrimonio hereditario de la especie humana*; o sea, analizar las secuencias de ADN que constituyen los genes y los cromosomas. El genoma humano contiene entre 50.000 y 100.000 genes, lo que significa unos tres mil millones de bases. Se pretende, en primer término, trazar la cartografía del patrimonio hereditario de la especie humana y disociar lo *normal* de lo *patológico* desde un punto de vista genético-molecular, con objeto de descubrir y comprender la fisiopatología de las enfermedades hereditarias que en un número aproximado de 3.000 afectan a la humanidad. Este proyecto permitirá conocer de 200.000 a 300.000 proteínas, la especificidad de cuyas funciones conforman la originalidad de nuestra especie.

En el desarrollo de este proyecto trabajan una gran cantidad de laboratorios en todo el mundo, siendo líderes los Estados Unidos, tanto en el sector oficial a través de los Institutos de la Salud americanos, como en el sector privado mediante la sociedad Celera Genomics, entre los que se ha establecido una pugna por ser los primeros en presentar el mapa del genoma humano. Finalmente, en el 2001 se alcanzó dicho objetivo, casi simultáneamente por ambas instituciones. El desafío es meramente técnico para acelerar la velocidad de secuenciación de los genes a fin de conocer su funcionalidad, que una vez hallada, servirá para patentar nuevas proteínas y nuevas terapias.

En 1999 se ha publicado la secuencia de uno de los cromosomas humanos más pequeños, el asignado con el número 22, con sus 33,4 millones de bases. A este cromosoma pertenecen unos 27 genes asociados a alteraciones patológicas, que van desde la enfermedad cancerosa a desórdenes del desarrollo fetal y del sistema nervioso. El cromosoma 22 está implicado en la esquizofrenia, la leucemia mieloide crónica y la trisomía 22.

El conocimiento del genoma humano ha conducido a la aparición de una nueva área del conocimiento biológico, conocida como la *farmacogenómica*. Los estudios que son objeto de esta área incluyen el ADN nuclear y el ADN mitocondrial, el cual tiene sus propios genes; el 60% de los pacientes de Alzheimer presentan elevados niveles de mutación del ADN mitocondrial. Actualmente, medicamentos de pequeño tamaño son utilizados para combatir los efectos de las enzimas mitocondriales, con lo que se retrasa la aparición de los síntomas de la enfermedad.

También Europa se ha sumado a estos estudios con el objeto de modernizar sus conocimientos de biotecnología y fomentar las estrategias nacionales en este campo. La Comisión Europea, mediada la década de los ochenta, ha establecido grupos de trabajo y programas que han promocionado la investigación básica, su relación con el sector empresarial y el análisis de los aspectos sociales, legales y éticos de las actividades relacionadas con la biotecnología.

14.6.4. Biotecnología militar

El empleo de la biotecnología militar, al igual que ha sucedido con los gases tóxicos, ha experimentado fluctuaciones que van desde el interés para su desarrollo y eventual empleo, hasta su prohibición y destrucción de sus arsenales mediante tratados internacionales en diferentes épocas del siglo xx, cuyos pormenores no vamos a incluir. Solamente, como ejemplo de lo expuesto, nos referiremos a la Convención sobre el Armamento Biológico que el 10 de abril de 1972 se firmó en Washington, Londres y Moscú y que habría de ser revisada en 1980, 1986 y 1991. Sin embargo, en 1981 la Administración Reagan acusó a la Unión Soviética de fabricar toxinas productoras de la *lluvia amarilla* con fines militares en Vietnam y el Sudeste Asiático, y de utilizar toxinas y otros productos tóxicos en Afganistán, Kampuchea y Laos, y de mantener un programa ofensivo químico-biológico, todo lo cual violaba los tratados anteriores. Ello, relanzó en Estados Unidos el programa de diferentes proyectos biológicos patrocinados por el Departamento de Defensa. Así, en la década de los ochenta el programa de investigación de defensa biológica puso en marcha una serie de proyectos basados en la tecnología del ADN-recombinante, para el ejército, la marina y la fuerza aérea. Entre los virus estudiados, con fines de utilización militar, destacan, por alcanzar los mayores índices de mortalidad, el virus *ébola*, los virus de la fiebre amarilla y de la viruela y el virus de la fiebre *lassa*. El año 1987 se llegó a un acuerdo entre la Administración Bush y el presidente Gorbachov para la prohibición y almacenamiento de armas químicas. Estos altos y bajos en las relaciones entre las dos grandes potencias y otros países, ha sido la pauta seguida en relación al armamento bacteriológico.

En los últimos años, científicos británicos y norteamericanos han desarrollado técnicas capaces de detectar las armas biológicas antes de que ataquen a las tropas. Asimismo, a estos modernos sistemas de detección se han desarrollado otros capaces de distinguir las variedades inocuas de las letales, mediante el análisis del ADN; sistema que no está del todo puesto a punto por el tiempo necesario para la toma de decisiones en el campo de batalla, por lo cual se está trabajando para acortar dicho tiempo.

Bibliografía

1. García Barreno P. *La Ciencia en tus manos*. Edit. Espasa Calpe, S. A., Madrid, 2001.
2. Ynduráin F.J. *La Ciencia en tus manos. El mundo del microcosmos: un siglo de física de partículas* págs. 155-193 (188-193). Edit. Espasa Calpe, S. A., Madrid, 2001.
3. Elguero J. *La Ciencia en tus manos. El mundo de la química*, págs. 195-228. Edit. Espasa Calpe, S. A., Madrid, 2001.
4. García-Sancho J. *La Ciencia en tus manos, Funciones básicas y envejecimiento*, págs. 385-416 (401-416). Edit. Espasa Calpe, S. A., Madrid, 2001.

-
5. Belmonte C. *La Ciencia en tus manos. El desafío del cerebro*, págs. 417-456. Edit. Espasa Calpe, S. A., Madrid, 2001.
 6. Martín Municio A. *La Ciencia en tus manos. Biotecnología*, págs. 487-517. Edit. Espasa Calpe, S. A., Madrid, 2001.

Actualidad y previsión tecnológica

De acuerdo con lo indicado en la Introducción del Capítulo 14, en el Capítulo 15 vamos a exponer lo relacionado con el conocimiento actual y perspectivas de algunas tecnologías, así como un resumen de los métodos empleados en la vigilancia y prospectiva industrial.

Conocimientos actuales y perspectivas tecnológicas

15.1. La sociedad de la información

En este apartado intentamos resumir lo que el Doctor Daniel Martín describe en el capítulo que bajo la denominación indicada se encuentra en la obra *La Ciencia en tus manos*⁽¹⁾. Tal como indica el autor, pág. 615, en la *sociedad de la información* hay poca ciencia, más bien *economía*.

El motor de dicha sociedad ha sido, sin lugar a dudas, *las telecomunicaciones y la informática*, y esta sociedad no se ha desarrollado hasta que ha sido posible el transmitir velozmente información compleja en *tiempo real*, es decir, casi *instantáneamente*, utilizando suficiente *capacidad*, medida en *ancho de la red* de telecomunicación. El momento actual puede considerarse como de transición, teniendo en cuenta que en un corto espacio de tiempo aparecerán *Internet de alta velocidad*, *banda ancha en el hogar* y las terminales de *móviles multimedia*.

15.1.1. Tecnologías utilizadas

La aparición del *transistor* ha hecho posible la aparición de la sociedad de la información, ya que ha permitido que una corriente eléctrica muy pequeña controle a una corriente muchísimo mayor, produciendo un efecto amplifica-

dor. El transistor consume poca energía, es de tamaño minúsculo y puede ser envasado de forma compacta y resistente, de tal manera que por sus propiedades dio lugar a los «chips» o circuitos integrados, que al aumentar su complejidad permitieron la aparición de los microprocesadores en 1971.

Un microprocesador está compuesto por multitud de transistores, diodos y resistencias integradas en una sola pieza de material semiconductor. Como consecuencia del gran desarrollo de las tecnologías de la integración, los microprocesadores actuales se componen de varios millones de transistores, constituyendo verdaderos ordenadores, que debido a su pequeño tamaño se han podido introducir en todo tipo de máquinas y dispositivos. Con ello, cualquier tipo de equipamiento o terminal ha ganado en potencia, flexibilidad, fiabilidad y a un coste cada vez menor.

Las telecomunicaciones es quizá el sector que más se ha beneficiado de la microelectrónica y la informática. Los avances en estas permitieron en la década de los setenta, época de las incipientes redes de datos, la utilización de los transistores para una nueva serie de dispositivos, imposibles de imaginar sin el concurso de aquéllos. En 1972 surge en España, de manos de Telefónica, la primera red pública española de datos por conmutación de *paquetes*, pionera en el mundo de la telecomunicación; en 1978 comienza a especificarse el TESYS, sistema de conmutación de paquetes y de gestión. En 1982 se rebautiza la primitiva red, ampliamente mejorada con los nuevos equipos, con el nombre de IBERPAC.

En esta época, la regla era una red para cada servicio y un único servicio para cada red. Pensando en el futuro se comprendió que ello era antieconómico y que era necesario el compartir estructuras (cables y equipos intermedios) y que la separación de los servicios debería estar lo más próxima posible al usuario de cada uno de ellos. Así nació la Red Digital de Servicios Integrados (RDSI) que en su propósito más amplio, pretende, ya actualmente, unificar en un único sistema físico y lógico (*hardware* y *software*) todo lo que hay entre los dos extremos de la conexión (la compañía de telecomunicación y el usuario). Ello requiere que los servicios actualmente efectuados por una multiplicidad de redes, con vocación de integrarse, o al menos de ampliar sus capacidades, para las cuales no fue diseñada, a fin de que cada una pueda dar unas prestaciones, en pie de igualdad con las originales. Es decir, se trata de buscar la *convergencia*, concepto de extraordinaria importancia en la *sociedad de la información*.

Las redes convergen en un proceso de selección natural hacia lo más económico, potente y flexible. Por ejemplo, la red Telefónica, cuyo sistema nervioso ha estado organizado en torno a la conmutación de circuitos, está adoptando la conmutación de paquetes, tecnología típica de datos, para ganar en eficiencia. Por otra parte, en lo que se denomina red de acceso, la que se encuentra entre la central local y la terminal del usuario, se está efectuando todo un esfuerzo de desarrollo tecnológico para mejorar las prestaciones de unos sencillos cables de cobre, pensados para transmitir el mínimo de ancho de banda que precisa la voz.

La aparición de Internet produce una necesaria aceleración de este proceso, ya que la opinión generalizada es que las redes futuras estarán fundamentadas en el Protocolo Internet (IP); el problema es cuándo se producirá y de qué manera se producirá la amortización de los equipos existentes. La fuerza de Internet, su gran potencial transformador de los sistemas vigentes, está en su carácter totalmente abierto, ya que cualquiera que quiera colocar en ella servicios que compitan o complementen los ofrecidos por el operador, puede hacerlo sin que nadie lo pueda prohibir.

Las principales tecnologías que están impulsando la sociedad de la información actualmente son varias, desarrollándose a diferentes niveles (transformadores físicos de la señal, codificación de textos, voz e imagen, etc.) entre ellas cabe destacar las siguientes:

- * *ATM (Asynchronous Transfer Mode)*. Es una tecnología de conmutación de paquetes desarrollada en Europa como base de la RDSI en banda ancha. Permite la integración, transporte y priorización de todos los servicios de tráfico (voz, datos y vídeo). Las redes troncales de todos los operadores mundiales son ATM.
- * *Fixed WLL (Wireless Local Loop)*. Es una tecnología inalámbrica que permite la comunicación por radio, sin necesidad de cableado de los equipos de comunicación fijos. Actualmente, su utilización se promociona, principalmente, en países que en los últimos años ha hecho grandes esfuerzos en la comunicación telefónica, tales como en Europa del Este y en Asia.
- * *xDSL (Digital Subscriber Line)*. Se utiliza para mejorar la pobreza del ancho de banda del hilo de cobre empleado tradicionalmente en la línea telefónica del abonado, pues permite alcanzar velocidades mil veces superiores a la de la transmisión telefónica normal. Su utilización actual se centra en cubrir las carencias actuales de ancho de banda para las nuevas necesidades de Internet y para los servicios en la transmisión de datos.
- * *DWDM (Dense Wave División Multiplexing)*. Se aprovecha al máximo la capacidad de transferencia de información que tiene la fibra óptica. A través de una única fibra óptica se transmiten muchos flujos de información digital en paralelo (128 actualmente), cada uno de los cuales viaja como un solo «color» distinto en la fibra óptica. Es junto con el IP, lo más relevante para el progreso y el abaratamiento de la transmisión a larga distancia.
- * *LMDS (Local Multipoint Distribution Service)*. Es una tecnología de banda ancha (26 GHz) empleada en la red de acceso y pensada para distribuir voz, datos, vídeo, bidireccional, multicanal y con posibilidades para ser utilizada en servicios interactivos. La tecnología LMDS está en el momento inicial de su desarrollo y su viabilidad técnica y económica ha de ser probada todavía.
- * *GSM*. Tecnología que constituye la base fundamental de las redes de telefonía móvil en Europa y gran parte del mundo. Proporciona servicios

completos de telefonía vocal y de datos, siendo este aspecto especialmente importante para Internet y la posibilidad de acceder al comercio electrónico desde la telefonía móvil. Actualmente, y a la espera de la implantación del sistema UMTS, se pone en marcha una modificación de GSM más rápida, llamada GPRS.

- * UMTS. Constituye la base de la tercera generación de redes de móviles. Su principal objetivo es extender a banda ancha a la telefonía móvil. Los terminales UMTS tendrán auténtica capacidad multimedia.
- * IP (*Internet Protocol*). Es un conjunto de protocolos que son la base de Internet. Los IP tienen la ventaja de ser simples. Permiten un fácil desarrollo de toda clase de nuevas aplicaciones mediante el procedimiento de situar la inteligencia en los extremos de la red (terminales) y no en la red de conmutación de paquetes. Es generalmente aceptado que en el futuro IP se impondrá como casi el único protagonista de la tecnología de la comunicación.
- * HTML (*Hyper Text Mark-up Language*) y XML (*Extensible Mark-up Language*). El primero es el lenguaje que se utiliza en Internet para «escribir» páginas *web*, y permite visualizarlas en el ordenador con cualquier sistema operativo. El segundo es el heredero del HTML, con más amplias posibilidades y permite mayor eficacia en los buscadores de Internet.
- * WAP (*Wireless Application Protocol*). Versión simplificada y limitada del HTML. Facilita el acceso a Internet a los terminales móviles de cualquier tipo.
- * GPRS (*General Packet Radio Service*). Tecnología diseñada para mejorar de forma drástica la provisión de servicios por medio de un teléfono móvil GMS, por ejemplo, acceso a Internet.
- * JDS (*Jerarquía Digital Sincronía*). Conjunto de protocolos diseñados en los años ochenta y noventa para mejorar la capacidad de las redes de transmisión, usando solamente fibra óptica. El porvenir de esta tecnología está en cuestión.
- * Televisión digital. Nueva generación de televisión en la que esta y el vídeo se transmiten en forma digital, con un ancho de banda que permite una mayor calidad que la televisión analógica. La televisión digital puede difundirse, entre otras, por satélite, cable coaxial y fibra óptica.
- * *Modem Cable*. Permite la provisión de servicios a alta velocidad sobre redes de acceso construidas con cable coaxial. Su punto débil es su posible congestión al conectar muchos usuarios al mismo tramo del cable coaxial.

