

# Filosofía de la Ciencia

## II

Víctor Javier Moreno García

# Índice de contenidos

<b>El naturalismo científico y la “Filosofía de las ciencias”</b>	<b>3</b>
Breve recorrido histórico de la filosofía de la ciencia	3
Naturalismo (*)	4
Principales características del naturalismo	4
Naturalización de la filosofía (*)	6
Tipos de naturalismo	7
Tesis de la superioridad epistémica de la ciencia (*)	10
El objetivo de la Filosofía (de la Ciencia) naturalizada (*)	10
Los “por qué” de la ciencia y de los científicos	11
¿Con qué ciencia explicar la ciencia?	11
Ciencia y corrección	12
Principales problemas del naturalismo científico (*)	12
El problema de la circularidad	13
El problema de la normatividad	13
Larry Laudan – Naturalismo normativo	14
W.v.O. Quine – Naturalización de la epistemología	19
Ronald Giere – Representaciones y juicio	21
Philip Kitcher – Prácticas, progreso y método	23
Kitcher y Giere: comparativa de sus modelos	25
Evolución de la ciencia como un proceso darwiniano	25
Uso de modelos cognitivos	26
Racionalidad y simetría	27
Elliott Sober – Naturalismo metodológico	28
Normas y valores en la ciencia bajo un enfoque naturalizado	29
Prácticas científicas	29
La percepción sensorial, la acción y la justificación de las creencias	31
Sobre el significado y comprensión de las normas y los valores en las prácticas científicas	33
Ineliminabilidad de los valores (*)	34
Controversias científicas y valores	34
Conclusiones	38
Conclusiones generales	39
 <b>Filosofía de la física</b>	 <b>40</b>
La Física como modelo en Filosofía de la Ciencia	40
¿Puede la ciencia explicarlo todo? (*)	41
Realismo y Física (*)	43
Diferentes tesis realistas	43
Principales argumentos y tesis a favor del realismo	44
Realismo y aproximación a la verdad	45
Realismo estructural	46
Presupuestos reduccionistas y cierre causal del mundo físico (*)	50
El cierre causal del mundo físico	51
Física clásica (*)	52
Mecánica newtoniana	52
Relatividad especial	53
Relatividad general	54
¿Por qué se podría decir que la Teoría de la Relatividad General y Especial de Einstein se enmarca dentro de la Física clásica? (*)	55
Mecánica cuántica	58
Modelización de la mecánica cuántica	60
Determinismo e indeterminismo en física	65
Dios si juega a los dados	68
Interpretación de Copenhague y el “colapso” de la función de onda: El problema de la medida	77
Consecuencias de la mecánica cuántica: cuestionamiento del realismo e ideal de ciencia sin sujeto de Einstein frente a la postura instrumentalista de Bohr	79
La lucha de Einstein contra la interpretación de la cuántica y la “paradoja” EPR	83

---

La relevancia del observador.....	88
Interpretaciones de la mecánica cuántica.....	92
La onda piloto de Bohm.....	93
Los multiversos de Everett (*).....	95
Conclusiones sobre la Filosofía de la Física.....	96
<b>Filosofía de la biología.....</b>	<b>97</b>
Teoría de la Evolución de Darwin (*).....	100
Críticas a la teoría darwinista.....	101
Conclusión acerca de la teoría de la evolución.....	102
La Síntesis Moderna y el concepto de gen (*).....	103
El gen egoísta, de Richard Dawkins.....	105
Leyes y explicaciones en biología. Las explicaciones funcionales (*).....	107
El concepto de función.....	107
Concepto(s) de especie (*).....	115
Definición de vida (*).....	121
Biología y Naturaleza Humana.....	130
<b>Filosofía de la psicología comparada.....</b>	<b>131</b>
Contextualización de la psicología comparada.....	131
Ramas en el estudio de la mente animal.....	132
Método anecdótico.....	132
Método experimental.....	135
La etología y los estudios de campo.....	140
Nuevos métodos en el estudio de la mente animal.....	146
Sesgos y problemas en el estudio de la mente animal.....	146
Conclusiones.....	149
<b>Referencias bibliográficas.....</b>	<b>150</b>
Tema 1 : El naturalismo científico y la “Filosofía de las ciencias”.....	150
Tema 2: Filosofía de la Física.....	151
Tema 3: Filosofía de la Biología.....	152
Tema 4: Filosofía de la Psicología Comparada.....	152
Bibliografía general.....	152

