

# **APOYO CUANTITATIVO A LAS DECISIONES**

CATALINA L. ALBERTO

CLAUDIA E. CARIGNANO

CUARTA EDICIÓN

Alberto, Catalina Lucía

Apoyo cuantitativo a las decisiones / Catalina Lucía Alberto y Claudia Etna  
Carignano. - 4a ed. - Córdoba : Asociación Cooperadora de la Facultad de Ciencias  
Económicas de la U.N.C., 2013.  
472 p. ; 26x20 cm.

ISBN 978-987-1436-80-4

1. Economía. 2. Organizaciones. I. Carignano, Claudia Etna II. Título  
CDD 330

Asociación Cooperadora de la Facultad de Ciencias Económicas de la U.N.C  
Av. Valparaíso s/n – Córdoba – Argentina  
Tel.: (0351) 4697879  
E-mail: asoccoop@eco.unc.edu.ar

ISBN 978-987-1436-80-4

Hecho el depósito que previene la Ley nº 11.723  
Derechos Reservados © 2013

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

Impreso en la Asociación Cooperadora de la Facultad de Ciencias Económicas  
Universidad Nacional de Córdoba - Córdoba - Argentina

## Prólogo

El proceso de toma de decisiones ha evolucionado en las últimas décadas en el sentido de convertirse en una actividad racional en la que, quien decide, debe tener un conocimiento claro de las alternativas factibles y de los resultados asociados. Si bien todas las decisiones pueden tomarse apelando a la intuición, es indudable que los resultados pueden ser significativamente superiores si se complementa la intuición con la construcción de modelos cuantitativos, y mucho más aún, si se tiene en cuenta que, como consecuencia de los avances de la informática, estos modelos resultan herramientas accesibles de apoyo a las decisiones en todo tipo de Organizaciones.

Esta obra tiene un enfoque teórico-práctico. Por una parte se exponen los fundamentos teóricos de los modelos y por otra se facilitan los medios para que el lector pueda iniciarse en la aplicación de los diferentes métodos.

El texto está dirigido a alumnos de carreras universitarias de grado relacionadas con las ciencias económicas e ingenierías. Para su lectura se requieren nociones de álgebra, estadística y probabilidad.

En esta nueva edición hemos incorporado dos nuevos capítulos, el primero referido a conocimientos básicos previos y el segundo incluye respuestas a problemas seleccionados.

No podemos finalizar este prólogo sin expresar nuestro reconocimiento a las distintas personas que de una u otra manera han contribuido a que esta obra sea una realidad, a nuestros alumnos y colegas docentes que han utilizado la edición anterior y nos aportaron innumerables sugerencias. Especialmente hacemos extensivo nuestro agradecimiento a la colega Mariana Guardiola por su invalorable participación en la elaboración del capítulo referido a conocimientos básicos previos.

Nos hacemos responsables de los errores que pudiera contener y agradeceríamos mucho cualquier comentario acerca de este texto.

Las autoras

## Acerca de las Autoras

### **CATALINA LUCÍA ALBERTO**

Catalina Lucía Alberto es Doctora en Ciencias Económicas de la Universidad Nacional de Córdoba. Profesora Titular en las cátedras de Métodos Cuantitativos para la Toma de Decisiones e Investigación Operativa y profesora en la carrera de Doctorado de la Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Córdoba.

Posee una amplia trayectoria en investigación. Es coautora de cuatro libros, numerosos capítulos de libros y artículos científicos publicados en revistas de la especialidad. Su principal línea de investigación está relacionada con la competitividad y eficiencia.

Participa como evaluadora en la Comisión Nacional de Evaluación y Acreditación Universitaria y en la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Córdoba.

Se ha desempeñado en diversos cargos relacionados con la gestión universitaria en la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Nacional de Córdoba.

### **CLAUDIA ETNA CARIGNANO**

Claudia E. Carignano Magíster en Planificación y Gestión Educacional, profesora titular por concurso de las asignaturas Investigación Operativa y Decisiones en Escenarios Complejos de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información de la UTN Facultad Regional Córdoba. Profesora asociada por concurso en Métodos Cuantitativos para la Toma de Decisiones e Investigación Operativa en la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Nacional de Córdoba, profesora del posgrado de Especialización en Costos para la Gestión desarrollado por el IAPUCO (Instituto Argentino de Profesores Universitarios de Costos) y en la maestría en Contabilidad de la Universidad Católica de Córdoba, en la asignatura Métodos Cuantitativos de Gestión.

Obtuvo su título de grado, Contadora Pública en la Universidad Nacional de Córdoba. Es Especialista en Enseñanza de la Educación Superior, título otorgado por la Universidad Católica de Cuyo y se graduó de Magíster en Planificación y Gestión Educacional en la Universidad Diego Portales de Chile.

Posee una amplia trayectoria en investigación, su principal línea de investigación está relacionada a la toma de decisiones con objetivos múltiples y la eficiencia. Es coautora de cinco libros todos sobre la temática de la toma de decisiones y numerosos artículos científicos publicados en revistas de la especialidad.