En estas tecnologías existe todavía un amplio campo para la investigación tecnológica a fin de buscar una mayor rapidez, capacidad, versatilidad y seguridad en los sistemas de transmisión y organización de la información.

15.1.2. Los servicios de la sociedad de la información

Internet es una red de alcance mundial formada por redes públicas y privadas, de universidades, militares y empresas, a la que están conectadas ordenadores independientes entre sí y de la propia red. La arquitectura de Internet es similar a la de cualquier red de datos. Su columna vertebral son las redes de los grandes operadores mundiales interconectadas entre sí, con puntos de acceso jerarquizados, primarios y secundarios. Los usuarios se conectan a Internet a través de los proveedores de servicios, los ISPs, (*Internet Service Provider*), que pueden ser los mismos operadores o compañías independientes, hoy especializadas, que completan su oferta con una variedad de servicios para facilitar el acceso a la red. Además, existen los Servidores de Internet (*Web Servers*), los cuales se encargan de almacenar y distribuir la información existente en la Red.

Los servicios de Internet son múltiples pero los más populares son: el *World Wide Web* (WWW), que proporciona el acceso a las páginas de información y el *e-mail* o correo electrónico.

El WWW es el servicio que identificamos como Internet. Cuando mediante el protocolo de comunicaciones HTTP (*Hyper Text Transfer Protocol*) se solicita un acceso por un usuario, este identifica el elemento al que quiere acceder mediante designación única, *Universal Resource Locator* (URL), que gobierna el proceso de localización de la información solicitada a través de la red, y con la conexión HTTP establecida se produce la transferencia de la información en el formato HTML.

El correo electrónico es utilizado hoy por millones de personas para enviar-se mensajes profesionales o personales. Su arquitectura se basa en un servidor que posee varias funcionalidades: el almacén de mensajes, donde se reciben, guardan, leen y copian los textos; el transportador de mensajes, cuya misión es direccionarlos correctamente por la Red, mediante un protocolo SMTP (*Simple Mail Transfer Protocol*); el directorio de servicios, que permite a los usuarios disponer de información sobre direcciones y rutas *e-mail*, y, finalmente, los denominados *gateways* (*pasarelas*), que hacen posible la compatibilidad entre distintos sistemas de correo electrónico mediante un proceso de traducción de formatos, tanto de las direcciones como del mensaje.

El Internet del futuro, el Internet 2, se ha experimentado en 150 universidades norteamericanas durante el 2000 y tiene por objetivo el mejorar las prestaciones del actual, que para los investigadores se ha convertido en una pista demasiado lenta e inútil para los servicios de alta calidad. En el nuevo desarrollo, el protocolo IP versión 6, permitirá manejar grandes cantidades de información a una velocidad decenas de miles de veces mayor que la que los *modems* corrientes pueden cursar.

La telefonía móvil constituye otro de los grandes pilares en los que se asienta la sociedad de la información. Su utilización es de tal magnitud que su número ya supera al de la telefonía fija, esperándose que en un futuro alcance

un valor superior al número de habitantes, debido a la instalación de los *móviles* en vehículos, máquinas, dispositivos de seguridad o comerciales, para comunicarse con sus centros de gestión. Esta expansión ha sido posible gracias al desarrollo de un sistema que permitiese la reutilización de las frecuencias disponibles, limitadas en número.

Casi todos los analistas del sector opinan que en un futuro, dentro de tres o cuatro años, la manera de acceder a Internet se efectuará a través de los móviles. Para ello, estos tendrán que modificarse para que el usuario se acostumbre a comunicarse con Internet con una pantalla pequeña y sin teclado. La solución a los problemas que se planteen se efectuará a través del *Universal Mobile Telecommunication System*, el ya citado UMTS, sistema que se pretende que sea único y global, al que convergerán los hoy existentes y que permitirá una gran variedad de servicios de banda ancha y, por supuesto, Internet.

15.1.3. La economía de la sociedad de la información

Se ha dicho que «*en cinco años, todas las empresas serán empresas de Internet o no serán*». Con esta frase se quiere hacer resaltar la importancia que para el marketing y la distribución tendrá Internet, de forma que las empresas que no se conecten a la Red, dejarán de ser competitivas. Ello por varias razones, entre las cuales sobresalen como más importantes: *a)* la gran difusión de la existencia de una empresa y de sus productos a través de su página *web*; *b)* la posibilidad de compra directa desde suministrador a fabricante y desde este a cliente, sin intermediarios y por consiguiente a menor costo; *c)* esta forma de operar obligará a las empresas a reestructurarse interiormente, lo cual redundará en una mayor productividad, que se extenderá también a los suministradores y clientes. Por ello se dice que Internet además de ser una revolución en la comunicación, también lo es en la economía. Como en toda la problemática que estamos analizando, los Estados Unidos van a la cabeza de esta «revolución», calculándose que para el año 2001, las ventas mundiales a través del comercio electrónico alcanzarán entre trescientos mil a cuatrocientos mil millones de dólares, correspondiendo a Estados Unidos un porcentaje superior al 80%.

No obstante lo indicado, en el 2001 se ha producido un estancamiento en la venta de móviles, así como en el comercio electrónico, lo cual ha obligado, a algunas empresas punteras en esta área, a reducir personal, abaratar costes a la espera de mejores oportunidades.

15.2. Los transportes

Este resumen, correspondiente al capítulo del mismo nombre, escrito por el Doctor Ramón Fernández Durán de la obra *La ciencia en tus Manos*⁽²⁾, trata de

los problemas que la economía en su conjunto, plantea a las infraestructuras y a los medios utilizados para el transporte, así como a la incidencia de estos en el medio ambiente y en el desplazamiento de las personas hacia las ciudades. Desde la óptica de los temas tratados en *Las perspectivas tecnológicas* de esta obra, podríamos decir que se aparta algo del contexto de los temas anteriores, pero su indudable interés socio-económico nos ha parecido muy interesante e importante, por los problemas que plantea actualmente y para el futuro.

15.2.1. Consideraciones económico-sociales

A partir de la Segunda Guerra Mundial se entra en una nueva etapa económica orientada a una creciente preponderancia del comercio mundial multilateral y a la orientación paulatina de la producción hacia mercados cada vez más amplios. Las instituciones que van a regular el funcionamiento, a escala mundial, de este modelo serán: el Fondo Monetario Internacional (FMI) como elemento monetario, el Banco Mundial (BM) como elemento financiero y el Acuerdo General sobre Aranceles y Comercio (GATT) como elemento comercial. La creación de estas instituciones en Bretton Woods en 1944 y su actuación va a permitir ir sentando las bases para una globalización de la economía, sobre todo en el último periodo.

Se podrían distinguir dos grandes etapas en este proceso. La primera abarca desde 1945 hasta la década de los setenta y se caracteriza por un intenso crecimiento económico en el hemisferio norte, con un componente industrial de carácter urbano-metropolitano. Ello genera dos movimientos importantes: a) un desplazamiento de los campesinos hacia la ciudad en búsqueda de empleos más fijos y remunerados que los que ofrece el campo, planteando la necesidad de nuevas viviendas; b) un desarrollo de la motorización y el transporte por carretera, que plantea la necesidad de nuevas estructuras viarias. Ambos aspectos son atendidos por el Estado y la iniciativa privada, en proporciones diferentes, según las características económicas de cada país. En los países del hemisferio sur, es el BM el que, con la colaboración de capital privado, impulsa la construcción de infraestructuras de transporte e hidráulicas, relacionadas con los grandes proyectos del capital transnacional, capaces de dar salida a la extracción de materias primas, minerales, agrícolas y energéticas, hacia el hemisferio norte, en donde son transformadas. De estos proyectos de «desarrollo» proviene el inicio de la deuda externa de los países del hemisferio sur.

La segunda etapa se inicia con la crisis petrolera de los setenta que produce una profunda crisis del crecimiento en los países del Norte, lo cual lleva a un cambio de rumbo en las políticas económicas, caracterizado por una aceleración en los procesos de globalización de las relaciones económicas. Por un lado se inicia una paulatina aplicación de las políticas neoliberales: privatización de empresas y servicios públicos, desregulación de los mercados de trabajo y capital, etc. Por otro, se inicia la deslocalización industrial

hacia países de la periferia, (Sudeste Asiático, algunos países latinoamericanos, norteafricanos), con el fin de abaratar los costes de mano de obra. En esta segunda etapa, tienen un papel preponderante el FMI, el BM y el GAAT. El FMI a través de los planes de ajuste estructural, obligando a los países de la periferia a: *a)* la devaluación de sus monedas, lo que abarata aún más su mano de obra; *b)* desregular y privatizar sus economías abriéndolas más al mercado mundial; *c)* orientar más su producción hacia la exportación. El BM aumenta su capacidad de actuación para, en un tiempo récord, aumentar las infraestructuras necesarias en los países de la periferia de acuerdo a la nueva situación económica. El GATT especialmente a partir de 1944 se convierte en la Organización Mundial del Comercio que obliga a eliminar paulatinamente las restricciones estatales a la expansión del mercado mundial.

Todo ello favorece la extensión de la producción y comercialización a gran escala de las grandes empresas multinacionales, lo cual produce la desaparición paulatina de las empresas locales con la consiguiente destrucción del empleo, tanto en el Norte como en el Sur. Esta situación genera un gran movimiento hacia la urbanización, sobre todo en los países de la periferia sur, hasta el punto de que el 50% de la población mundial vive en las ciudades. En los países de Norte el crecimiento urbano se ubica, principalmente en las áreas metropolitanas. Todos estos hechos incrementan la necesidad de nuevas vías de transporte motorizado, viarias, portuarias y aeropuertos, tanto para las personas y sobre todo para las mercancías.

Además del coste enorme que supone la creación de estas nuevas vías, con el consiguiente endeudamiento de los Estados, también se produce un agravamiento del impacto ecológico, tanto a nivel del suelo, convirtiendo el suelo terroso y arbóreo en nuevas pistas de cemento, por el aumento de la motorización, como en el ámbito de la biosfera a consecuencia del aumento de las emanaciones de CO₂ a la atmósfera, por la motorización viaria como aérea, con el incremento del efecto invernadero.

15.2.2. Las políticas de la UE incentivan el transporte motorizado

Desde el inicio del «proyecto europeo», en los años cincuenta, la movilidad motorizada se ha incrementado considerablemente, sobre todo a partir de la creación del Mercado Único a mediados de los ochenta.

En un informe encargado por la Comisión Europea, se indicaba ya en 1990, que: «desde hace algunos años, Europa parece haber sobrepasado el punto más allá del cual cualquier incremento del tráfico es contraproducente. La suma de los efectos negativos parece cancelar los incrementos de riqueza, eficiencia, confort y facilidad de transportarse, que deberían resultar del crecimiento del volumen del tráfico». Se daban una serie de argu-

mentos para ello, pero la Comisión Europea no hizo caso del informe, tal vez porque la ampliación hacia nuevos miembros y la globalización económica, conllevan a la necesidad de incrementar el transporte motorizado a todos los niveles. Ya en 1984, los principales grupos de presión económicos europeos forzaban la ejecución de enlaces de un elevadísimo coste económico, algunos de ellos ya finalizados, como el túnel bajo el Canal de la Mancha, el Scanlink, la conexión entre Dinamarca y Suecia, y otros en curso como los nuevos túneles para atravesar los Alpes y el túnel de Somport-Valle de Aspe en los Pirineos.

En la cumbre de Maastricht en 1991, se vuelve a solicitar por parte de los grupos de presión económicos europeos una nueva ampliación de unos doce mil kilómetros de nuevas autopistas y autovías de dimensión comunitaria, fundamentada en la congestión que experimentaban ya, especialmente la red vial de gran capacidad. El Tratado de Maastricht recoge esta exigencia al contemplar la ejecución de las denominadas TEN (*Trans European Networks*), conjunto de estructuras comunitarias de transporte, energéticas y de telecomunicaciones, absolutamente «necesarias» para garantizar el funcionamiento de un mercado europeo progresivamente ampliado y unificado.

Las TEN representan una inversión de más de 65 billones de pesetas cuya financiación se contemplaba que fuese a través de diferentes formas: pública, comunitaria y estatal a través de los fondos estructurales y de cohesión, de los presupuestos estatales y otros tipos de financiación privada. Por diversas razones, la financiación necesaria está siendo difícil de conseguir y por eso, la Comisión propone dedicar a ello parte de los recortes presupuestarios dedicados a la política agraria comunitaria, parte de las reservas de divisas de los bancos centrales de los países que queden liberadas como consecuencia de la entrada en vigor del euro y otras medidas. Lo que sí queda claro es que, al fin y al cabo, los que pagarán este ingente proyecto son los ciudadanos de a pie, que son los que, de una u otra forma, llenan las arcas de los Estados a través de diferentes tipos de impuestos.

Por otra parte, las TEN al promocionar los modos de transporte de mayor impacto ambiental, consumo energético, más alto coste económico y social, han hecho que la Comisión haya llegado a manifestar que «se comprueba que con las políticas de transporte vigentes, las tendencias del transporte son insostenibles». A pesar de ello, la Comisión presenta a la TEN, con diferentes argumentos, como muy positivas para el medio ambiente, para el mejoramiento de vida de los ciudadanos y estimulantes para la creación de empleo. Los argumentos presentados no parecen ser del todo exactos y sus puntos débiles ya han sido expuestos por diferentes especialistas. Dado el carácter de esta obra, al no poder profundizar sobre este tema, remitimos al lector interesado por él, a lo escrito por el doctor Fernández Durán en la obra ya citada⁽⁷⁾. Asimismo, lo remitimos a la misma referencia, para conocer el caso español en relación con las políticas de transporte existentes y a implantar en un futuro próximo en España, que siguen análogas pautas a las indicadas para la Unión Europea.