# El naturalismo científico y la “Filosofía de las ciencias”

## Breve recorrido histórico de la filosofía de la ciencia

	Teorías, conceptos, contrastación 1920 - 1970	- Concepción semántica - Bayesianismo - Constructivismo social 1970 - 1990	2020
1920		Progreso y racionalidad 1960 - 1980	Naturalismo 1980 - 2020

Entre 1920 y 1970 un elemento fundamental dentro de la filosofía de la ciencia fue el **estudio de las teorías científicas**:

- Cuál era su estructura, cómo estaban formadas, qué conceptos formaban parte de ella (masa, energía, tiempo,...)
- La filosofía de la física y el ideal de una física sobre la que se redujeran el resto de disciplinas cobró una relevancia importante (ideal neopositivista de ciencia unificada)
- Importancia de la idea de contrastación (contra la realidad), para validar la verdad o falsedad de dichas teorías

Entre 1960 y 1980 comienzan a ser más relevante las ideas acerca del **progreso y la racionalidad de las teorías científicas**

- ¿Progresan las teorías científicas?
- Qué se entiende por progreso, ¿un mayor acercamiento a la verdad (realismo)?, ¿teorías que resuelvan más y mejores problemas (instrumentalismo)?.
- Concepto de racionalidad, no sólo de teorías, también del cambio de unas teorías a otras
- Influencia de Thomas Kuhn y su obra *“La estructura de las revoluciones científicas”* (1962)

Entre 1970 y 1980 comienzan a imperar otros marcos teóricos

- Cobra fuerza la concepción semántica de las teorías, que pese a beber del positivismo lógico, tiene pretensiones de ser una superación de éste. Se basa en las teorías semánticas, más que en los aspectos sintácticos, con la inclusión e importancia de los modelos.
- Aparición del bayesianismo, una de las propuestas más formalistas que intenta reducir la racionalidad científica a la teoría de la probabilidad a fin de evaluar y establecer una aproximación probabilística en nuestra labor conocer el mundo.
- Entrada en escena del constructivismo social, que alega que la actividad científica es una actividad cultural como cualquier otra, y sujeta a las mismas dinámicas, que no son lógicas y racionales por sí mismas, sino que tienen que ver con dinámicas culturales y sociales

Desde los años 80 hasta la actualidad, el **naturalismo** será una de las vertientes más importantes y que cobra una mayor fuerza a partir de esta década. Previamente identificado por Ernest Nagel en los cincuenta, y puesto sobre la mesa como tal por Quine en los sesenta con su artículo *“Epistemology naturalized”* de 1969

## Naturalismo (\*)<sup>1</sup>

Entiende el **conocimiento como un hecho biológico**: los seres humanos (junto con otros animales) tenemos capacidades cognitivas que nos permiten conocer (de forma aproximada y mejorable) el mundo que nos rodea.

Sería así la tesis según la cual **la ciencia debe ser estudiada como cualquier otro fenómeno empírico** (o “natural”, si entendemos este término muy grosso modo), es decir, utilizando los métodos de las ciencias empíricas y echando mano de los conocimientos científicos más fiables entre los que sean relevantes para la solución de algún problema filosófico sobre la ciencia:

*“En sentido amplio, ‘naturalismo’ designa una posición filosófica que se distingue por su voluntad de adecuarse los mejores estándares de investigación –medidos según el estado (sintético) del conocimiento humano. Un modo de adecuarse a ellos es restringir las entidades y procesos que se invocan a aquellos permitidos por las ciencias en la actualidad –entendiendo ‘ciencia’ en un sentido lato de modo que cubra todas las disciplinas rigurosas que existan, desde la historia del arte y la antropología a la zoología. Otro es introducir sólo entidades y procesos que sean defendibles de acuerdo con los cánones metodológicos adoptados por las ciencias actuales. Y aún otro es introducir sólo entidades y procesos que podrían garantizarse mediante cánones metodológicos defendibles ellos mismos como adiciones progresivas a los estándares de las ciencias actuales”*

Philip Kitcher, *“Preludes to pragmatism”*, 2012

El origen del naturalismo contemporáneo tiene su fuente principal en la filosofía pragmatista norteamericana, y sobre todo a partir de la crítica de Quine a la división analítico-sintético de los neopositivistas, y su propuesta de necesidad de la naturalización de la epistemología.