# Índice

	PÁGINA
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUCCIÓN</b>	
1. Introducción	13
2. Breve historia de la Investigación Operativa	14
3. Los modelos utilizados en Investigación Operativa	16
4. Clasificación de los modelos	18
5. Limitaciones de los modelos matemáticos	19
6. Metodología científica	20
7. Diferentes tipos de Investigación Operativa	22
<b>CAPÍTULO 2 - EL PROCESO DE DECISIÓN</b>	
1. Introducción	25
2. Decisión y universo	26
3. Decisiones bajo condiciones de certeza o universo cierto	27
4. Decisiones bajo riesgo o universo aleatorio	28
5. Decisiones bajo condiciones de incertidumbre o universo incierto	30
6. Árboles de decisión	35
7. Decisiones bajo conflicto o juegos de estrategia	38
Actividades de autoexamen	45
<b>CAPÍTULO 3 - PROGRAMACIÓN LINEAL</b>	
1. Introducción	49
2. Modelo matemático general de la programación lineal	52
3. Método gráfico para resolver programas lineales	54
4. Conceptos básicos	60
5. Consideraciones respecto al conjunto de soluciones	62

	PÁGINA
6. Teoremas de combinaciones lineales convexas de soluciones factibles	63
7. Método simplex	66
8. Técnica de la base artificial	75
9. Casos particulares	79
10. Interpretación económica de la tabla simplex	84
Anexo 1: Modelo de programación matemática	89
Anexo 2: Teorema que fundamenta el método simplex	90
Actividades de autoexamen	95
<b>CAPÍTULO 4 - DUALIDAD Y SENSIBILIDAD EN PL</b>	
1. Introducción	105
2. La dualidad en la programación lineal	105
3. Análisis de sensibilidad	110
3.1. Una visión gráfica	111
3.2. Análisis de los intervalos de sensibilidad	115
3.2. Cálculo de los intervalos de sensibilidad	116
Actividades de autoexamen	134
<b>CAPÍTULO 5 - TRANSPORTE, TRANSBORDO Y ASIGNACIÓN</b>	
1. Introducción	139
2. El Problema del Transporte	139
3. El Problema de Asignación	150
4. El Problema de Transbordo	156
5. Comentario respecto a las variables de estos problemas	160
6. El problema de flujo máximo	160
Actividades de autoexamen	162
<b>CAPÍTULO 6 - PROGRAMACIÓN LINEAL ENTERA</b>	
1. Introducción	167
2. Relajación lineal	167
3. Soluciones enteras vs. soluciones redondeadas	168
4. Método de ramificación y acotamiento	171
5. Uso de variables binarias	175

	PÁGINA
6. Ejemplo de planificación de personal	179
7. Análisis de sensibilidad en programas lineales enteros	180
Actividades de autoexamen	181
<b>CAPÍTULO 7 - PROGRAMACIÓN DINÁMICA</b>	
1. Introducción	185
2. Metodología	186
3. Características comunes	191
4. Conceptos importantes	192
5. Otras aplicaciones	193
Actividades de autoexamen	208
<b>CAPÍTULO 8 - PROGRAMACIÓN NO LINEAL</b>	
1. Introducción	211
2. Características generales	212
3. Tipos de problemas no lineales	214
4. Multiplicadores de Lagrange	218
5. Algunos ejemplos de PNL	219
6. Métodos de resolución	221
7. Modelo de selección de cartera de inversión	221
Actividades de autoexamen	228
<b>CAPÍTULO 9 - OPTIMIZACIÓN Y PLANIFICACIÓN CON GRAFOS</b>	
1. Introducción	233
2. Conceptos básicos de la teoría de grafos	235
3. Caminos de valor mínimo	239
4. Árbol de expansión mínima	242
5. Programación y control de proyectos	246
6. Método de Camino Crítico	247
7. Caso en que la duración de las actividades es un tiempo cierto	248
8. Caso en que la duración de las actividades son variables aleatorias	256
9. Caso en que la duración de las actividades depende de los recursos asignados	260
Actividades de autoexamen	274

	PÁGINA
<b>CAPÍTULO 10 – ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS</b>	
1. Introducción	279
2. Clasificación ABC	282
3. Definición de la simbología a utilizar	284
4. Modelo 1 de universo cierto o modelo sin ruptura	285
5. Modelo 2 de universo cierto o modelo con ruptura	289
6. Relación entre el modelo 1 y el modelo 2 de universo cierto	293
7. Nivel de reorden y stock de seguridad	294
8. Modelo con reabastecimiento uniforme	299
9. Modelo con descuentos por compras en cantidades	302
10. Primer modelo de universo aleatorio	306
11. Segundo modelo de universo aleatorio	312
12. Caso con demanda aleatoria y nivel de reorden	316
13. Justo a tiempo	316
14. Planificación de requerimiento de materiales	317
Actividades de autoexamen	319
<b>CAPÍTULO 11 – MODELOS DE SIMULACIÓN</b>	
1. Introducción	325
2. Concepto de simulación	325
3. Ventajas de la simulación	326
4. Etapas para realizar un estudio de simulación	327
5. Ejemplo de análisis de riesgo	327
6. Generación de variables aleatorias no uniformes	328
7. Algunos ejemplos de aplicación	338
8. Simulación de fenómenos de espera en filas	344
9. Ejemplos de simulación de colas	347
Actividades de autoexamen	358
<b>CAPÍTULO 12 – DECISIÓN MULTICRITERIO DISCRETA</b>	
1. Introducción	363
2. Decisión Multicriterio Discreta	365
3. Conceptos básicos	366
4. Preferencias del decisor	369