15.2.3. La contestación social y el cambio de rumbo hacia la sostenibilidad

En este resumen que estamos presentando, nos ha parecido oportuno el citar los dos aspectos indicados más arriba.

En los últimos años se asiste a un creciente despertar y movilización social en contra de la construcción de grandes estructuras de transporte. Destacan las movilizaciones en el Reino Unido contra la creación de nuevas autopistas, la oposición desarrollada contra la construcción del Scanlink entre Dinamarca y Suecia, la oposición en el sudeste de Francia, Holanda y muchas zonas de Alemania a la construcción de líneas de alta velocidad, el rechazo de importantes sectores de la población austriaca a nuevas conexiones viarias de gran capacidad, etc.

En España, después de una amplia contestación social a la construcción de autopistas y autovías a finales de los setenta y principio de los ochenta, se produce un cambio en la opinión de la oposición ciudadana, instalándose en la sociedad una fuerte cultura del coche y, por consiguiente, de la movilidad motorizada. En los noventa se empieza a detectar un cambio con la oposición al trazado de la A-3 por las Hoces del río Cabriel y al paso de la M-40 por el Monte del Pardo en Madrid, así como al trazado de nuevas vías de circunvalación de las grandes áreas metropolitanas de Madrid, Valencia, Barcelona y otras. Los proyectos del tren de alta velocidad, *Ave*, también han desatado cierta contestación social, a pesar de la fuerte propaganda a su favor de las distintas fuerzas políticas y cámaras de comercio. Análogamente, también existe una movilización social contra la ampliación de los aeropuertos de Madrid y Barcelona, ya que afectan a municipios limítrofes y sus ciudadanos se quejan del ruido producido por el despegue y aterrizaje de los aviones.

El actual proceso de la globalización económica con esta movilidad a más grandes distancias de personas y mercancías y lo más veloz que se pueda, es un proceso insostenible a medio y largo plazo, tanto por el consumo de energías no renovables (energía fósil), como por el impacto ecológico que conlleva. Por otra parte, el desplazamiento cada vez a mayores distancias de las personas también genera impactos negativos de tipo social que no son justos ni justificables. Sin embargo, desde las instituciones políticas nacionales o supranacionales, se argumenta que estos aspectos negativos pueden ser contrarrestados mediante los avances tecnológicos en el sector de la movilidad terrestre y aérea por la utilización de nuevos combustibles como el hidrógeno, la electricidad en el caso de los coches y porque las telecomunicaciones sirven para sustituir algunas modalidades de desplazamientos (trabajo en casa), entre otras. A pesar de ello, los avances tecnológicos deseados van mucho más despacio que el incremento de la movilidad motorizada y por ello, se cree que se necesita un replanteamiento global del problema.

En general, se considera que es necesario abordar la reducción de la movilidad motorizada a todos los niveles, en el camino hacia la «sostenibilidad» de

nuestro ecosistema, pues cada vez parece que hay más dudas acerca de que «el crecimiento continuo de la movilidad conduzca a la equidad y a la preservación del planeta».

Para iniciar ese camino es necesario contraponer a la movilidad y lejanía la proximidad, la mesura en el ritmo del desplazamiento, y la reducción de la movilidad motorizada, junto con la recuperación y potenciación de los desplazamientos no motorizados, y la vivencia de la calle como espacio público por excelencia para la comunicación y la relación, y no sólo para el transporte. Este cambio de rumbo hacia la sostenibilidad, el equilibrio y la equidad no se podrá iniciar sin profundas transformaciones en los ámbitos de las relaciones económicas, político-institucionales, culturales, sociales y personales. ¿Estaremos dispuestos a plantearlos, discutirlos y llevarlos a buen término? Éste es el problema.

15.3. Los materiales

Indica el profesor Miguel Á. Alario⁽³⁾ que el objeto de su capítulo en la obra *La Ciencia en tus manos*, ha sido el ofrecer al lector una visión amplia, no profunda, y, en algunos casos detallada, de la importancia y el interés de los diferentes materiales existentes en la actualidad, así como una relación de aquellos que constituyen las líneas de investigación prioritarias.

Se ha dicho que la historia del hombre se confunde con la de los materiales que ha venido utilizando. Así, las diferentes épocas de la Prehistoria, suelen conocerse como la edad de piedra, del bronce, del hierro, por ser estos los materiales que preferentemente utilizó el hombre en cada una de aquellas épocas, sin que ello quiera decir que fueron los únicos. El sílex, que caracteriza a la edad de piedra, fue utilizado conjuntamente con otros materiales que aún hoy en día utilizamos, tales como la lana, el cuero, la madera, el hueso, etc.

Para el estudio de los materiales, resulta evidente que hay que agruparlos de algún modo y, tal vez uno idóneo sea su clasificación en *naturales* y *artificiales*.

15.3.1. Materiales naturales

Los materiales naturales son tantos y tan importantes que para su clasificación se puede seguir el criterio de su fuente o reino natural que los produce, lo cual nos lleva a incluirlos en:

Minerales. La piedra en sus diferentes formas: mármol, granito, carbón con sus diferentes formas y estructuras, oro, plata, etc.

Vegetales. La madera es uno de los materiales vegetales más complejos pues presenta diferentes estructuras a distintos niveles, según sea el árbol que

la origina, así tenemos madera de pino, con diferentes variedades, de olivera, de haya, etc. También son materiales vegetales las fibras naturales, lino, algodón, cáñamo, yute, etc.

Animales. Las fibras animales como la lana, el mohair, el pelo de yack, de alpaca, de camello, el cashimir, la seda, etc. El hueso con tantas variedades de resistencia, rigidez, etc., según su origen: animales vertebrados, diatomeas, cocolitos, todos los cuales pueden considerarse como biominerales.

La naturaleza no solamente es fuente de diversos tipos de materiales, sino que también éstos son fuente de inspiración para la obtención de nuevos materiales, bien mediante transformación de los materiales naturales o por síntesis química de nuevos compuestos. Así, la seda natural sirvió de inspiración al Conde Chardonnet para obtener la seda artificial, que tras sucesivas modificaciones para mejorar su calidad, ha dado origen, a partir de la celulosa, materia natural, a distintos tipos de rayones, según el proceso de fabricación empleado.

15.3.2. Materiales artificiales

Estos materiales tienen un origen común al ser producidos por el hombre y además utilizar el concurso de la temperatura, más o menos elevada, para su producción. Clasificar los materiales artificiales es bastante complejo, tanto por su elevado número como por sus propiedades físico-químicas tan diferentes, las cuales son responsables de sus aplicaciones. Como ejemplo de lo indicado se puede citar la diferencia entre el diamante y el grafito, materiales compuestos sólo de carbono pero con diferente estructura. El diamante, formado por átomos de carbono, cada uno unido fuertemente a los otros cuatro, puede considerarse como el arquetipo de dureza, la cual es menor en las direcciones perpendiculares a los enlaces entre carbonos, lo que le hace frágil, permitiendo su tallado; el grafito, formado por átomos de carbono con cada uno unido a otros tres, formando un enrejado laminar en vez del tridimensional del diamante, lo cual lo hace frágil, blando y buen aislante, a diferencia del diamante. Este simple ejemplo demuestra lo complejo que aparecen las interrelaciones entre composición, estructura y propiedades. Otra forma de carbono son los fullerenos y los nanotubos que mencionaremos más adelante.

La ciencia de los materiales, fundamentada en la química y en la física del estado sólido, ha conseguido interpretar este maremágnum, y aunque no es posible el obtener un material para que cumpla una idea de sus *prestaciones* deseadas, se ha progresado bastante en esta dirección en los últimos años. Por «prestación» se entiende el *comportamiento del material funcionando*, a diferencia de la propiedad físico-química que le caracteriza en relación con esa prestación. Por ello, cabe la posibilidad de establecer una clasificación en función de las prestaciones que se desean de un material: producción de energía, construcción mecánica, electrónica e informática, textil, industria aeronáutica

y espacial, industria naval, etc. A continuación nos referiremos a varias clases de materiales muy distintos, que ejemplifican distintos aspectos de la ciencia de los mismos en los que se producen hoy avances destacados.

15.3.2.1. *Cerámicas*

Son las compañeras de viaje a lo largo de los siglos de todo el proceso vital de la humanidad. Los diferentes objetos que se obtienen provienen del moldeado de la mezcla de arcilla con el agua, secado y posterior calentamiento en un horno a temperatura elevada, constituyen las *cerámicas tradicionales*. De esta forma se obtienen utensilios tales como los platos, cacerolas, recipientes para contener agua, ladrillos, baldosas, bañeras, etc. Son frágiles y se rompen con facilidad, pero tienen una serie de características favorables, tales como: facilidad de obtención, materia prima muy abundante en nuestro planeta, resistentes al calor soportando temperaturas del orden de los 1.000 °C, resistentes a los álcalis y a los ácidos, y coste reducido.

Las *cerámicas avanzadas* constituyen un grupo importante y poseen además propiedades muy específicas. Entre estas cerámicas tenemos, entre otras: las que poseen propiedades eléctricas, como el titanato de bario, BaTiO_3 que es ferroeléctrico; propiedades ópticas, como el granate de ytrio y aluminio, $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$, generador del láser de neodimio. Conjuntamente con las anteriores, están las *cerámicas técnicas o termomecánicas* que presentan buenas prestaciones a altas temperaturas, tales como: los *carburos* de silicio, SiC , empleado en la fabricación de elementos que necesitan resistir hasta temperaturas de 1.400 °C. Los *nitruros* como el de silicio, Si_3N_4 , que soporta bien la oxidación a altas temperaturas y es muy resistente al choque térmico, por lo que resulta de gran interés para componentes de motores de explosión y turbinas de reacción, para lo cual debe ser preparado de forma especial, mediante la sustitución simultánea del silicio IV, por aluminio III y oxígeno II, consiguiéndose así una solución sólida que recibe el nombre de *sialon*, material menos poroso, pero que para alcanzar estabilidad a elevadas temperaturas ($> \sim 1.500$ °C), necesita la adición de óxido de ytrio, Y_2O_3 , al granate de ytrio y aluminio, $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$, que en este caso, actúa de manera diferente a como decíamos anteriormente como soporte de láser, situándose en las fronteras de grano del *sialon policristalino*. El nitruro de titanio, TiN , que por su color dorado y facilidad de preparación se ha empleado en el recubrimiento de las cúpulas de las iglesias ortodoxas. Los óxidos de zirconio, ZrO_2 , o de alúmina, Al_2O_3 , importantes aislantes térmicos; y numerosos aluminio-silicatos (cordierita, nullita), que permiten obtener estructuras grandes y complejas de buenas propiedades termomecánicas.

Cuando pensamos en el sólido ideal, nos referimos a un cristal en el que cada átomo está en su sitio. Este cristal ideal no existe ni en la naturaleza ni como producto de una síntesis, pues los cristales están plagados de defectos de diferentes tipos: puntuales, dislocaciones, mallas y defectos extensos. Estos

defectos comunican a los cristales propiedades interesantes, que van desde varias modalidades de presentar el color hasta propiedades mecánicas, propiedades que se añaden a las que tiene el cristal en cuanto a su estructura y composición. Este conjunto es el que da origen a lo que se denomina *microestructura* del cristal. Uno de los desarrollos fundamentales de las cerámicas actuales consiste, precisamente, en el control preciso de dichas imperfecciones, lo mismo que el de las fronteras de grano antes mencionadas.

15.3.2.2. Nanomateriales, «clusters» y fullerenos

Los nanomateriales o materiales nanoestructurados, son aquellos en los que el tamaño del cristal se encuentra entre ~ 10 y ~ 40 nm (1 nm equivale a 10^{-9} m). Los nanomateriales poseen propiedades muy interesantes, por ejemplo el *nano-TiO₂* posee una mayor proporción de átomos en la superficie que el *meso-TiO₂*, y es mejor catalizador; además, pueden cambiar propiedades importantes como el color o la temperatura de fusión con el tamaño de partícula. La relación entre estas dos propiedades últimas es de tal forma que a medida que «*el tamaño de partícula decrece, también lo hace el punto de fusión*». Por ejemplo, Buffat y Borel demostraron experimentalmente que el punto de fusión del oro decrece, desde 1.065 °C a la temperatura ambiente, con el tamaño de partícula.

Cuando se preparan los elementos metálicos con tamaño de partículas muy pequeños, se obtienen agregados poliatómicos denominados *cluster* en inglés o (*racimos*) en castellano, que poseen interesantes propiedades, debido, en gran medida, a la gran cantidad de átomos que poseen en su superficie y que estos se encuentren en forma de agregados, cuyo número no es uno cualesquiera, sino que, algunos, 2, 8, 20, 40, etc., ocurrían frecuentemente. Además, estos mismos *números mágicos* son los mismos que se encuentran entre los agregados de partículas subatómicas en el núcleo del átomo. Existen también *clusters* de moléculas, particularmente de los elementos de transición como el $[\text{Os}_{20}(\text{CO})_{40}]_2$, entre otros. Estos materiales representan una frontera entre el mundo de los sólidos y el de las moléculas discretas, con propiedades que frecuentemente difieren de las de ambos extremos.

Los *clusters* están siendo activamente estudiados actualmente, siendo los derivados del *fullereno*, una molécula de C_{60} en forma de «esfera» formada exclusivamente por átomos de carbono, que entre otras similares es una de las que presenta mayor interés, por ser la más estable. Se ha podido comprobar experimentalmente que su estructura tiene forma poliédrica y está formada por hexágonos y pentágonos. Con el descubrimiento de estos compuestos en estos diez últimos años, la química del carbono se ha visto ampliada en su complejidad y diversidad. Conocido el método de síntesis de los fullerenos, los científicos de la ATT han demostrado que intercalando moléculas alcalinas entre las moléculas de los fullerenos se formaban materiales superconductores moleculares, denominados *fulleruros*, con las temperaturas críticas más altas, siendo

hasta hace poco, $\text{Rb}_{2,7}\text{Ti}_{2,2}\text{C}_{60}$ el material con la más alta, con $T_c = 45 \text{ K}$; muy recientemente, esta ha subido de forma espectacular, al tratar el fullereno con moléculas como el CH_3Br , que permite alcanzar valores de $T_c = 117 \text{ K}$.