- **Principales autores:** Daniel Dennett, Ronald Giere, David Hull, Philip Kitcher, Larry Laudan, Fred Dretske, R. W. Sellars, W.v.O. Quine (años 60), Ernst Nagel (años 50), Aristóteles (s. IV a.e.c.) como proto-precursor del naturalismo.
- **Críticas anti-naturalistas:** desde la filosofía analítica, la crítica de Frege al naturalismo y su conexión entre psicología y lógica, y dentro de la filosofía continental, la crítica de Husserl al psicologismo.

## Principales características del naturalismo

### Negación del “supernaturalismo”

De un modo trivial, es la **negación de todo lo sobrenatural**. En este sentido casi todos los filósofos de la ciencia son naturalistas.

Algunas de las principales negaciones de lo sobrenatural serían:

- Religiones: no existen milagros que desafíen la naturaleza, renegando de deidades u otros elementos elaborados por las religiones
- Tampoco existen fenómenos no debidos y/o reducibles a elementos físico-químicos (la mente...). Descartes diferenciaba entre la *res cogitans* y la *res extensa*, donde el naturalista no haría esta distinción y todo serían fenómenos físicos (*res extensa*)

El hecho de negar que haya hechos o elementos del mundo que no pueden deberse/reducirse a formas físicas del mundo supone la creencia de una **ontología única**.

<sup>1</sup> Junto a “Principales características del naturalismo” y “Naturalización de la filosofía” responden la cuestión “Explicar la noción de naturalismo científico y las relaciones que según esté habrían de tener ciencia y filosofía”

### Negación del constructivismo radical

El constructivismo radical argumenta que los “hechos científicos” no son más que construcciones que elabora la comunidad científica. Es decir, no habría hechos en sí mismos, sino que la comunidad científica (como comunidad humana que es) crearía una serie de hechos que son los estudiados por parte de la ciencia

El naturalismo **niega que los científicos “construyan” los hechos**. Los científicos “construyen” maneras de descubrir hechos sobre el mundo, pero las teorías científicas (teorías maduras y mejor contrastadas) nos dan verdades, o verdades aproximadas, sobre hechos del mundo. La parte constructiva correspondería con la creación de mejores modos de conocer el mundo, no de construir los hechos científicos como tal.

### Negación del fundacionismo y apriorismo

El fundacionismo (*fundamentalism*) o apriorismo establece que el conocimiento debe partir de primeros principios, autoevidentes y como si de una deducción axiomática se tratase, herederos de la tradición cartesiana. Ya Descartes afirmaba en el *“Discurso del método”* que no aceptaría nada que no fuera claro y evidente para él, ya que como los sentidos nos han engañado muchas veces, el conocimiento empírico no sería lo suficientemente fiable para Descartes, habiéndose de fundamentar el conocimiento a partir de ideas claras y evidentes que procedieran de la razón.

El Naturalismo defiende que **no existen primeros principios** en tanto que el **conocimiento (científico) es falible** y, por tanto, no puede fundamentarse en cimientos absolutos. Por ello siempre hay que ir reconstruyéndolo y funcionar a base de hipótesis y teorías plausibles.

La idea de que no podemos estancarnos en un elemento concreto y a partir de ahí construir, se relaciona con la metáfora del *“Barco de Neurath”*, que retoma la idea del barco de Teseo y asemejando el conocimiento a un barco que está siempre navegando y no puede anclarse, debe resolver cualquier problema a medida que surja mientras seguimos navegando.