	PÁGINA
5. Escalas de medida	370
6. Función de utilidad	371
7. Función de agregación	374
8. Normalización de las evaluaciones	375
9. Preamáñsis de dominación	375
10. Preamáñsis de satisfacción	376
11. Asignación de pesos o ponderaciones	377
12. Clasificación de los métodos de DMD	378
13. Ponderación lineal	379
14. Método Analítico Jerárquico	381
15. Fundamentación del método AHP	386
16. Método TOPSIS	391
17. Premisas básicas del apoyo multicriterio a las decisiones	396
Anexo 1: Valores y Vectores Propios	397
Actividades de Autoexamen	398
<b>CAPÍTULO 13 – CONOCIMIENTOS BÁSICOS PREVIOS</b>	
1. Conocimientos básicos de matemática	403
2. Conocimientos básicos de estadística y probabilidad	426
<b>CAPÍTULO 14 – RESPUESTAS A PROBLEMAS SELECCIONADOS</b>	435
<b>BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA</b>	467

---

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

---

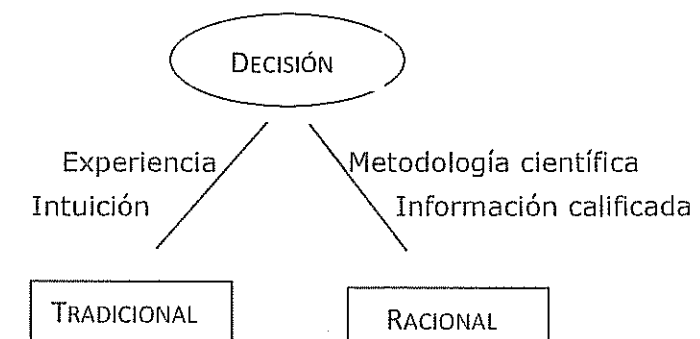
### 1. INTRODUCCIÓN

La evidente dificultad de tomar decisiones ha hecho que el hombre se aboque en la búsqueda de una herramienta o método que le permita tomar las mejores decisiones de acuerdo con los recursos disponibles y los objetivos que persigue. Si bien la experiencia e intuición resultan útiles en muchas situaciones, cuando el problema a resolver es de naturaleza compleja, es conveniente recurrir a un proceso más racional que ayude a tomar buenas decisiones.

Una decisión equivocada puede repercutir considerablemente en los intereses y objetivo de una organización y en ocasiones pueden pasar años para rectificar tal error. Cuando el problema es complejo, se requiere que las decisiones sean eficientes, eficaces y que se tomen rápidamente, pues el hecho de posponer una acción puede dar una desventaja decisiva en el mundo de la competencia.

En muchas situaciones, por las características de los problemas a resolver, se hace necesaria la participación de varios especialistas, cuya visión multidisciplinaria facilitará el proceso de toma de decisión.

En este contexto, la Investigación de Operaciones surge como una metodología desarrollada para estudiar problemas de decisión de naturaleza compleja. Su función es apoyar al tomador de decisiones (gerente, administrador, decisor), proporcionándole información calificada para la formulación de políticas y estrategias necesarias para la gestión.



La Investigación de Operaciones o Investigación Operativa (IO) se define como: *"La aplicación del método científico a problemas relacionados con las organizaciones o sistemas a fin de que se produzcan soluciones racionales que sirvan a los objetivos de toda la organización"*.

La IO se desarrolló a partir de los grandes éxitos obtenidos mediante su aplicación a la resolución de problemas de organización militar durante la Segunda Guerra Mundial. Cuando estas técnicas fueron introduciéndose en el mundo de los negocios como ayuda a la toma de decisiones, se comenzó a conocer con el nombre de Ciencia de la Administración (*Management Science*), Ciencia de la Gestión o Métodos Cuantitativos. En la actualidad hay muy poca distinción entre estos términos, y se usan indistintamente.

Lawrence y Pasternak (1998) definen Investigación Operativa de una forma generalista pero a la vez completa en cuanto a lo descriptiva:

Es un enfoque científico para la toma de decisiones ejecutivas, que consiste en:

- ✓ el arte de modelar situaciones complejas;
- ✓ la ciencia de desarrollar técnicas de solución para resolver dichos modelos y
- ✓ la capacidad de comunicar efectivamente los resultados.

Podríamos caracterizarla como una metodología de naturaleza multidisciplinaria que para su aplicación se requiere de objetividad, racionalidad, creatividad y una actitud de cuestionamiento crítico permanente.

## 2. BREVE HISTORIA DE LA INVESTIGACIÓN OPERATIVA

Si bien existen estudios relacionados con lo que hoy conocemos como IO desde el S.XVIII, existe consenso en ubicar los orígenes de la Investigación Operativa en Gran Bretaña durante la Segunda Guerra Mundial. Fue en Gran Bretaña donde la administración militar encargó a un grupo de científicos de distintas áreas el estudio los problemas tácticos y estratégicos asociados a la defensa del país durante el conflicto bélico (despliegue de radares, manejo de operaciones de bombardeo, colocación de minas). Se integraron grupos de trabajo compuestos por ingenieros, matemáticos, estadísticos, físicos, biólogos y psicólogos, entre otros, para hacer una distribución racional de los recursos con los que contaban. Los esfuerzos de este primer grupo de investigadores operativos fueron decisivos para ganar combates tan importantes como la Batalla Aérea Británica, la Batalla del Atlántico Norte y la Campaña de las Islas del Pacífico.