El estudio de los fullerenos no se limita a los superconductores y el estudio por microscopía electrónica de los electrodos de grafito que se utilizan para la preparación de los fullerenos, ha permitido descubrir una nueva variedad de materiales, formados por láminas de grafeno plegadas sobre sí mismas en forma de cilindros que reciben el nombre de *nanotubos* y que pueden o no estar cerradas por ambos extremos por porciones hemisféricas de fullerenos. Los nanotubos presentan diferentes variedades obtenidas por la introducción en su interior de diversas sustancias químicas y constituyen la denominada *endoquímica*. Las aplicaciones son varias tales como catálisis, biomedicina, contraste para imágenes, etc.

15.3.2.3. Polímeros

La Naturaleza es una gran fuente de polímeros naturales que el hombre ha ido empleando a través de los siglos para su manutención, su vestido y su hábitat. Los polímeros de síntesis constituyen uno de los materiales más importantes del siglo XX. La baquelita fue el primer polímero obtenido por síntesis por Leo Bakelan, mediante la copolimerización del fenol y el formaldehído.

Los polímeros naturales y sintéticos están formados por unidades químicas repetidas en gran número, por ejemplo, la molécula de la celulosa contiene unas 2.000 unidades de α -celobiosa, su peso molecular es, por tanto, elevado, el polietileno posee una molécula con más de 50.000 átomos de carbono. Estas moléculas están, en la mayoría de los casos, unidas por enlaces de tipo secundario, de hidrógeno, de Van der Waals, menos fuertes que los enlaces en el interior de la cadena, pero que al ser muy numerosos cohesionan a las cadenas moleculares entre sí, dando lugar a un material en donde se alternan las regiones cristalinas y las amorfas. Son sólidos, pero, con excepción de algunos naturales, modifican su estado en función de la temperatura, pudiendo llegar a fundirse. Según su constitución química pueden ser reactivos a los álcalis y a los ácidos. Poseen interesantes propiedades físico-químicas, dependiente de su composición química y mientras unos son inertes a los reactivos químicos como el teflón (politetrafluoretileno), otros como la celulosa se hidrolizan con los ácidos o pueden ser atacados y hasta incluso disolverse en presencia de los álcalis como la lana. En fin, es imposible abordar en este resumen la enumeración de las propiedades de cada tipo.

Los polímeros pueden clasificarse en dos grupos importantes: los naturales y los de síntesis.

Naturales. La Naturaleza nos brinda una serie de polímeros, tanto provenientes del reino vegetal como del reino animal. Entre los primeros se pueden citar: la celulosa como tal o modificada durante el ciclo natural de su forma-

ción, entre las cuales se encuentran el algodón, de gran utilización en la industria textil y el constituyente celulósico de los árboles empleados como fuente de celulosa para el papel y fibras artificiales; las féculas y almidones que constituyen la base de vegetales tales como la patata, el arroz; la lignina que acompaña en muchos árboles y arbustos a la celulosa; las gomas de diferentes variedades y los mucílagos empleados como espesantes; el caucho empleado como materia prima para la fabricación de neumáticos, cilindros de presión, y otras muchas aplicaciones.

Las provenientes del reino animal también nos ofrecen una gran variedad, entre las cuales podemos citar la lana, la seda, los pelos animales, el cuero, etc. que constituyen materiales muy valiosos para el vestido y calzado humano; las colas animales, empleadas como adhesivos.

Artificiales. Estos polímeros son los creados por el hombre en el siglo xx mediante dos tipos de síntesis: polimerización y policondensación. En el primer caso, la/s unidad/es química/s denominada/s *monómero/s* se unen por sus extremos para formar cadenas de moléculas, por ejemplo el polietileno; y en el segundo caso, la unión entre monómero da origen al polímero y a otra molécula que se elimina, por ejemplo los poliésteres o las poliamidas que en su policondensación originan agua como molécula a eliminar. Las reacciones de polimerización pueden efectuarse bajo la acción de la temperatura y la presión o mediante la presencia de catalizadores, los cuales permiten una activación de la reacción con la disminución de la temperatura y/o la presión. Un caso interesante es el catalizador de Ziegler-Natta, una mezcla de cloruros de aluminio y titanio, que permitió la obtención del polietileno suprimiendo la necesidad de la presión y la temperatura, lo que hace el proceso mucho más económico. El control del catalizador permite en estos procesos controlar como se forma la cadena; así, la polimerización del propileno con catalizadores derivados del circonoceno permite obtener polímeros sindiotácticos o atácticos, esto es, con distinta ordenación de los grupos metilos laterales y consecuentemente distintas propiedades mecánicas.

Muchos de estos polímeros son susceptibles de volverse plásticos por la acción de la temperatura y ello permite mediante extrusión en máquinas adecuadas, el moldear su forma y tras enfriamiento, obtener recipientes u otros utensilios. En este proceso de extrusión se pueden agregar pigmentos minerales u orgánicos para su coloración. En otros casos, la extrusión se efectúa a través de toberas provistas de finísimos orificios y a continuación se someten los filamentos obtenidos a un estirado para orientar las moléculas y dar resistencia a los filamentos obtenidos, con lo que se logran fibras sintéticas de gran uso en el sector manufacturero textil para, a través de diversos procesos a obtener hilos y tejidos, utilizados en la confección de prendas de diferentes tipos.

Los polímeros son, por lo general, malos conductores de la electricidad, por eso, en los últimos años se está trabajando intensamente en la búsqueda de polímeros conductores eléctricos y de materiales magnéticos u ópticos poliméricos: en el primer caso, la preparación del poliacetileno oxidado ha dado lugar

a un material de conductividad comparable a la de los metales y esta puede variarse con el grado de oxidación; sin embargo, su manejo no es fácil y continúa la búsqueda de nuevos polímeros conductores, que podrían dar lugar a baterías ultraligeras, así como de polímeros semiconductores con aplicaciones en electrónica.

Como resumen de este apartado podríamos decir que los polímeros artificiales se encuentran en la mayoría de los productos que utilizamos, desde la astronáutica hasta las escobas. Su principal fuente de origen se encuentra en el petróleo, energía no renovable, por lo que habrá que ir pensando en cómo se puede abordar la química del silicio, para la posible sustitución de algunos de los polímeros derivados del petróleo.

15.2.2.4. *Materiales eléctricos y electrónicos*

Es probable, que entre los materiales utilizados en este sector, el silicio, el hierro, el acero y los superconductores de alta temperatura, ocupen los primeros lugares, en la atención recibida entre los investigadores. El silicio puede considerarse como arquetipo de nuevo material por su uso en la industria electrónica, desde que se inventó el transistor en 1974 en los laboratorios de la Bell.

El silicio es, desde el punto de vista eléctrico un *semiconductor*, no es ni conductor ni aislante puro de la corriente eléctrica, sino una subclase de aislante en donde los electrones, aunque localizados no están fuertemente unidos a sus átomos de origen, con lo que bajo ciertas condiciones, aumento de la temperatura, o bajo la incidencia de luz adecuada, los electrones pueden desplazarse bajo la influencia de un campo eléctrico, conduciendo una corriente. Análogas propiedades que en el silicio se encuentran en el germanio. Los semiconductores son la base de toda la electrónica. Ambos semiconductores se encuentran en el Grupo IV de la Tabla Periódica de los elementos y cristalizan habitualmente en la estructura del diamante, en la cual cada átomo está unido a los otros cuatro por medio de cuatro enlaces covalentes, cada uno con dos electrones compartidos y dirigidos hacia los vértices de un tetraedro.

La mayoría de los elementos de la Tabla Periódica de los Grupos III y V, pueden disolverse, hasta un cierto límite, en la estructura del silicio y del germanio, por estar próximos a ellos y diferenciarse sólo en un electrón. Dicha *disolución sólida*, que tiene lugar en pequeña extensión, recibe el nombre de *dopado* del silicio o del germanio y modifica notablemente sus propiedades eléctricas, quedando muy modificada su conductividad. El dopado de los semiconductores y la consiguiente modificación controlada de sus propiedades eléctricas ha sido uno de los desarrollos más notables de la química de estado sólido y de la ciencia de los materiales, que por las necesidades de la Electrónica ha conseguido obtener el silicio en un estado muy puro con sólo 10^{-10} de impurezas por cm^3 y obtenerlo en lingotes de más de 10 pulgadas de diámetro y 1 metro de longitud. El material así obtenido puede ser mecaniza-

do y dopado de manera controlada con cantidades del orden de 10^{-6} a 10^{-7} cm^3 , obteniéndose obleas de silicio con las que se pueden fabricar gran cantidad de dispositivos, tales como células solares fotovoltaicas, transistores bipolares, etc., y con ellos circuitos integrados, microprocesadores, ordenadores...

La química de los semiconductores no se limita al silicio y al germanio, sino que los *nuevos* materiales electrónicos abarcan un sinfín de elementos próximos al silicio y al germanio. Así, el indio y el fósforo constituyen la *familia de los compuestos III-V* de la que forman parte el GaAs, InSb, AlAs, etc. Lo mismo sucede con las *familias de los compuestos II-VII*, como los telurios de cadmio o de mercurio, CdTe y HgTe. Todos estos compuestos son isoelectrónicos y presentan la propiedad de que sus propiedades van cambiando de forma gradual al ir pasando de unos a otros a lo largo y a lo ancho de la Tabla Periódica.

15.3.2.5. *Materiales magnéticos*

Durante muchos años la única aplicación que se obtuvo de estos materiales fue la brújula, descubierta en China unos cientos de años antes de Cristo y más tarde en Occidente. Hoy en día, sin embargo, los materiales magnéticos se utilizan en multitud de aplicaciones tales como motores, transformadores, radios, televisores, tarjetas magnéticas, etc.

Los fenómenos magnéticos son puestos en evidencia por la magnetita, Fe_3O_4 , y un pequeño grupo de materiales magnéticos naturales, que incluyen a los elementos hierro, cobalto y níquel. Estas propiedades magnéticas son debidas a las propiedades magnéticas de los átomos que los constituyen, que a su vez provienen de los electrones, los cuales poseen dos tipos de propiedades que les confieren un momento magnético: el momento angular orbital y el denominado de *spin*. En el caso más general, la contribución de todos los electrones de un átomo es pequeña; más aún, si se opone a un campo magnético exterior, lo cual sucede en la mayoría de los materiales naturales o artificiales y recibe el nombre de *diamagnetismo*. Cuando alguno de los átomos que forman el material tiene electrones desapareados, la intensidad del momento magnético del átomo es mayor y, además, está a favor del campo magnético exterior al que está sometida, es decir atraída por él. A este comportamiento se le denomina *paramagnetismo*, cuando los distintos electrones responden de forma no concertada, y *ferromagnetismo* cuando sus momentos magnéticos actúan al unísono, en cuyo caso, el momento magnético es mucho mayor.

A lo largo del siglo XX la investigación se ha efectuado con cierta intensidad en el campo de los *superconductores*, con la aspiración de encontrar materiales que a temperatura ambiente o a temperaturas superiores conduzcan la corriente eléctrica sin resistencia, de forma que se pudiese eliminar el

efecto Joule, con lo que se podría obtener una reducción en el coste del transporte de la energía eléctrica del 12%. Estas investigaciones se iniciaron en 1911 por Holts y Kammerling Onnes y durante muchos años los físicos buscaron *entender* la superconductividad hasta que en 1945 apareció la teoría *BCS* de Barden, Copper y Schrieffer, tratando de dar una explicación y una de las más importantes de la física del estado sólido. La investigación sobre nuevos materiales superconductores continuó siendo poco rentable, lo cual llevó a decir a un PN que «la superconductividad es un tema extinguido». Cuando en 1987 Bednorz y Muller publican un artículo titulado «Possible High Temperature Superconductivity in the Ba-La-Cu-O System» en el cual indican que la resistividad parecía desaparecer a 30°K, se produce una conmoción en física, química y ciencia de los materiales. A partir de esta fecha las investigaciones se han centrado en obtener nuevos superconductores a altas temperaturas, los HTSC (*High Temperature Super-Conductors*), siendo el número de ellos cerca de un centenar y las temperaturas críticas han aumentado incesantemente.

Ello ha permitido establecer una serie de principios básicos acerca de las características de estos, tal como sucede con la familia de los cupratos, representada por la fórmula $\text{HgBa}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{3n+2+\phi}$ (con valores de n de 1 a 6 o 7) y es precisamente en uno de estos materiales en donde se ha alcanzado la temperatura crítica, T_c , máxima. Sin embargo, desde 1993 la T_c permanece estacionada, lo cual parece significar que la familia de los cupratos ha tocado techo. Por otra parte, la T_c no es el único parámetro importante, ya que también lo son: las corrientes críticas y los campos críticos, si se trata de hacer imanes potentes... y, además, como estos materiales son óxidos metálicos su ductilidad para obtener hilos es difícil. Por ello, otra de las líneas de investigación más destacadas en el campo de los materiales es el estudio de su *microestructura*, que a su vez depende del *procesado* o modo como se realiza su preparación para su aplicación. Por todo esto, la inminente aplicación de los superconductores, una de cuyas propiedades más destacada es la de repeler los campos magnéticos, para producir trenes de levitación magnética que volarían sobre los raíles, barcos basados en efectos magnetohidrodinámicos, o transporte de electricidad sin resistencia, tendrá que esperar hasta que los problemas enunciados tengan una adecuada solución.

Mencionemos, sin embargo, dos nuevos tipos de materiales donde el reciente descubrimiento de superconductividad para valores de T_c relativamente altos hace presagiar un nuevo centro de interés: se trata del sencillo compuesto MgB_2 , con $T_c = 39 \text{ K}$, y los materiales obtenidos más recientemente a partir de fullerenos oxidados y tratados con bromuro de metilo o reactivos similares, donde se han reportados valores de T_c de hasta 117 K.

Lo que sí parece claro es que la investigación sobre materiales está en plena efervescencia, tal como lo demostró el último congreso de la Unión Internacional de Sociedades de Materiales celebrado en 1998 en Bangalore (India), en donde se presentaron cerca de cien trabajos de investigación sobre materiales avanzados, en distintos campos.

15.4. La arquitectura y su construcción

El tema que lleva el título indicado de la obra *La Ciencia en tus manos* y cuyo resumen intentamos exponer, ha sido efectuado por los profesores Luis Fernández Galiano e Ignacio Aparicio⁽⁴⁾.