### Epistemología como psicología aplicada

La epistemología (la teoría del conocimiento que estudia cómo y qué podemos conocer) **es, en realidad, una especie de psicología aplicada** (enfoque popularizado por Quine). Una noción ingenieril sobre la psicología aplicada a cómo conocemos. A partir del conocimiento de cómo funciona nuestra mente, podemos encontrar aquellos mecanismos mentales o cognitivos (psicológicos) que nos llevan a producir aquellos estados cognitivos que son más deseables o adecuados a nuestros fines (el conocimiento).

*Cuanto mejor entendamos el modo en que que conocemos, tanto mejor será el conocimiento que obtengamos.*

### Continuidad entre ciencia y filosofía

**No hay una diferencia absoluta entre la filosofía y la ciencia**. La filosofía es una forma más dentro de la ciencia para conocer el mundo, complementándose la una a la otra.

*“Yo veo la filosofía no como una propedéutica a priori o labor fundamental para la ciencia. Veo la filosofía y la ciencia como tripulantes de un mismo barco –un barco que, para retornar, según suelo hacerlo, a la imagen de Neurath, sólo podemos reconstruir en el mar y estando a flote sobre él–. No hay posición de ventaja superior, no hay filosofía primera”.*  
 — W.v.O. Quine *“Géneros naturales”*.

Si bien, podrían señalarse una serie de elementos a priori diferenciadores, que como planteaba Quine, no marcan una discontinuidad esencial entre la ciencia y la filosofía. Hay más bien una continuidad de fines y de métodos entre ellas (aunque no una identidad total):

- **Carácter normativo de la filosofía.**
- **Mayor radicalidad (raíz) de la filosofía:** no en el sentido de que la ciencia no se haga preguntas fundamentales (origen del universo, origen de la vida...) sino que la ciencia no analiza sus presupuestos,
- **Experimentación y matematización en la ciencia** (con matices, pues no en todas las ciencias se da un alto grado de matematización). En Filosofía de la Ciencia no es extraño ver matematización a la hora de ofrecer algunos enfoques, al igual que las ideas filosóficas se confrontan indirectamente con la experiencia y con los resultados de la ciencia y cómo algunos de sus avances lleva al abandono de alguna de las posturas filosóficas existentes (mecanicismo, dualismo, negación del pensamiento animal, idea de que no hay pensamiento sin lenguaje...). Desprestigio de la filosofía meramente especulativa.
- **Empirismo:** toda afirmación debe ser empíricamente contrastable. No todo es blanco y negro, pues no todo en la ciencia es contrastable (teoría de cuerdas) y hay cosas en filosofía que sí lo son.

## Naturalización de la filosofía (\*)

Tenemos creencias, opiniones, hacemos juicios sobre diferentes cuestiones... La tarea atribuida a la filosofía por esta concepción es decidir, entre estas propuestas, qué es conocimiento y qué no lo es. Desde la epistemología se pretende fundamentar el conocimiento, o al menos, ofrecer criterios de qué es conocimiento. Muchos autores piensan que la epistemología no goza de ningún privilegio vedado a los demás saberes que le permita dictaminar, ni fundamentar ni dar criterios. Como mucho tendría ella misma que basarse en esos otros saberes, de modo que no ofrece más seguridades que ellos. Cuando la epistemología se practica con esta cautela, según estos filósofos, se hace en su versión naturalizada. Los filósofos han recomendado programas de naturalización en disciplinas que dependían de fundamentos desacreditados, o indebidamente acreditados.

## Ética

En la **ética**, los deberes, los valores y los mandamientos eran fundados sobre la voluntad divina. Posteriormente lo fueron sobre la ley natural, que es el conjunto de los mandatos de Dios tal como éstos se manifiestan, supuestamente, en el supuesto orden natural. Spinoza trató de fundar la ética en el orden natural, y razonó que este orden era suficientemente autónomo y que, por lo tanto, poseía las propiedades de la providencia divina, pero que, desde luego, no hay providencia divina aparte del orden natural. Spinoza es un ejemplo de filósofo que se esforzó por naturalizar creencias cuyo fundamento no estaba desacreditado, sino indebidamente acreditado.