Motivados por los resultados alentadores obtenidos por los equipos británicos, los administradores militares de Estados Unidos comenzaron

a realizar investigaciones similares. Para eso reunieron a un grupo selecto de especialistas, los cuales empezaron a tener buenos resultados y en sus estudios incluyeron problemas logísticos complejos, la planificación de minas en el mar y la utilización efectiva del equipo electrónico.

Después de la guerra, estos éxitos atrajeron la atención de la industria, que quería solucionar nuevos problemas causados por el aumento de la complejidad de los procesos industriales y una mayor especialización en los mismos, lo que creaba una posible incompatibilidad de objetivos.

Aunque se ha acreditado a Gran Bretaña la iniciación de la Investigación Operativa como una nueva disciplina, los Estados Unidos tomaron pronto el liderazgo en este campo rápidamente creciente. La primera técnica matemática ampliamente aceptada en el medio de Investigación Operativa fue el Método Simplex de Programación Lineal, desarrollado en 1947 por el matemático norteamericano George B. Dantzig. Desde entonces las nuevas técnicas se han desarrollado gracias al esfuerzo y cooperación de las personas interesadas tanto en el área académica como en el área industrial.

Un segundo factor en el progreso impresionante de la Investigación Operativa fue el desarrollo de la computadora digital que, con su enorme capacidad de velocidad de cómputo, almacenamiento y recuperación de información, permitió al individuo que tenía que tomar decisiones hacerlo con rapidez y precisión.

En el siguiente cuadro se detallan aportes de diversos autores que se consideran antecedentes de la IO.

ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN OPERATIVA		
AÑO	AUTOR	TÉCNICA DESARROLLADA
1759	Quesnay	Modelos primarios de programación matemática
1873	Jordan	Modelos lineales
1874	Waelas	Modelos primarios de programación matemática
1896	Minkousky	Modelos lineales
1897	Harkov	Modelos dinámicos probabilísticos
1903	Farkas	Modelos dinámicos probabilísticos
1906	Erlang	Líneas de espera
1920-1930	Koning-Egervary	Asignación
1937	Morgestern	Lógica estadística
1937	Von Neuman	Teoría de juegos
1939	Kantorovich	Planificación en producción y distribución
1941	Hithcock	Transporte



1947	George Dantzing	Método Simplex
1947		Año en que se dio inicio a la programación y con el uso de las computadoras empezó a extenderse la Investigación de Operaciones
1950-1956	Kun-Tucker	Programación no lineal
1953	Kendall	Introduce la notación para identificar los sistemas de colas
1954	Lemke	Desarrollo del Simplex Dual
1957	Markowitz	Simulación y programación discreta
1957	Kelly y Walker	Desarrollan el método CPM
1958	Richard Bellman	Programación dinámica
1958	Gomory	Programación entera
1958	Arrow-Karlin	Inventarios
1959	Dijkstra	Algoritmo de Ruta más corta
1956-1962	Ford-Fulkerson	Redes de flujo
1960	Raiffa	Análisis de decisiones
1960	Land y Doig	Algoritmo de ramificación y acotamiento
1962	Ford-Fulkerson	Método Primal-Dual
1963	Karmarkar Nared	Algoritmos de punto interior

Tabla 1

### 3. LOS MODELOS UTILIZADOS EN INVESTIGACIÓN OPERATIVA

Una característica esencial del enfoque de la IO es que se basa en el supuesto de la racionalidad, es decir, las personas y las organizaciones actúan de manera reflexiva, poseen información, calculan los riesgos y los beneficios de sus decisiones y tratan de maximizar su utilidad o de minimizar sus costos, es decir, optimizan en función de sus expectativas y tienen recursos limitados.

Un elemento esencial en este enfoque cuantitativo es la formulación del modelo matemático, el cual es una representación abstracta de situaciones o problemas reales, a través de símbolos, relaciones o expresiones matemáticas. La función principal del modelo es deducir conclusiones formalmente válidas del problema real a través del estudio del modelo abstracto. Cabe señalar que, incluso en el enfoque de racionalidad limitada (Simon, 1957)<sup>1</sup>, se afirma que un modelo

<sup>1</sup> Simon señala que la mayoría de las personas son sólo parcialmente racionales y que, de hecho, actúan según impulsos emocionales no totalmente racionales en muchas de sus acciones. Sostiene que la racionalidad personal está de hecho limitada por tres dimensiones: la información disponible, la limitación cognoscitiva de la mente individual y el tiempo disponible para tomar la decisión.

matemático no tiene que ser exacto, solo tiene que ser lo bastante aproximado como para proporcionar mejores resultados que los logrados mediante el sentido común.

La construcción de modelos constituye una herramienta útil para lograr una visión estructurada de la realidad. La ventaja que tiene el construir un modelo que represente una situación real es que permite analizar tal situación sin interferir en la operación que se realiza, ya que el modelo es como "un espejo" de lo que ocurre. También facilita el manejo del problema en su totalidad y el estudio de todas sus interrelaciones simultáneamente. Por último, un modelo matemático forma un puente para poder emplear técnicas matemáticas poderosas mediante computadoras en el análisis del problema.

Un modelo matemático comprende principalmente tres conjuntos básicos de elementos: variables y parámetros, restricciones y función objetivo.

*Variables y parámetros.* Existen dos tipos de variables, exógenas y endógenas. Las *variables exógenas* o *externas* son variables no controlables por el decisor, es decir, sobre las que no se puede influir, como los factores ambientales que rodean un problema económico (como la inflación y la tasa de cambio). Las *variables endógenas* o *internas* también llamadas variables de decisión, son aquellas cuyos valores queremos determinar utilizando el modelo, como por ejemplo los tiempos y materiales necesarios para la fabricación de un producto. Los *parámetros* por su parte, son valores conocidos que relacionan las variables de decisión con las restricciones y función objetivo. Los parámetros del modelo pueden ser determinísticos o probabilísticos y su valor puede variar dependiendo del ámbito de aplicación del modelo.