15.4.1. La arquitectura en la “edad del espectáculo”: un recorrido en diez episodios

La arquitectura, atenazada por un *status* epistemológico ambiguo, ha buscado su legitimación en diferentes campos ajenos a ella, y en diferentes momentos históricos se ha contemplado como ingeniería habitable, sociología construida o escultura funcional. Tres territorios que vienen a coincidir con los tres objetivos tradicionales de la arquitectura: solidez, utilidad y belleza, tres términos que aún hoy en día articulan el debate técnico, social y estético de esta disciplina arcaica pero también tres campos que en este siglo han experimentado profundas mutaciones.

Mutación *técnica* producida por los nuevos materiales y sistemas de control ambiental que están transformando la construcción y las instalaciones. Mutación *social* ocasionada por la colonización homogénea producida por el automóvil y el igualitarismo democrático de los servicios colectivos a que ha llevado el Estado del Bienestar, con la masificación del turismo y la ampliación del tiempo libre. Mutación *estética*, por el conflicto entre la abstracción exigente del vanguardismo moderno y la figuración clasicista del populismo postmoderno, con la utilización de fragmentos o fracturas para expresar la confusión caótica de lo contemporáneo, que lleva a la proliferación de formas informes que sólo por la utilización de los ordenadores es posible representar y construir.

Estas mutaciones, que han demolido las convicciones de la modernidad, no han llegado aún a cristalizar en un nuevo paradigma, existiendo un cúmulo de movimientos y protagonistas en competencia que entran y salen del escenario como los episodios de un sueño. Esta situación descoyuntada se pretende plasmar en este trabajo, a través de diez viñetas que reconstruyen, de forma muy resumida, diez episodios de la arquitectura reciente.

Berlín después del muro. En razón de su historia, la ciudad de Berlín ha sido en las postrimerías del siglo XX un gran laboratorio de arquitectura. Tras la caída del muro en 1989, Berlín al volver a ser la capital de Alemania impulsa un gran programa de reconstrucción, que se caracteriza por dos programas contrapuestos: por un lado, extendía el trazado y configuración de las calles y plazas del siglo XIX a las nuevas zonas edificadas, obligando a los proyectos a utilizar la piedra y los materiales convencionales en fachadas que debían evocar a los edificios existentes; por otro lado, los edificios públicos debían ser reconstruidos evitando en todo lo posible el recuerdo de la grandilocuencia de

la arquitectura de la Alemania nazi. Para ello, y por diversas razones, entre ellas la de culpabilidad histórica, se acordó que la mayoría de las construcciones emblemáticas fueran encargadas a arquitectos extranjeros, pudiendo citar, entre otros, al británico Norman Foster, que coronó el antiguo Reichstag con una cúpula transparente, y al polaco Daniel Libeskind, que levantó el Museo Judío con volúmenes zigzagueantes y fracturados.

París, los proyectos presidenciales. Los diferentes presidentes de la República de Francia quisieron dejar constancia de su paso y, al mismo tiempo, afirmar en París las ambiciones e inquietudes de nuestro tiempo. En la tradición iluminista francesa, los proyectos empleaban formas geométricas elementales construidas a escala titánica sobre los ejes de la ciudad o al borde del Sena. Así surgieron la pirámide acristalada del Louvre, el arco de la Defensa o la Gran Biblioteca, bajo el impulso de François Mitterand. George Pompidou asoció el populismo gaullista con la tecnología lúdica expresada en el centro que lleva su nombre. Valéry Giscard d'Estaing reflejó sus gustos patricios en el clasicismo esceneográfico y los parques urbanos del catalán Ricardo Bofill.

Como grandes obras públicas de carácter cultural, los proyectos presidenciales de París simbolizaron el declive del protagonismo del Estado en la construcción del entorno físico y en la fabricación de la imaginación del entorno colectivo.

La nueva Barcelona. En los años ochenta Barcelona propuso una nueva forma de modernidad urbana, más liviana, mediterránea y alegre, como alternativa frívola y refinada a la gravedad técnica germánica o a la racionalidad geométrica francesa. La oportunidad de organizar los Juegos Olímpicos facilitó los recursos financieros y la energía colectiva para el diseño del urbanismo a gran escala.

Se acometió la transformación de las estructuras viarias y de comunicación con nuevos cinturones de ronda. Una esbelta torre de comunicaciones diseñada por el británico Norman Foster se erigió como símbolo de la ciudad. Simultáneamente se construyó la Ciudad Olímpica trazada por Oriol Bohigas y se revalorizó la montaña de Montjuich con la remodelación del anillo Olímpico y de sus instalaciones, la construcción del Palau Sant Jordi del japonés Arata Isozaki y la torre de comunicaciones de Calatrava, unido todo el conjunto por una gran plaza. Se inició la regeneración del casco antiguo, situando en él el Museo de Arte Contemporáneo que proyectó el norteamericano Richard Meier.

El conjunto se dio a conocer con motivo de los Juegos Olímpicos de 1992 y situó a Barcelona como ejemplo admirado e imitado en Europa, lo cual llevó a que los arquitectos británicos la distinguieran con su medalla de oro, siendo esta la primera vez que dicho galardón se otorgaba a una ciudad.

Grandes exposiciones europeas. En la pugna de las grandes ciudades por mejorar su posición competitiva en el área supranacional, es frecuente el aprovechar los acontecimientos, políticos, económicos o culturales para escalar mejores posiciones. Entre estos acontecimientos, son los de índole deportiva o

las grandes exposiciones los que movilizan mayores audiencias, tal como ocurrió el año 1992 con los Juegos Olímpicos de Barcelona o con la Exposición Internacional de Sevilla.

Estas exposiciones producen un gran impacto en la estructura urbana, tanto por los pabellones que se construyen, con desigual acierto, que posteriormente se destinan a diferentes usos, como por la mejora en las vías de comunicación para facilitar el acceso a la multitud de los visitantes.

Como ejemplo se puede citar la Exposición Internacional de Barcelona en 1929 con la primera remodelación de la montaña de Montjuich, la construcción de los diversos pabellones, el Pueblo Español y la colosal Fuente Lumino-sa. Más recientemente, la de Sevilla en 1992, con sus pabellones de desigual acierto arquitectónico, sus nuevos puentes sobre el Guadalquivir, el nuevo aeropuerto y la nueva estación para recibir a los trenes de alta velocidad. Posteriormente, en 1998, la de Lisboa, que trajo una profunda renovación de los transportes y los accesos, en un recuerdo del carácter marítimo de Portugal, centrado en un lírico y solemne pabellón del arquitecto portugués Álvaro Siza.

Holanda efervescente. Holanda posee una gran parte de su territorio conquistado al mar, o sea, tiene una parte de su extensión de manera artificial, lo cual unido a una elevada densidad de población, han hecho de este país un pionero de la modernidad desde la época de las vanguardias. En los años noventa, los arquitectos de Rotterdam, encabezados por Rem Koolhaas, han regresado al primer plano de la renovación plástica e intelectual, con un movimiento que exalta la congestión urbana, predica la gran escala edificadora y las virtudes del cambio acelerado.

Inspirada, entre otras, por el pragmatismo americano y por la eficacia de la arquitectura comercial, esta escuela ha pretendido responder a las exigencias de un territorio que alberga a una sociedad congestionada y al mismo tiempo innovadora. Los resultados no han sido muy brillantes, sobre todo en el gran conjunto comercial y de oficinas diseñado por Koolhaas sobre una estación del tren de alta velocidad y en un nudo de autopistas cercana a la ciudad francesa de Lille. La cultura arquitectónica de Rotterdam es hoy la rama más indisciplinada de la arquitectura moderna.

El grado cero suizo. En contraste con la escuela holandesa, la suiza-alemana ha desarrollado una arquitectura basada en la austeridad y el rigor, presentando un modelo de claridad conceptual, minuciosidad constructiva y refinamiento visual que permite a los edificios aunar la funcionalidad y la voluntad artística.

Con su centro en Basilea e inspirada por la personalidad del arquitecto Jacques Herzog, este movimiento combina la simplicidad externa de los volúmenes y la racionalidad estructural y naturalidad en el uso, con una elaboración material y plástica de las fachadas, consideradas como delicadas pieles de vidrio serigrafiado, madera o cobre que forran los edificios como un tejido táctil, artesanal en la perfección constructiva y artística en la ambición expresiva.

Bilbao, el efecto Guggenheim. La incorporación de los museos al contemporáneo mundo del espectáculo ha conducido a reemplazar los susurros por los gritos, y ninguno más sonoro que el proferido por el Museo Guggenheim de Bilbao, realizado por el californiano Frank Gehry como una tempestad de titanio que ha agitado las aguas del debate popular como ningún otro. Su arquitectura que podríamos considerar como integrada en las denominadas «deconstructivas» para indicar la violación deliberada de la racionalidad estructural de la construcción, ha tenido un éxito crítico y ciudadano, decantando la balanza hacia las construcciones inestables y produciendo un efecto de imitación en otras ciudades. Sin embargo, el impacto del Guggenheim de Gehry es difícil de reproducir y trasplantar, y de hecho, pocos de los contruidos después han tenido la resonancia de este.

El Londres del Milenio. La cúpula del Milenio londinense, mezcla de exposición universal y parque de atracciones, quiso ser para los británicos lo que el Guggenheim había sido para los vascos. También fue acompañada de infraestructuras de transporte y de nuevo fue Foster el autor de las estaciones más importantes, al igual que en Bilbao. Los propósitos de ofrecer una nueva imagen simbólica de la «tercera vía laborista» en su combinación de futurismo amable, diversión pedagógica y buenas intenciones, no se alcanzaron.

Mientras tanto, Foster remodelaba el Museo Británico y el estadio de Wembley, peatonalizaba Trafalgar Square, tendía otro puente sobre el Támesis y proponía dos construcciones emblemáticas, un rascacielos en la City en forma de obús y una nueva sede para el Ayuntamiento de forma lenticular, la cual tuvo uno de sus opositores de más peso en el Príncipe Carlos, amante del tradicionalismo británico.

Hong Kong y el Pacífico. La costa del Pacífico de Asia está experimentando una transformación económica y de desarrollo urbano de tal magnitud que hace parecer triviales las discusiones culturales y simbólicas que ocurren en la arquitectura europea. Hong Kong, Shanghai, Singapur y Kuala Lumpur, muestran un conjunto de nuevas edificaciones y nuevas vías de transporte en un tiempo récord, como nunca se había conocido en esa área. Además de enormes rascacielos, se llevan a término construcciones atrevidas como son la creación de aeropuertos contruidos sobre islas artificiales, como son los de Kansai en la bahía de Osaka, contruido por Piano, o el de Chek Lap Kok en Hong Kong, levantado por Foster.

Holanda, país pionero en ganar territorio al mar y con una densidad de población elevada, ha tomado buena nota de lo efectuado en la costa asiática del Pacífico y se propone trasladar su principal aeropuerto, Schiphol, a una isla artificial, para utilizar el terreno disponible en usos urbanos.

De Las Vegas a Celebration. Estas viñetas de lo que acontece en el mundo de la arquitectura no podían cerrarse sin hacer mención a lo que acontece en Estados Unidos de América, acerca de su propio modelo arquitectónico y urbano, fundamentado en una sólida base comercial que convierte al habitante en consumidor y al ciudadano en cliente, procurando satisfacer al usuario y a la

eficacia de la producción. Limitando la arquitectura con vocación cultural a los campus universitarios y a los museos, el auténtico exponente de experimentación son los centros comerciales, las ciudades del ocio, los parques de atracciones y las corporaciones de la industria del espectáculo.

Las Vegas, con sus colosales hoteles, a la vez centros de espectáculos y de juego imitando Venecia, la Roma imperial o el Egipto faraónico, son un exponente de la expresión del modelo americano. Por otro lado, los parques temáticos como Disneylandia y otros, exportados a Europa, ofrecen atracciones de diferentes tipos: en ambientes exóticos, de películas, de cuentos infantiles, todo ello conjugado con atracciones mecánicas muy impactantes para sus clientes, por las emociones y el vértigo que producen.

15.4.2. Las construcciones de la arquitectura

En el siglo XX la construcción ha evolucionado más que en los veinte siglos anteriores, ya que los métodos y materiales utilizados hasta el inicio del siglo XIX eran muy similares a los que emplearon los clásicos, a excepción de la reducción del espesor de los elementos constructivos. El movimiento moderno abre paso a una gran revolución constructiva, pues a finales del siglo XIX y por el impulso del denominado «estilo internacional», se difunden las estructuras porticadas y las telas asfálticas, introduciendo la diversidad de materiales en la construcción de unos edificios que hasta entonces sólo habían utilizado la cerámica con algo de madera.

La estructura aporticada abrió unas posibilidades nuevas en la organización de las plantas y al tratamiento de las fachadas. En las plantas, los elementos que configuran el espacio, los cerramientos verticales, se liberaron de las exigencias del orden estructural; en los alzados, las fachadas podían ya tratarse con toda libertad y sus paramentos admitían recortes y rasgaduras como la revolucionaria *fenêtre en larger*. La tela asfáltica permitió la implantación de la cubierta plana, eliminando las diversas formas adoptadas hasta entonces por el tejado, ya que permitía eliminar las irregularidades del solar y simplifica la geometría de los volúmenes edificados. Le Corbusier sintetizó la independencia entre el espacio y la estructura y evidenció las tensiones que inmediatamente se sugieren.

Estas sugerencias no se desarrollaron como merecían y como consecuencia, hacia el final del «estilo internacional», muchos aspectos de este estilo fueron abandonados y sólo se utilizaron los que desde un punto de vista inmobiliario eran más rentables, para configurar una arquitectura geométrica, simple, tersa y continua. No obstante, la revolución racionalista ha dejado una huella indeleble en el imaginario del arquitecto.

A partir de entonces, la construcción no ha cesado de diversificarse y los edificios están contruidos por centenares de materiales, que se incrementan cada vez que las exigencias del confort requiere la utilización de nuevos mate-

riales con funciones específicas. Se sustituye la cerámica, material de amplio espectro de propiedades que servía tanto para soportar cargas como para cerrar espacios y protegerlos térmicamente y frente al agua, y se difunden materiales que satisfacen funciones cada vez más minuciosas: plásticos espumados para el aislamiento, paneles alveolares de aluminio para superficies de alta resistencia, poliamidas para las roturas de puente térmico, etc.