En el terreno de la ética se han llamado «naturalistas» las posiciones que trataban de sustentar la norma moral sobre teorías empíricas o, por extensión, sobre teorías distintas de las morales. Por ello se ha denominado «**falacia naturalista**» todo intento de derivar un «debe» de un «es», esto es, de deducir lógicamente un juicio de valor, o de deber o un imperativo de un conjunto de juicios sobre hechos. Mientras que, por extensión, comete la falacia naturalista incluso quien intenta fundar una ética sobre una teología, en un sentido más apropiado la comete quien intenta fundar un juicio de valor sobre tesis empíricas.

No se tiene la intención de eliminar la norma moral. Por el contrario, pretenden que tenga toda la solidez que le pueda proporcionar un conocimiento más seguro, como lo es el que ofrece la ciencia acerca de la naturaleza, incluida la humana. Fueron los críticos de la falacia naturalista quienes padecieron la acusación de relativismo o de arbitrarismo moral, porque la independencia de los juicios morales hace difícil, según muchos filósofos de la moral, argumentar sin peticiones de principio en favor de unos juicios mejor que de otros.

## Epistemología

En **epistemología** son los naturalizadores quienes han sido objeto de acusaciones de relativismo, aunque algunos lo profesan de buena gana, porque la naturalización es ambigua.

- Unos la entienden como la eliminación de la disciplina en favor de otras, científicas, tales como psicología, historia o sociología, con lo que renuncian a las normas epistemológicas.
- Otros creen que el valor de las normas es relativo a las comunidades que las usan.
- Y otros, a semejanza del naturalismo en moral, sólo aspiran a fundamentar estas normas en el conocimiento científico.

El paralelismo que se ve entre la naturalización de la ética y de la epistemología, no faltan quienes pretenden fundar la epistemología normativa en algo distinto del conocimiento científico. Tampoco quienes piensan que, eliminada la epistemología, no sólo la suple el estudio científico de los procesos cognitivos humanos, sino que incluso los estudios literarios y humanísticos sobre la ciencia tienen un lugar interesante en sustitución de la epistemología.

## Tipos de naturalismo

Existen diferentes tipos de naturalismo (según Diéguez) que suponen tesis filosóficas, no científicas, y que podría dividirse en naturalismo ontológico, epistemológico o metodológico

### Naturalismo ontológico

Sólo existen entidades, procesos o propiedades naturales, o en otras palabras, **no hay más realidad que la natural o física**. Que sea o no una entidad natural o física no es algo fácil de determinar, y esto ha generado numerosas discusiones.

Algunos naturalistas ontológicos cortan por lo sano para resolver esta cuestión y consideran que las entidades naturales son las que caen bajo el dominio de alguna ciencia empírica. **Es la ciencia, por tanto, la que debe determinar el tipo de entidades y propiedades que hay en el mundo**. El mobiliario del universo viene dictado por lo que la ciencia establece como existente. La metafísica naturalista se limitaría a extraer implicaciones de la ciencia, no busca añadir nada a la ontología propuesta por la ciencia:

*"Science is the measure of all things, of what is that it is, and of what is not that it is not"*

—Wilfrid Sellars, *"Empiricism and the Philosophy of Mind"* (1963)

Esta posición generaría **circularidad** si toma el naturalismo metodológico y lo considera **definitorio** de la ciencia. Hay dos tipos de naturalismo ontológico: reduccionista y no reduccionista:

**Naturalismo ontológico reduccionista**: (surge principalmente en el estudio de los procesos mentales, y no está exenta de discordias internas)

- **Materialismo eliminativo**: sólo existe lo físico, no lo mental (Churchland)
- **Identidad tipo-tipo**: hay fenómenos mentales, pero se reducen a los físicos.
- **Superveniencia** (un sólo tipo de entidades, diferentes niveles explicativos en las propiedades). Un dominio de fenómenos superviene a partir de otro si no es posible encontrar diferencias en el nivel superviniente sin que haya también alguna diferencia en el nivel más bajo sobre el que se superviene (no a la inversa). De otro modo: si dos fenómenos tienen las mismas propiedades físicas, tienen también las mismas propiedades supervinientes (no a la inversa). Mantendría un reduccionismo ontológico, pero no epistemológico.