*Restricciones.* Para tener en cuenta las limitaciones tecnológicas, económicas y otras del sistema, el modelo debe incluir restricciones (implícitas o explícitas) que restrinjan las variables de decisión a un rango de valores factibles.

*Función objetivo.* La función objetivo define la medida de efectividad del sistema como una función matemática de las variables de decisión.

La *solución óptima* será aquella que produzca el mejor valor de la función objetivo, sujeta a las restricciones. *Optimizar* es la acción de llevar una cierta magnitud a su óptimo, o sea, a su máximo o a su mínimo, según se trate de algo que se considera beneficioso o perjudicial, en cuyos casos respectivos se utilizan también los nombres de maximizar o minimizar.

#### 4. CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS

Existen diversas clasificaciones de los modelos de IO. A los fines de organización de este libro, se propone la siguiente:

- ⇒ atendiendo al objetivo del problema.
- ⇒ según la naturaleza de los datos.

##### 4.1. Clasificación según el objetivo del problema

Modelos de optimización, cuyo objetivo es maximizar cierta cantidad (beneficio, ingresos, eficiencia) o minimizar cierta medida (costo, tiempo, distancias), generalmente teniendo en cuenta una serie de limitaciones o requisitos que restringen la decisión (disponibilidad de capital, personal, material, requisitos para cumplir fechas límite, etc.). Ejemplos de modelos de optimización son:

- *Problemas de localización*, que consisten en realizar una asignación de recursos a actividades de manera que se optimice cierta medida de efectividad. Por ejemplo, Si hay que decidir la ubicación de varias fábricas atendiendo a las distancias de las mismas entre los centros de demanda y los proveedores. O en el caso de la asignación de objetos a tareas para optimizar alguna medida como puede ser un tiempo o un costo, el cual se conoce como problema de Asignación. Si tenemos que distribuir productos desde ciertos orígenes a varios destinos de forma que cierta función lineal alcance su valor óptimo, estamos ante un problema de Transporte o Transbordo.
- *Problemas de mezcla*, que se ocupan de encontrar la combinación óptima de un conjunto de ingredientes a incluir en una mezcla, respetando ciertas condiciones de cantidades mínimas o máximas que la misma debe contener y tratando de lograr el mínimo costo.
- *Problemas de secuenciación*, que se ocupan de colocar objetos en cierto orden. Por ejemplo, supongamos que tenemos N trabajos que deben ser procesados en el mismo orden en M máquinas distintas, las que requieren tiempos de procesamiento diferentes. ¿De qué forma se deben ordenar los trabajos para que el tiempo total de procesamiento de éstos en cada una de las máquinas sea mínimo?
- *Problemas de rutas*, que tratan de encontrar la ruta óptima desde un origen a un destino cuando existen varias alternativas posibles. El ejemplo más característico es el clásico Problema del Viajante de Comercio. Un viajante de comercio tiene que visitar N ciudades una y sólo una vez antes de volver a su origen. ¿En qué orden debe visitarlas para minimizar la distancia total viajada? Este problema de formulación tan sencilla es, en muchos casos, muy difícil de resolver.
- *Problemas de inventario*, que consisten en determinar la cantidad óptima de productos que se deben tener disponibles en un almacén. Si un cliente quiere comprar una cierta cantidad de productos pero no están disponibles, esto supondría una venta perdida. Por otro lado, si

hay un exceso de productos, el costo de almacenamiento puede ser demasiado grande. El objetivo de este problema es encontrar un punto de equilibrio.

Modelos descriptivos, su objetivo es describir o predecir sucesos (nivel de ventas, fechas de terminación de proyectos, número de clientes, etc.) dadas ciertas condiciones. Ejemplos de estos modelos son:

- *Problemas de espera en fila*. Cualquier problema en el que haya que esperar para obtener un servicio, es un problema de este tipo. El objetivo del problema es encontrar una forma de mejorar el rendimiento global del sistema, que se mide normalmente atendiendo al tamaño de la cola, o bien al tiempo que transcurre desde que un cliente llega al sistema hasta que lo abandona (tiempo de respuesta).
- *Problemas de reemplazo*, que se ocupan de decidir el tiempo adecuado para reemplazar los equipos que fallan o se deterioran.
- *Problemas de planificación y control de proyectos*. El objetivo es determinar la fecha de finalización de un proyecto complejo, como por ejemplo, planificaciones de campañas publicitarias, lanzamiento de un nuevo producto, proyectos de ingeniería, etc.

##### 4.2. Clasificación según la naturaleza de los datos

Según sea la naturaleza de los datos que se disponen, en algunos casos tendremos que ajustar el problema con un Modelo Determinístico, en el cual todos los datos importantes del mismo se suponen conocidos, pero en otros, algunos de estos datos se consideran inciertos pudiendo conocerse su probabilidad de ocurrencia, por lo que será necesaria la utilización de un Modelo Estocástico. Sin embargo, existen modelos que conviene tratar como Mixtos de estas dos categorías. En el gráfico 1 se hace una agrupación aproximada, de los diferentes tipos de problema dentro de la categoría a la que pertenecen.