El siglo xx ha impuesto una evolución radical en la técnica constructiva, de tal manera que el conocimiento tradicional, acumulado durante siglos y su repertorio, no tiene ningún sentido. Tampoco existe su sustitutivo. Sólo el valor universal de algunos grandes principios ordenadores del conocimiento técnico que rigen sus formas de aplicación a la arquitectura y un conjunto de detalles de «oficio» completarán el parcelado conocimiento técnico y ayudarán a resolver los variados problemas que se presentan en el ejercicio de la profesión de arquitecto.

Dado que hoy no podemos hablar de construcción sino de construcciones y dentro de cada una de ellas los contornos serán tan difusos que no podemos exigir un código de buen oficio, dedicaremos cada uno de los próximos apartados a cuatro tipos de «construcciones» diferentes.

15.4.3. La construcción convencional

Llamamos así a la que se considera heredera de la construcción tradicional, a la que conocen las empresas constructoras, los profesionales y los trabajadores relacionados con el sector.

La construcción convencional no se puede considerar en *stricto sensu* como una legítima heredera de la tradicional, ya que como hemos visto anteriormente, esta era una masa bien trabada de materiales cerámicos que resolvían todas las exigencias de la edificación, mientras que la convencional se caracteriza porque utiliza todo tipo de materiales, estructuras porticadas con cerramientos multicapa insertos, todo lo cual la ha ido distanciando de la tradicional y, evidentemente, no está avalada por cuatro mil años de prueba y error.

Sin embargo, utilizada de forma razonable y cuidadosa ofrece indudables ventajas. Entre ellas, la mayor es que es más fácil que los resultados finales de la edificación se acerquen a los deseados, si no se desean hacer «inventos», y se les pide a las constructoras aquello que saben hacer. Es mejor esa construcción en la que el arquitecto puede centrarse en corregir los defectos que van surgiendo durante la edificación, que una que ponga toda la obra en el riesgo de una pérdida de control.

Casi todos los edificios efectuados en España entre los años ochenta y principios de los noventa, que han hecho famosa a la construcción española en todo el mundo, corresponden a esta manera de construir.

La construcción convencional no está en una postura estática, sino que procura ir resolviendo la mayor parte de sus problemas mediante soluciones más

correctas, tal como veremos en los apartados posteriores. Estos derivan de las tensiones entre un cerramiento de imagen continua y su soporte estructural y, por tanto, se plantea la pregunta: ¿Por qué no formar esa envolvente continua con unas piezas colgadas y libremente dilatables que envuelvan completamente el edificio?

15.4.4. La tradición revisada

Las soluciones constructivas reunidas bajo este epígrafe son mucho más heterogéneas que las del apartado anterior y su conjunto cuantitativo es menos importante. A todos los edificios encuadrados en este apartado, les vamos a poner como condicionamiento para su inclusión, dos características fundamentales: a) la recuperación de conceptos técnicos o de imágenes validadas por la tradición; b) que los elementos de la tradición se inserten en el contexto técnico contemporáneo como un sistema razonado y razonable.

Los edificios aquí encuadrados estarán caracterizados porque habrán sistematizado y comprendido el comportamiento diferencial de todos los materiales utilizados, condición que no se daba en la arquitectura convencional. Por otra parte se utilizarán, siempre que sea posible, materiales de bajo coste y durabilidad, de comportamiento correcto ante los saltos térmicos o las diferencias de carga y que, hasta cierto punto, sean capaces de cumplir diferentes funciones a la vez.

En la arquitectura de los años sesenta y primeros de los setenta se utilizaron los paneles de hormigón premoldeado y fabricados en serie, a fin de una recuperación rápida de la financiación por las empresas constructoras. Ciudades enteras como Can Badía, cerca de Barcelona, surgieron con un par de modelos: unos edificios denominados «estrella», por la forma de su planta, y otros que tenían el nombre de «Alcalá» porque ya se habían utilizado en Alcalá de Henares. Después se ha demostrado que no era necesario la uniformización a ultranza de las edificaciones, pues el coste de fabricar paneles a medida no lo justificaba y ya hacía décadas que se fabricaban. El molde de hormigón da libertad al arquitecto para formular cualquier tipo de solución, ya que permite diseñar el color del cemento y los áridos a voluntad, la calidad de estos y su acabado con lavados o retardadores de fraguado, etc.

En cierta manera, la propuesta de los edificios aquí encuadrados supone una economía de medios, ya que no siempre de dinero, y un acercamiento a los materiales locales y abundantes. Los caminos que abre la aplicación de los modernos materiales constructivos a una forma de hacer que se quiere conectar con la tradición son todavía muy sugerentes.

15.4.5. La alta construcción

Las construcciones encuadradas en este apartado son aquellas que utilizan los materiales más eficaces, los más modernos, los más ligeros y los más

caros. Primero fue el acero, después el vidrio, posteriormente otros metales y aleaciones y hoy los vidrios más especializados. Estos materiales tienen comportamientos completamente diferentes y su respuesta a las acciones térmicas y mecánicas se produce con cambios dimensionales que son mucho más importantes que en los materiales tradicionales. Por consiguiente, en un edificio construido con varios de estos materiales heterogéneos, los cambios dimensionales son muy importantes y variados, y la relación entre las diferentes piezas se hace mucho más difícil, pues los materiales que garantizan la capacidad mecánica y la estanqueidad de las juntas es una misión complicada.

Hace unos treinta años, la respuesta a estos problemas era la silicona y otros materiales elásticos, los cuales se colocaban en forma de cordones para que absorbiesen movimientos diferenciales de varios centímetros. El abuso y mal uso de estos materiales y su envejecimiento por las acciones de la intemperie, produjo el fracaso de estos sellados de silicona.

El gran protagonista de la alta construcción son sin duda los vidrios, con características muy específicas que casi se pueden diseñar a medida. Hoy es posible proyectar espectaculares fachadas de vidrio selladas con silicona o sustentadas por unas finas «arañas». Además, es posible utilizar el vidrio para formar jácenas o pilares que sustenten otros elementos. Los metales aportan a la alta construcción una capacidad mecánica que permite utilizarlos en piezas cada vez más esbeltas.

La alta construcción es una arquitectura exhibicionista y de prestigio que está dictando a las industrias de los vidrios y su sistema de montaje, a las del acero inoxidable y de las chapas de cinc y titanio, cual es el mercado en el campo de la arquitectura. La alta construcción está aportando nuevos conocimientos a los arquitectos por el rigor de su análisis, las brillantes soluciones a sus fijaciones y la apertura de nuevas posibilidades técnicas, entre otras. Sin ella, las nuevas soluciones habrían costado mucho esfuerzo y tiempo en conseguirlas.

En sus versiones más delirantes tiene, sin embargo, aspectos muy criticables, entre los que podemos destacar su capacidad de generar grandes dispendios económicos, por su arrogante ignorancia de los problemas de la protección solar e invernal, que soluciona a base de grandes gastos en aire climatizado.

15.4.6. Las anticonstrucciones

Las construcciones que se tratan en este apartado, son aquellas que no pueden clasificarse en los diferentes criterios expuestos hasta ahora. Son un atentado a la propia existencia de un sistema constructivo, pues los pies derechos se inclinan, las envolventes se desgarran en jirones, los huecos dejan de ser huecos porque no hay macizos que ahuecar y las cubiertas se convierten en fachadas que miran al cielo.

La deconstrucción extrae su fuerza de lo que la tradición ha considerado como correcto. Así, si el pilar inclinado llama la atención y nos «epata», es porque llevamos siglos considerando que, generalmente, los pilares verticales funcionan mejor; análogamente, los muros son verticales y no inclinados, porque trabajan a compresión contra la gravedad y por eso no presentan graves problemas de estanqueidad, etc. Sin embargo, la potencia de la imagen radica en la transgresión de lo aceptado, pues llamar la atención transgrediendo la tradición es tan viejo como la tradición misma. Pero de esa transgresión, la tradición ha tomado lo mejor para ir conformando la tradición a las nuevas épocas.

Los objetivos de la tradición histórica, el soporte de un techo que trabaja a la flexión, siempre con problemas de estanqueidad, debido a su componente de fuerza horizontal, y la protección frente a las aguas que presentan los muros verticales, explican la diferencia de tratamiento que siempre han recibido ambas en la utilización de diferentes materiales, soluciones constructivas y expresiones arquitectónicas.

El planteamiento de la deconstrucción puede exponerse de la siguiente manera: ¿qué pasaría si eliminásemos esas diferencias y resolviésemos cubiertas y fachadas con un único material, fingiendo un elemento arquitectónico continuo? El problema es que no se dispone todavía de un único material capaz de resolver ambos problemas de manera absolutamente homogénea. Además, la continuidad de textura e imagen de todo el edificio, solamente alcanzable con un solo material en la cubierta y en la fachada, constituye otra de las grandes agresiones a la tradición constructiva: la defensa a ultranza de lo *informe*.

En ayuda a la búsqueda de una solución, la existencia de un *software* aerospacial que ha permitido «leer» las formas de una maqueta, diseñar una estructura envolvente y mecánicamente capaz, calcularla y dirigir el corte de los perfiles que la componen, tendremos que aceptar que la industria está en condiciones para resolver algunas de esas exigencias de la construcción informal. El Museo Guggenheim en Bilbao es un exponente de una envolvente uniforme con cierta racionalidad moderna en la definición y producción de la estructura portante.

15.4.7. Perspectivas

Actualmente estamos inmersos en un cambio permanente en todos los ámbitos de nuestra sociedad y la arquitectura también es afectada por él, en el programa funcional, en el técnico y en el cultural, por las nuevas exigencias de confort.

En el mundo de la construcción el cambio es difícil, ya que su objetivo es poner juntas muchas cosas de forma que duren mucho tiempo. Sin embargo, el edificio ya no es sinónimo de duración indefinida, es como si tuviésemos, para las estructuras, cerramientos e instalaciones, un certificado de garantía dife-

rente para cada una, a partir de cuya fecha de caducidad, lo que más dure tendríamos que considerarlo como un dispendio innecesario.

Bajo ese punto de vista, hemos de considerar que el edificio que compramos tendrá una durabilidad limitada, veinte o treinta años. Por lo tanto, la construcción deberá someterse a un cambio continuo y la única respuesta es la adaptabilidad de sus estructuras, cerramientos e instalaciones. Lo difícil es encontrar la definición del lenguaje arquitectónico que corresponde a esa adaptabilidad.

Estas opiniones sobre posibles evoluciones afectan a áreas constructivas significativas, pero difícilmente a la gran masa de lo construido, por lo menos a corto plazo. Ello, significa una profunda separación entre las formas convencionales de la construcción y las revolucionarias innovaciones de los edificios de moda o de prestigio, con lo cual es seguro que el abanico de posibles formas de construir se haga cada vez más extenso, aunque la moda nos lleve a utilizar en la gran masa de construcción convencional una u otra de sus alternativas.

Vigilancia y prospectiva tecnológica

15.5. Vigilancia o inteligencia tecnológica

La vigilancia tecnológica puede definirse como *«la búsqueda, detección, análisis y comunicación, para los directivos de las empresas, de las informaciones orientadas a la toma de decisiones sobre amenazas y oportunidades externas en el ámbito de la ciencia y de la tecnología»* (Ashton y Klavans 1977,⁽⁵⁾). En el mundo anglosajón esta actividad recibe el nombre de *«competitive technical intelligence»*.

Tiene por objetivo el conocer el día a día de lo que está sucediendo en un sector tecnológico determinado, a fin de poder orientar o reorientar los trabajos de investigación de las empresas, para evitar las sorpresas desagradables que se pueden producir al intentar la obtención de un producto o un proceso que está a punto o bien ha sido lanzado al mercado, o se han suspendido sus estudios por inviables.

La necesidad actual de dicha información viene justificada por varios factores. De una parte, la innovación tiene lugar en muchos países y con un crecimiento exponencial, tanto de manera vertical dentro de la misma tecnología, como horizontal por aplicación a otras tecnologías, lo cual hace difícil, sin un instrumento adecuado de vigilancia tecnológica, el que la empresa esté al corriente de lo que está sucediendo en su campo. Además, los costes de I+D+I ha aumentado considerablemente a consecuencia de que cada vez es más difícil, a medida que avanza el conocimiento, el encontrar «zonas vírgenes», lo cual hace que los programas de I+D+I sean más complejos y, por consiguiente, más caros. Según P. Escorsa y J. Vallas⁽⁶⁾, se calcula que las empresas japonesas dedican el 1,5% de su cifra de ventas a las tareas de vigilancia y que el MITI

(Ministerio de Industria y Comercio japonés), facilita anualmente 500.000 resúmenes de 11.000 revistas e informa sobre 50.000 patentes.

15.5.1. La estructura de la vigilancia en la empresa

Dado que no es posible vigilarlo todo y menos aún en las grandes empresas con varias áreas de actividad, por lo ineficaz y caro que resultaría, es necesario establecer unos criterios acerca de sobre qué hay que informar y una organización que proporcione dicha información a la/s persona/s que debe/n recibir la información.

Sobre qué informar

En relación sobre qué informar, se considera que los cuatro criterios acerca de los cuales la empresa debe centrar la vigilancia son ⁽⁷⁾:

Competitivos. Se ocupará de los competidores actuales y potenciales.

Comerciales. Se ocupará de los datos referentes a los clientes (la evolución de sus necesidades, marcha de sus negocios, etc.) y de los proveedores (calidad de sus productos, precios, nuevos productos, rapidez en las entregas, etc.).

Tecnológicos. Se centrará en los cambios que se efectúan en las tecnologías actuales y de las nuevas que aparecen en el mercado.

Entorno. Se ocupará en aquellos factores externos que pueden influir en el futuro de la empresa, tales como los políticos, sociológicos, medioambientales, etc.

Dentro de cada uno de estos criterios, existen «factores críticos» de los cuales depende la buena marcha de la empresa y sobre los cuales se debe centrar la vigilancia. Por ejemplo, en una empresa dedicada a la fabricación de colorantes sulfurosos en Europa Occidental, estos factores críticos podrían resumirse de la siguiente manera:

Competitivos. Nuevos competidores en la fabricación que aparecen en Asia y América del Sur.

Comerciales. Evolución de la demanda de los clientes según la moda se Oriente hacia los tejidos de pana o hacia los tejidos, en las zonas de mayor fabricación de estos tejidos (Turquía, Oriente Medio, Colombia, etc.).

Tecnológicos. Colorantes líquidos de concentración elevada y con reductores de tipo ecológico. Colorantes en forma dispersa. Nuevos procesos de aplicación discontinua en atmósfera inerte. Nuevos sistemas de aplicación continua para evitar desigualdades de tintura.