#### 5. LAS LIMITACIONES DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS

Si bien es cierto que el modelo racional para la toma de decisiones considera que las personas eligen optimizando y tomando en cuenta todas las variantes y con la información perfecta, la realidad dista mucho de ese deseable escenario. En realidad, las personas en las organizaciones no tienen la información completa y tienen percepciones subjetivas y juicios a priori de los problemas, o simplemente falta de tiempo y de recursos (entre los que podemos contar a sus conocimientos técnicos del análisis cuantitativo).

De este modo, los tomadores de decisiones elegirán las decisiones que sean mínimamente aceptables, que representen aproximaciones útiles y aplicables a los problemas, que no choquen con su sentido común, que sean compatibles con su buen juicio y experiencia. Además, los decisores se apoyan en procedimientos heurísticos que proporcionan

herramientas intuitivas que guían y simplifican la toma de decisiones, ya que representan estrategias mentales de sencilla aplicación para los tomadores de decisión (Tversky y Kahneman, 1971, 1986). Tienen particular importancia directrices tales como la pericia, el estilo gerencial, el conocimiento y la práctica administrativa, entre otros.

Finalmente, cabe mencionar que las decisiones importantes en la organización generalmente involucran la acción coordinada de varias áreas funcionales, o simplemente de grupos de interés, las cuales tienen sus propios decisores, por lo que eventualmente se presentan conflictos de intereses de las partes implicadas.

De este modo, las decisiones organizacionales son el resultado de procesos de negociación, de relaciones sociales complejas y de factores políticos cuya relevancia trasciende incluso el más preclaro argumento cuantitativo. Así, las decisiones individuales se tornan en decisiones colectivas las cuales deben integrar información relevante de las diferentes áreas, deben contemplar diferentes enfoques de las personas afectadas, en ellas puede reflejarse el peso específico de los líderes de la organización, aunque idealmente las decisiones deberían de ser consensadas para inducir el compromiso de los integrantes de la organización; adicionalmente, muchas decisiones deben ser negociadas considerando grupos al exterior de la organización por lo que los factores políticos y coyunturales adquieren singular importancia.

## 6. METODOLOGÍA CIENTÍFICA

El enfoque de la IO sigue las pautas del *método científico*. En particular, el proceso comienza por la observación cuidadosa y la formulación del problema y sigue con la construcción de un modelo científico que intenta abstraer la esencia del problema real. En este punto se propone la hipótesis de que el modelo es una representación lo suficientemente precisa de las características esenciales de la situación como para que la solución obtenida sea válida también para el problema real. Esta hipótesis se verifica y modifica mediante las pruebas adecuadas. Entonces, en cierto modo, la Investigación Operativa incluye la investigación científica creativa de las propiedades fundamentales de las operaciones. El investigador operativo se ocupa además de la administración práctica de la organización. Así, para tener éxito, deberá también proporcionar conclusiones positivas y claras que pueda usar el tomador de decisiones cuando las necesite.

### 6.1. Etapas del método científico aplicado a la IO

**IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA Y RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.** Esta etapa comprende la identificación de la estructura del sistema en el cual se presenta el problema, la definición de los interrogantes que se plantean, la obtención de datos respecto a la estructura del sistema y su

funcionamiento. A fin de lograr un conocimiento acabado del problema a resolver se deberán realizar reuniones con directivos, empleados, buscar información interna y externa relacionada a la situación (como estudios realizados con anterioridad, estadísticas existentes, etc.), además de información en los distintos sectores relacionados al problema (directivos, empleados, clientes, proveedores, sindicato, etc.). Se debe tener en cuenta que el tiempo dedicado a esta etapa puede redundar en un gran ahorro de esfuerzo en el futuro.

**FORMULACIÓN DEL MODELO.** Dada la imposibilidad de realizar el estudio del problema en el sistema real, se hace necesaria la construcción de un modelo matemático que lo represente. En él se aíslan los aspectos, conceptos y relaciones fundamentales del problema, obteniendo de esta manera un subsistema abstracto que representa en forma simplificada y generalmente incompleta al sistema real, pero que permite trabajar sobre el mismo y sacar conclusiones válidas del aspecto que se quiere investigar.

Lógicamente este proceso de modelización debe ser tal que el deseo de simplificar no lleve a eliminar elementos o relaciones que sean fundamentales para el problema en estudio.

En esta etapa se deben definir las variables a usar que reflejen los interrogantes definidos en la etapa anterior, la explicitación de los parámetros del sistema y su entorno y con todos ellos la formulación del modelo simbólico, mediante relaciones funcionales matemático lógicas que expresen el/los objetivos propuestos y los condicionantes impuestos. Aquí surge la necesidad de aplicar la creatividad, es decir pensar con amplitud de criterio, sin preconceptos producto de la costumbre y la tradición, tratando de usar la imaginación para generar nuevas ideas.

**ENUNCIACIÓN DE HIPÓTESIS.** Esta etapa se refiere a explicitar con toda claridad los supuestos y limitaciones con que se desarrollará el estudio. Esto resulta de gran importancia, pues en caso contrario corremos el riesgo de, una vez encontrada una solución del problema planteado, no saber bajo qué condiciones dicha solución es adecuada, ni podremos tratar de verificar en qué medida las mismas representan adecuadamente la realidad.

**VALIDACIÓN DEL MODELO.** La validación del modelo y sus soluciones se refiere a una validación de tipo técnica, es decir, verificar que no se hayan omitido variables o relaciones significativas, y a una validación operacional, esto es, si los resultados son factibles en el sistema real.

**TOMA DE DECISIÓN E IMPLEMENTACIÓN.** Se trata de la implementación del modelo validado. Esta etapa es de vital importancia para el éxito del trabajo realizado, se deberá evaluar conjuntamente con el tomador de decisiones la mejor estrategia para poner en funcionamiento los cambios sugeridos, cuidando de explicar a todos los sectores afectados la

solución adoptada, de manera tal de minimizar el rechazo por parte de quienes van a ser testigos de la puesta en marcha.

**SEGUIMIENTO Y CONTROL.** La última etapa es la evaluación y revisión sobre el sistema real de los resultados del modelo. El control es imprescindible para evitar, detectar y en su caso corregir desviaciones respecto a lo planificado.

En el gráfico 2 se resumen las etapas del método científico.

## 7. DIFERENTES TIPOS DE INVESTIGACIÓN OPERATIVA

En los últimos años ha cobrado fuerza una rama de la IO relacionada a la toma de decisiones grupales y utilización de métodos que no emplean modelos matemáticos. Sorensen y Vidal (2003) proponen agrupar a los métodos de Investigación Operativa en *IO Hard* y en *IO Soft*.

En el primer grupo se incluyen la mayoría de los modelos tratados en este libro. En general los métodos *hard* estructuran los problemas a partir de hechos medibles y cuantificables y recurren a un modelo matemático para resolver el problema. También se caracterizan estos métodos como de decisiones individuales.

La *IO soft* se relaciona con la fase de *estructuración de problemas*, incluye tanto información cualitativa como cuantitativa, los modelos no se apoyan en formulaciones matemáticas y el *objetivo central es facilitar las búsquedas de acuerdos entre los miembros del grupo de decisores*. En esta línea de trabajo se pueden mencionar distintas aproximaciones como los mapas cognitivos y en particular el Strategic Option Development and Analysis (SODA) de Eden (2004), la Soft System Methodology propuesta por Checkland (2000) y reformulada por Georgiou (2006, 2008).

Sin embargo, para analizar problemas complejos Mingers (2011) recomienda la utilización de combinaciones creativas de ambas metodologías y plantea el concepto de Multi-metodología. Por su parte, Franco y Lord (2011) señala que no existe una "mejor manera" de realizar dicha combinación de métodos, pero que una intervención multi metodológica debería atender las tres dimensiones claves del problema: personal, social y material.

Es decir que al analizar un problema es necesario caracterizar, además de lo estrictamente técnico, a los individuos y a las relaciones entre los mismos. No se debe olvidar, que la IO es sólo un recurso, que debe ser complementado con las herramientas cualitativas adecuadas y con las habilidades administrativas deseables de todo tomador de decisiones como son su intuición, su sentido común, su experiencia y su capacidad de negociación. Es, a final de cuentas, todo este mosaico de destrezas lo que permitirá resolver integralmente y de manera óptima los problemas más diversos que enfrentan las organizaciones.