Entorno. Eliminación de aminas nocivas a la salud en la fabricación. Exigencias medioambientales en los desagües de las soluciones de fabricación y tintura.

15.5.2. Organización de la vigilancia

Una vez conocidos los factores críticos de los cuatro aspectos sobre los cuales la empresa debe estar informada, es necesario crear una estructura para obtener la información. Es evidente que dicha estructura dependerá del tipo de empresa y del tamaño de la misma.

Según Palop y Vicente⁽⁷⁾, las condiciones que deben darse en la vigilancia de la empresa son:

- Deben centrarse en los factores críticos, lo cual precisa definir los indicadores a vigilar. La elección de los factores críticos debe efectuarse por los especialistas de cada una de las áreas en las que conviene captar la información, ayudados preferiblemente por expertos externos.
- Se debe efectuar de una manera sistemática y con regularidad.
- Estar estructurada en una organización externa y descentralizada basada en la creación y explotación de redes. Algunas grandes empresas de un mismo sector tecnológico pueden agruparse para crear una organización externa a ellas que se encargue de suministrar la información a los departamentos de I+D, producción, ingeniería, marketing, para que éstos la analicen y tomen las decisiones oportunas.

En las empresas pequeñas y medianas la vigilancia tecnológica debe plantearse una estructura sencilla. Así, en muchos casos, la información comercial sobre competidores y nuevos productos, se capta a través de los datos recogidos por marketing en su contacto con el mercado y la información tecnológica corre a cargo I+D y producción a través de diferentes fuentes de información, tales como proveedores de productos, de maquinaria, revistas técnicas, asistencia a ferias, consultores externos, etc. Las personas designadas por estos departamentos analizan la información y proponen las decisiones a tomar, en cada caso.

En España, el Ministerio de Ciencia y Tecnología ha creado el Observatorio de Prospectiva Tecnológica Industrial (OPTI), dentro del cual existen los Departamentos de Vigilancia Tecnológica (VT) y el OPTI propiamente dicho. El VT tiene como misión la vigilancia tecnológica para que los destinatarios de determinadas tecnologías conozcan en tiempo preciso los movimientos que se producen en su sector. Para ello publican un boletín de periodicidad trimestral que en sus primeros números están dedicados a la información sobre patentes relacionadas con las tecnologías de piezas metálicas y con la conservación de alimentos que posteriormente se irá ampliando a otros sectores de la tecnología agroalimentaria.

15.5.3. Fuentes de información

Es evidente que para establecer una adecuada estructura de información, las empresas tienen a su disposición dos herramientas importantes: las bases de datos y la cienciometría o bibliometría.

Las bases de datos. Constituyen una de las fuentes de información más importantes y si bien existen desde hace muchos años, su acceso no era tan rápido y económico como lo es actualmente. Cada día existen más bases de datos y más especializadas, y es indudable que su acceso a través de Internet contribuye a ello de manera importante.

En el Capítulo 9 (9.5, pág. 213) ya indicábamos las bases de datos más importantes así como su especialización. Como ampliación a lo allí citado podemos añadir las siguientes: Compendex, en ingeniería; World Patent Abstracts, en patentes; Medline, en medicina; Inspec, en electricidad y electrónica; EPAT en patentes europeas, etc. En todas las bases de datos existe información suficiente de manera resumida, acerca de lo que trata la comunicación o patente cuyo contenido deseamos conocer. No obstante, el acceso resulta a veces complicado, debiéndose, en muchos casos, dejarse guiar por un experto para obtener la información.

La cienciometría. Según Amat⁽⁸⁾ la cienciometría puede definirse como «*el conjunto de estudios que tratan de cuantificar el proceso de la comunicación escrita y la naturaleza y evolución de las disciplinas científicas mediante el recuento y análisis de diversas características de dicha comunicación*». La revista *Sciencimetrics* contiene los estudios y avances que se van produciendo en este campo.

Los estudios cienciométricos se basan en el análisis y estudio de determinados indicadores bibliométricos: autores, citas que aparecen en la bibliografía de cada artículo, palabras clave, etc. Sancho⁽⁹⁾ indica que mediante el estudio de estos indicadores se pueden determinar, entre otras:

- Tecnologías estratégicas.
- Relaciones entre investigación y tecnología.
- Dinámica tecnológica.
- Alianzas estratégicas.
- Empresas más importantes.
- El crecimiento de cualquier campo de la ciencia.
- El envejecimiento de los campos científicos.
- La colaboración entre científicos e instituciones.
- Identificación de oportunidades.

15.5.4. Los mapas tecnológicos

Los mapas tecnológicos son «*representaciones gráficas que permiten visualizar los avances tecnológicos que están teniendo lugar, además de cómo evolucionará la tecnología a lo largo del tiempo*». A través de estos mapas se pueden detectar las tecnologías emergentes y la aparición de nuevas oportunidades^{(6), (10)}.

Para la elaboración de estos mapas no son suficientes la cuantificación de los indicadores bibliográficos anteriores, sino que es necesario un nuevo indicador denominado «análisis de la concurrencia» (*co-word*). Este estudia la aparición conjunta de dos o más palabras en campos tales como títulos, resúmenes, palabras clave, *abstracts*, etc. Cuanto más veces aparezcan las palabras clave juntas con relación al número de artículos o patentes publicadas, más grande es la «proximidad», la cual se cuantifica por medio de unos «índices» y métricas, y se sitúa la posición de estos en unos ejes, obteniéndose así los mapas tecnológicos⁽¹⁰⁾.

Según Escorsa y otros⁽¹⁰⁾, los pasos necesarios para la elaboración de un mapa tecnológico son:

- a) Diseño y realización de la búsqueda.
- b) Tratamiento de la información obtenida.
- c) Análisis de los campos de información seleccionados.
- d) Análisis de concurrencia entre los diferentes campos.
- e) Análisis de los resultados y aplicación de las herramientas informáticas para obtener los mapas.

Los programas de *software* utilizados incorporan métodos estadísticos de análisis de datos, como el de los componentes principales, ACP, o el análisis factorial de las correspondencias. El primero permite condensar lo más importante de la información dada por una serie de variables independientes. El segundo permite visualizar individuos y variables y ofrece información acerca de los comportamientos que se separan de las tendencias generales. La Figura 15.1 muestra uno de los resultados obtenidos por Escorsa, Masponsa y Rodríguez⁽¹⁰⁾.

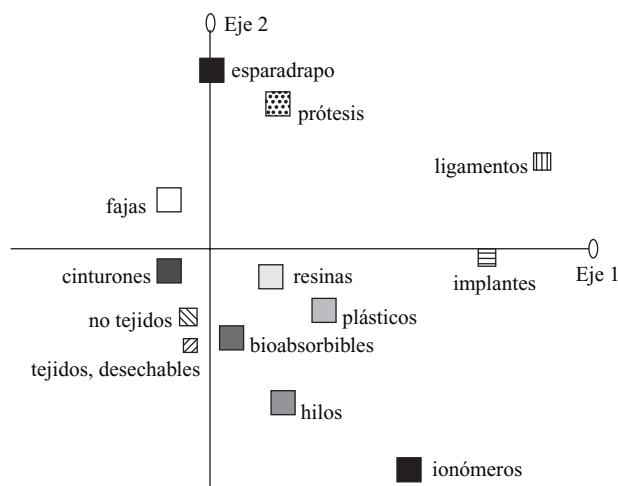


Figura 15.1. Textiles industriales para usos médicos. Análisis de temáticas a partir de títulos de patentes. Análisis factorial⁽¹⁰⁾.

En la Figura 15.1 se identifican tres dominios dentro de la temática de los textiles médicos. La que ocupa el espacio central corresponde a los materiales no tejidos y tejidos, tales como bioabsorbibles, multicapas, inyectables, vendas elásticas, composites absorbentes, etc. La centrada en la parte derecha del mapa, comprende las actividades relacionadas con los implantes óseos, ligamentos artificiales, etc. La que ocupa la parte superior del mapa está relacionada con los yesos ortopédicos, cementos óseos, prótesis y tejidos para vendas ortopédicas.

15.6. Prospectiva tecnológica

Así como la vigilancia tecnológica tiene por objetivo conocer, en el momento presente, cómo está un determinado campo científico-tecnológico, la prospectiva o previsión tecnológica tiene como objetivo *«el estudiar y prever el futuro de un determinado campo tecnológico con un cierto nivel de confianza, dentro de un periodo de tiempo determinado y con nivel específico de soporte»*⁽¹¹⁾.

La previsión implica una expectativa, o sea, que el fenómeno no está bajo control de quien hace la expectativa y, por consiguiente, aquélla se hace en condiciones de incertidumbre, con lo que el «nivel de confianza» es en realidad una probabilidad subjetiva. El «nivel específico de soporte» hay que interpretarlo como el conjunto de conocimientos científicos-tecnológicos que se poseen en el momento de efectuar la previsión y los recursos de I+D+I que se emplearán para lograr los cambios indicados en un campo tecnológico determinado.

15.6.1. Tipos de previsión tecnológica

La previsión tecnológica abarca un conjunto de ramas complejas entre las cuales sólo citaremos:

15.6.1.1. Previsión tecnológica normativa

Este tipo de previsión intenta, una vez establecido un objetivo, qué debe hacerse en el periodo comprendido entre el presente y el tiempo futuro determinado, para alcanzar el objetivo establecido. Existen varios métodos que suelen denominarse *«métodos proyectivos»*.

15.6.1.2. Previsión tecnológica exploratoria

Este tipo de previsión pretende conocer, en una tecnología existente, cuándo aparecerá una nueva tecnología que la mejore o la sustituya. Este tipo de

previsión es el más corrientemente empleado en la industria. Comprende varios métodos que suelen denominarse «*métodos prospectivos o intuitivos*».

15.6.1.3. Evaluación tecnológica

Este tipo de previsión intenta evaluar los efectos «no deseados» de una nueva tecnología, para evitar que esta se implante o, al menos, poner los medios necesarios para evitar los efectos no deseados.

15.6.2. Métodos utilizados en la previsión tecnológica

Entre los varios existentes citaremos:

15.6.2.1. Métodos proyectivos

El fundamento de estos métodos es la extrapolación, o sea, que se acepta que la estimación de los valores de una función se cumple más allá de donde disponemos de los datos. Los factores que han influido en el fenómeno continuarán en el futuro. La extrapolación puede efectuarse de diversas maneras, entre las cuales sólo citaremos:

15.6.2.2. Ajuste de curvas

Comprende aquellos métodos que emplean el ajuste de curvas (lineal, exponencial, logística), que basándose en los datos existentes que definen el fenómeno, puedan representar mejor el futuro de dicho fenómeno. Ha sido aplicado este método en el estudio de la evolución de las lámparas de incandescencia.

15.6.2.3. Correlación

Se emplean cuando se aprecia una cierta proporcionalidad entre la evolución de dos variables con el tiempo. Un ejemplo de aplicación de este método se encuentra en la evolución de los aviones de transporte y de combate.

15.6.2.4. Analogía

Existen dos métodos diferentes: la analogía histórica y la de crecimiento. La primera se fundamenta en la utilización de alguna tecnología interpretada históricamente para efectuar una previsión de lo que puede suceder con una tecnología que comienza. Como ejemplo, se puede citar el estudio efectuado por la General Electric Co. acerca de la previsión de la utilización de la energía

eléctrica obtenida por fisión, partiendo de los datos de la evolución de la energía eléctrica obtenida por carbón y de la energía hidroeléctrica.

La analogía de crecimiento tiene su origen en el conocido crecimiento de los fenómenos biológicos, a los cuales se han dedicado estudios matemáticos, como el propuesto por Lenz para estudiar el crecimiento de la población en función del tiempo.

15.6.2.5. *Métodos prospectivos*

Tal como hemos indicado anteriormente, estos métodos se utilizan cuando se desea conocer la aparición de innovaciones importantes en determinadas áreas tecnológicas, o cuando el periodo de tiempo a considerar es muy extenso, de forma que la investigación del objetivo a alcanzar, sólo puede obtenerse haciendo uso de la imaginación de un grupo de expertos. Estos métodos intentan amortiguar el carácter subjetivo de las opiniones personales para obtener un efecto imparcial de los resultados obtenidos.

Entre los diferentes métodos prospectivos utilizados, mencionaremos los siguientes:

Escenarios. Representan el conjunto formado por la descripción de una acción futura y de la secuencia de acontecimientos que tienen que suceder para pasar de la situación actual a la futura. Como ejemplo, se pueden citar el empleo de este método con éxito en 1972 por la compañía Shell acerca de la evolución de los precios del petróleo, que permitió a esta compañía deshacerse de sus excedentes de petróleo antes de que los precios se hundieran, al contrario de lo que hicieron otras compañías.

Árboles de relevancia. Esta técnica suele ser útil cuando para alcanzar un objetivo suelen existir diferentes alternativas tecnológicas. El objetivo constituye el origen (0) y las diferentes alternativas tecnológicas las «soluciones posibles» ($0_1 - 0_2 - 0_3$) para alcanzarlo. A su vez, cada «solución posible» requiere el que se cumplan diferentes «funciones» ($0_{11} - 0_{12} - 0_{13} - 0_{14}$), las cuales pueden alcanzarse cada una, empleando diferentes medios o «sistemas» ($0_{111} - 0_{112} - 0_{113}$). A su vez, cada una de estas pueden alcanzarse mediante diferentes formas o «proyectos» ($0_{111P1} - 0_{111P2} - 0_{111P3}$). De esta forma se obtiene un «árbol de relevancia» o «ramificado», cuyo análisis cuantitativo permite alcanzar el objetivo de la forma más adecuada. En la Figura 15.2 se muestra gráficamente lo indicado.

El método Delphi. Es la metodología más empleada en los estudios de prospectiva tecnológica y por ello le dedicaremos una mayor extensión en este libro. Este método, de iteración con realimentación controlada, fue desarrollado en 1950 por la RAND Corporation en Estados Unidos y desde 1971 ha sido adoptado por el Japón y diferentes países europeos, Alemania, Francia, Reino Unido, Austria y más recientemente por el Observatorio de Prospectiva Tecnológica Industrial (OPTI) del Miner en España.