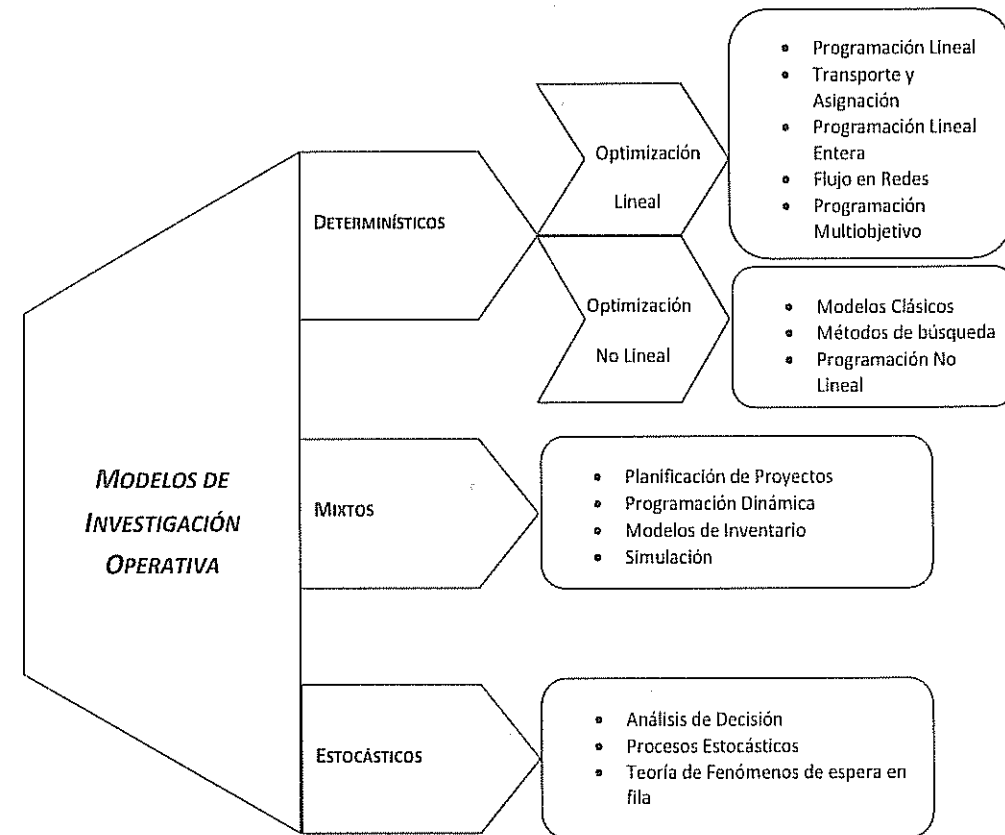


Gráfico 1

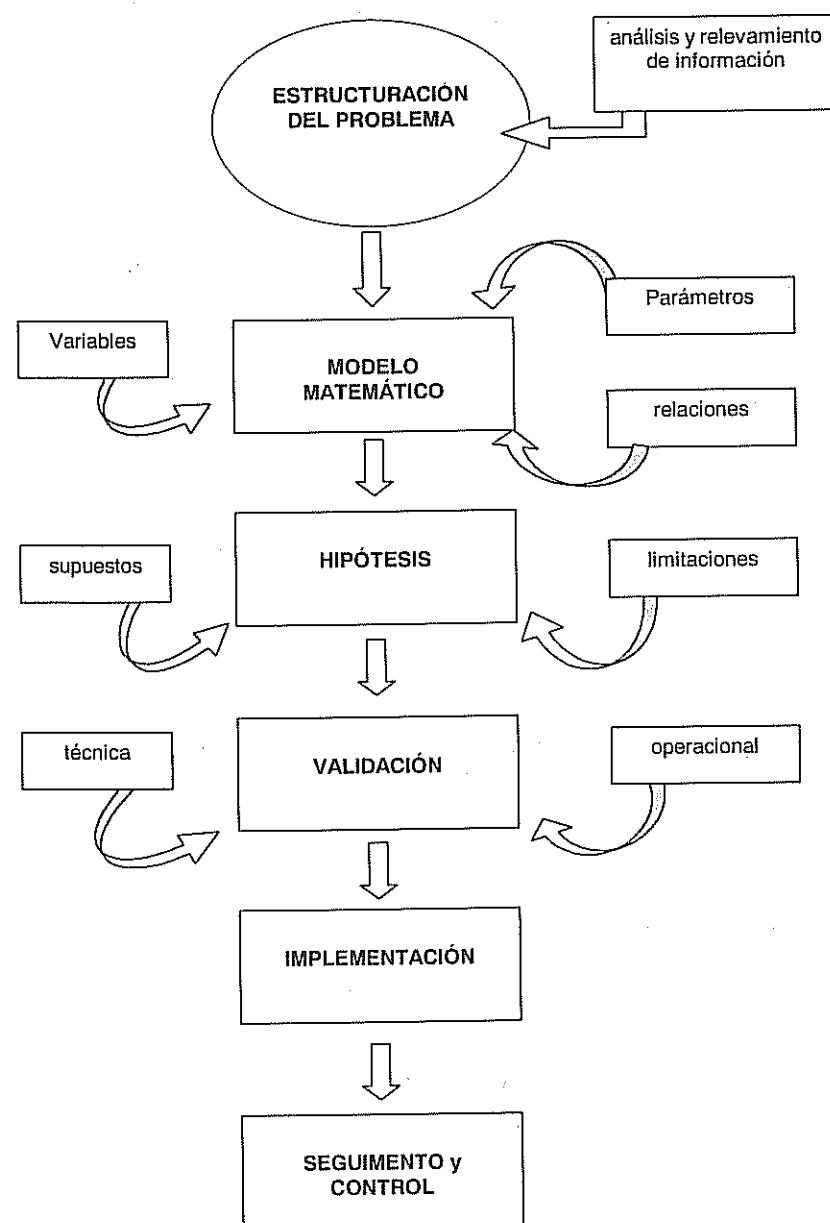


Gráfico 2

## CAPÍTULO 2

### EL PROCESO DE DECISIÓN

#### 1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo, trataremos de dar una caracterización general de los problemas de decisión, la cual nos resultará de utilidad al momento de analizar los diferentes modelos a estudiar en este texto.

Básicamente un proceso de toma de decisión se presenta cuando, frente a un problema, existen más de una alternativa o curso de acción posible.

En todo proceso de decisión intervienen dos actores, aunque en algunos casos la misma persona asume los dos roles:

*Decisor:* es quien tiene el poder y la responsabilidad de ratificar una decisión y asumir sus consecuencias.

*Analista:* es el encargado de estructurar el problema y ayudar al decisor a visualizarlo.

Frente a un problema de decisión, consideramos conocido el conjunto de las alternativas posibles, al que denominaremos  $X$ . Este conjunto supondremos que está formado por un número finito de elementos, a los cuales genéricamente llamaremos  $x_i$ , es decir,  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , siendo  $n$  el número de alternativas de decisión.

Conocido este conjunto  $X$ , intentaremos establecer una relación entre los elementos del conjunto, de forma tal que para cualquier par de elementos podremos decir si uno es preferible o indiferente al otro.

Así para,  $x_1 \in X \wedge x_2 \in X$ , podemos establecer que  $x_1$  es preferible a  $x_2$ :

$$x_1 \succ x_2$$

o bien que  $x_2$  es preferible a  $x_1$ :

$$x_2 \succ x_1$$

o si ambos elementos son indiferentes entre sí:

$$x_1 = x_2$$

Esta relación, que llamaremos relación de preferencia, es de orden completo y se determina a través de una aplicación o función  $d: X \rightarrow \mathfrak{R}$ , conocida como "función de decisión" y a la cual simbolizaremos como  $d(x)$ .