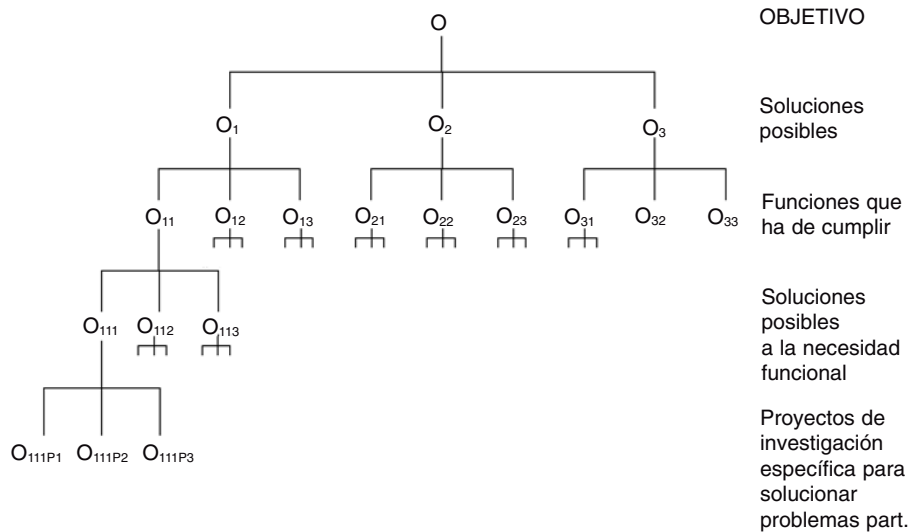


Figura 15.2. Representación gráfica de un árbol de relevancia.

El método Delphi posee cuatro características fundamentales:

Anonimato. No existe contacto físico entre los expertos seleccionados.

Reiteración. Circulan varias rondas del cuestionario.

Control retroactivo. Los resultados de las rondas previas son enviados a los expertos participantes.

Presentación estadística. Los resultados finales se presentan mediante parámetros estadísticos.

Las fases del método Delphi son las siguientes:

Selección de un grupo de expertos para la exploración de un sector industrial determinado. Redacción de un cuestionario con claridad y precisión a fin de que todos los expertos lo interpreten de la misma manera. El cuestionario se acompaña de un manual de instrucciones que indica la forma de proceder.

Envío de la primera ronda del cuestionario entre los expertos seleccionados, para que cada uno envíe sus respuestas.

Una vez recibidas las respuestas, el director del experimento las analiza y calcula su mediana y el primer y tercer cuartil, enviando nuevamente el cuestionario en donde incluye estos valores, a fin de que los expertos a la vista de los resultados de la primera ronda, modifiquen o se mantengan en su posición inicial. Las respuestas de la segunda ronda se remiten nuevamente al coordinador.

Este proceso se repite hasta que las respuestas indican un adecuado grado de convergencia. En las repeticiones el director puede añadir otras preguntas, a fin de obtener una mayor convergencia o clarificar el contenido de la experien-

cia. El número de repeticiones puede variar de dos a cinco, según el tiempo disponible y el grado de convergencia deseada.

En la Figura 15.3 se muestra el resultado de una pregunta planteada a un grupo de expertos en el año 1967, acerca de cuándo aparecerá una nueva tecnología, en donde se indica el valor de la mediana y el primer y tercer cuartil. En ordenadas el número de respuestas y en abscisas las fechas expresadas en años⁽¹²⁾.

De acuerdo con los resultados de la Figura 15.3 se puede decir que el 50% de las respuestas nos indican que la tecnología que se estudia aparecerá en los años anteriores a 1975 (incluido este); el 75% de las respuestas (tercer cuartil) nos indica que la tecnología aparecerá antes de 1977 (incluido este) y el 100% de las respuestas nos indican, que según los expertos, dicha tecnología ya se estará aplicando en 1983.

La valoración del grado de acuerdo entre los expertos viene representada por la amplitud que represente el recorrido intercuartil. Si este es grande, el grado de acuerdo es bajo, y si aquél es pequeño el grado de acuerdo es elevado. Según el grado de acuerdo deseado y las respuestas recibidas, el director de la experiencia efectuará más o menos rondas hasta conseguir el grado de acuerdo deseado.

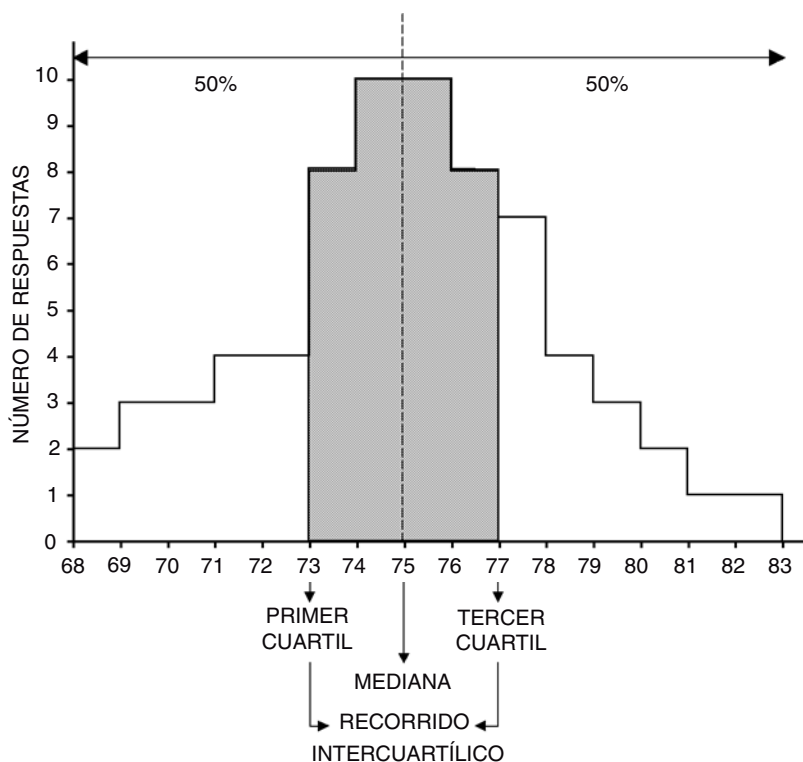


Figura 15.3. Histograma de respuestas.

Bibliografía

1. Martín Mayorga D. *La Ciencia en tus manos. La sociedad de la información*, págs. 615-634. Edit. Espasa Calpe, S. A., Madrid, 2001.
2. Fernández Durán R. *La ciencia en tus manos. Los transportes*, págs. 707-744. Edit. Espasa Calpe, S. A., Madrid, 2001.
3. Alario Miguel Á. *La ciencia en tus Manos. Los materiales*, págs. 746-780. Edit. Espasa Calpe, S. A., Madrid, 2001.
4. Fernández-Galiano L. y Paricio I. *La ciencia en tus manos. La Arquitectura y su Construcción*, págs. 781-807. Edit. Espasa Calpe, S. A., Madrid, 2001.
5. Asthon W. B., Klavans R. A. *Keeping Abreast of Science and Technology. Technical Inteligence for Business*, Batelle Press, Columbus, USA, 1997.
6. Escorsa P., Valls J. *Tecnología e innovación en la empresa. Dirección y gestión*, pág. 74. Edit. UPC, Barcelona, 1997.
7. Palop F., Vicente J.M. *Estructura de la vigilancia*. Master en Gestión de la Ciencia y la Tecnología, Universidad de Carlos III, Madrid, 1994.
8. Amat N. *La documentación y sus tecnologías*. Edit. Pirámide, Madrid, 1994.
9. Sancho R. Indicadores bibliométricos utilizados en la Ciencia y en la Tecnología. Revisión bibliográfica, *Revista Española de Documentación Científica* n.º 13, 1990.
10. Escorsa P., Maspons R., Rodríguez M. Mapas tecnológicos, estrategia empresarial y oportunidades de mercado. El caso de los textiles para usos médicos. *Boletín Intexter* n.º 117, pág. 57, UPC, 2000.
11. Cetron M.V. *Technological Forecasting. A Practical Approach*. Edit. Gordon & Breach, 1969.
12. Fermin de la Sierra, *Estrategia de la innovación tecnológica*, pág. 216. Edit. ETS. Ingenieros Industriales de Madrid, 1981.

Índice analítico

- Actualidad científica y tecnológica, 275
- Arquitectura y su construcción, 332
 - alta construcción, la, 338
 - anticonstrucciones, las, 339
 - construcción(es), de la, 336
 - convencional, 337
 - tradicional revisada, 338
 - en la edad del espectáculo, 338
 - perspectivas, 340
- Biotecnología, 304
 - aplicaciones de la, 306
 - aplicaciones militares, 310
 - proyecto Genoma Humano, 309
- Brainstorming*, 183
- Cerebro, el, 295
 - células nerviosas y círculos neuronales, 295
 - desarrollo, 298
 - enfermedades neurológicas y mentales, 302
 - funciones cognitivas, 298
 - memoria, 298
 - alteraciones, 298
 - neurotransmisores, 298
- Ciencia,
 - análisis y especialización, 11
 - básica y aplicada, 13
 - determinismo o indeterminismo científico, 14
 - ética de la ciencia, 16
 - clara y precisa, 8
 - hechos, 7
 - legal, 7
 - normales y fácticas, 1
 - tipos, 1
 - utilidad, 13
- Comunicación en la innovación tecnológica, 225
 - con el exterior de la empresa, 228
 - de servicio técnico, 230
 - proyectos de investigación, 229
 - proyectos de desarrollo, 229
 - proyectos de servicio técnico, 30
 - el sistema de, 226
 - en el interior de la empresa, 232
 - una sola empresa, 232
 - varias empresas de la misma área tecnológica, 235
 - problemas en la, 238
- Conocimiento científico,
 - características, 5
- Conocimientos actuales y perspectivas científicas, 276
- Control de proyectos de investigación, 253
 - cancelación de proyectos I/D, 258
 - acertados, 259
 - desacertados, 259
 - de I/D, 254
 - revisión científica y técnica, 254
 - revisión del potencial humano y del equipo material, 254
 - revisión del tiempo de terminación y coste, 254

- sistemas de, I/D, 254
 - con poca definición de las etapas a seguir, 257
 - donde se conocen las etapas a seguir, 257
- Creatividad
 - en grupo, 174
 - definición del objetivo, 178
 - formación del, 177
 - en la investigación, 153
 - brainstorming*, 183
 - métodos creativos, 160
 - métodos para mejorar la creatividad, 164
 - técnicas individuales de, 170
 - tipos de pensamiento creativo, 154
 - técnicas individuales de, 179
 - análisis morfológico, 170
 - diagramas de planificación, 173
- Difusión de la investigación, 189
- Envejecimiento,
 - funciones básicas y, 289
 - genes, evolución y envejecimiento, 290
 - perspectivas, 293
 - teorías del, 291
 - y telómeros, 289
- Estructuras,
 - de innovación, 261
 - de investigación, 261
- Ética de la tecnología, 37
- Evaluación de la eficiencia de la investigación, 241
- Fuentes de información, 343
- Genoma Humano, proyecto, 309
- Grupo investigador, 73
- Innovación tecnológica, 52, 225
 - comunicación en la, 225
 - con el exterior de la empresa, 228
 - en el interior de la empresa, 232
 - problemas en la, 238
 - sistema de, 226
- Investigación,
 - científica y tecnológica, 41
 - construcción de modelos, 48
 - construcción de sistemas teóricos, 49
 - definición y tipos, 46
 - formulación de leyes, 48
 - innovación tecnológica, 52
 - obtención de conocimientos, 46
 - propuestas de teorías marco, 49
 - cominatoria, 88
 - creatividad en la, 153
 - difusión de la, 189
 - informes, 209
 - patentes, 216
 - presentación oral, 219
 - publicaciones de, 215
 - en la industria, 125
 - estructura, 216
 - investigadora en la Universidad, 262
 - investigadora del sector público, 264
 - investigadora en las empresas, 268
 - evaluación de la eficiencia de la, 241
 - de la eficiencia en I/D, 243
 - de la eficiencia en la innovación tecnológica, 247
 - experimental, 85
 - método general de, 95
 - organización de los datos, 12
 - planteamiento del objetivo, 98
 - propuesta de solución, 107
 - reunión de los datos conocidos, 100
 - métodos de, 81, 84
 - por observación de la naturaleza, 89
 - sociológica, 91
 - teórica, 84
- Investigador y sus características, el, 57
 - aspectos éticos, 70
 - el grupo, 73
 - objetividad, 68
 - pensamiento creador, 58
 - pensamiento no creativo, 65
- Mapas tecnológicos, 344

- Materiales, 323
 - artificiales, 324
 - naturales, 323
- Métodos creativos, 160
 - mejora de la creatividad del investigador, 164
- Métodos de investigación, 81
- Microcosmos, el mundo del, 276
 - detectores, 279
 - exploración de pequeñas distancias, 278
 - perspectivas para el siglo XXI, 281
- Mundo de la química, el, 283
- Mundo del microcosmos, el 276
- Patentes,
 - partes de una, 216
 - tipos y modalidades, 216
- Pensamiento,
 - creador, 58
 - no creativo, 65
- Pensamiento creativo, 154
 - iluminación, 156
 - imaginación, 154
 - inspiración, 158
- Perspectiva científica y tecnológica, 275
 - conocimientos actuales, 276
- Prospectiva tecnológica, 346
 - métodos utilizados, 347
 - tipos, 346
- Provisión tecnológica,
 - métodos utilizados, 347
 - tipos, 346
- Proyectos,
 - acertados, 259
 - cancelación de I/D, 258
 - de desarrollo, 229
 - de investigación, 229, 253
 - control de, 253
 - de servicio técnico, 230
 - desacertados, 259
 - sistemas de control de I/D, 254
- Publicaciones,
 - estructura de las, 192
 - agradecimientos, 206
 - autores, 193
 - citas bibliográficas, 205
 - conclusiones, 205
 - discusión, 203
 - experimental, 197
 - introducción, 196
 - resultados, 199
 - resumen, 195
 - título y palabras clave, 192
 - tipo de, 191
- Química, el mundo de la, 283
 - de los materiales, 288
 - física, 286
 - inorgánica, 285
 - orgánica, 284
 - y medicina, 287
- Sinéctica, 183
- Sociedad de la información, 313
 - economía, 318
 - servicios, 317
- Tecnología,
 - ética, 37
 - evolución, 26
 - inteligencia, 341
 - no evolutivas, 24
 - tipos, 19
 - vigilancia, 341
- Tecnologías,
 - artesanales, 20
 - de base científica, 21
 - evolutivas, 21
- Transportes, 318
 - consideraciones económico-sociales, 319
 - contestación social y sostenibilidad, 322
 - política de la Unión Europea, 320
- Vigilancia de la empresa, 342
 - estructura, 342