*"Permite que lo físico sea ontológicamente básico, pero no exige implausiblemente que esta primacía se vea reflejada en nuestras teorías"*

—William Seager, *"Real patterns and surface metaphysics"*, 2000



### Naturalismo ontológico no reduccionista:

- **Emergencia (débil y fuerte):** una propiedad emergente de un sistema es aquella que no puede ser explicada o predicha por las propiedades de los componentes del sistema, si bien se trata de propiedades que surgen debido precisamente a las propiedades de los elementos componentes (propiedades del agua que no podrían obtenerse de las propiedades del hidrógeno y del oxígeno por separado, o de cualquier otro compuesto químico, plegamiento de una proteína, funciones biológicas como nuestra conciencia que sería una propiedad emergente de nuestro cerebro).
- Hablaríamos de un emergentismo fuerte si son propiedades con **capacidad para actuar causalmente sobre el nivel más básico** (causación descendente)

### Naturalismo epistemológico (~cientifismo)

**La ciencia es la forma más fiable de conocimiento en todos los ámbitos.** Los métodos de la ciencia son los que garantizan un conocimiento genuino y son los que han de emplearse prioritariamente para enfrentarse de forma racional a cualquier problema.

En concordancia con ello, es deseable que el progreso de las ciencias vaya haciendo que los temas que aún permanecen bajo el cobijo de la filosofía o de otras disciplinas humanísticas sean progresivamente traspasados a la competencia analítica y experimental de los científicos, de modo que finalmente no quede ningún tema relevante que no sea objeto de investigación científica.

### Naturalismo ≠ científismo

No debemos identificar sin más al naturalismo con la tesis cientifista, que sería según la cual sólo la ciencia tiene legitimidad epistémica, es decir, sólo las preguntas que tienen respuesta científica serían preguntas legítimas.

- Es una tesis poco defendible (las preguntas filosóficas no pueden ser eliminadas, por ejemplo '¿en qué consiste llevar una vida buena?'), y tiene un cierto aire contradictorio.

Otro modo de verlo sería el de que sólo los métodos de la ciencia proporcionan conocimiento legítimo, pero presenta el problema de identificar cuáles serían esos métodos de la ciencia y de si en efecto son exclusivos de ella.

Como **actitud práctica** sería la aceptación exclusiva de ideas provenientes de la ciencia o la esperanza de que todo problema planteado por el ser humano tenga una respuesta científica. En dicha forma práctica, hay pocas razones para sustentarlo. No obstante, tiene una aceptación creciente entre los científicos de la llamada "tercera cultura", que no sería sino un intento de apropiación por parte de los científicos de algunos problemas típicamente filosóficos, y que además son abordados de una manera mucho más ingenua.

La idea básica del científismo se encuentra ya presente en Hume:

*"If we take in our hand any volume; of divinity or school metaphysics, for instance; let us ask: does it contain any abstract reasoning concerning quantity of number?. No. Does it contain any experimental reasoning concerning matter of fact and existence?. No. Commit it then to the flames: for it can contain nothing but sophistry and illusion"*

—David Hume, '*An enquiry concerning human understanding*'

Y es defendido más recientemente en posturas como esta de Hawking:

*"La filosofía ha muerto. La filosofía no se ha mantenido al corriente de los desarrollos de la ciencia, especialmente de la física. Los científicos se han convertido en los portadores de la antorcha del descubrimiento en nuestra búsqueda del conocimiento"*

—Stephen Hawking and Leonard Mlodinow, "*The grand design*"

### ¿Son científicas estas preguntas?

Las siguientes preguntas, pertinentes y no carentes de sentido, ponen de manifiesto que el cientifismo no es una posición tan sólida como pretenden afirmar sus acérrimos defensores:

- ¿Existe la necesidad natural?
- ¿Existen los géneros naturales?
- ¿Son los *qualia* reductible a procesos cerebrales?
- ¿Es una explicación funcional reductible a una explicación causal?
- ¿En qué consiste la causalidad?
- ¿Existe el libre albedrío?
- ¿Es legítimo identificar la verdad con la aceptabilidad?
- ¿Qué tipo de existencia tienen los números?
- ¿Qué significa existir?
- ¿Puede una máquina inteligente ser-en-el-mundo?
- ¿Por qué suponemos que una teoría simple es más probable que sea verdadera?
- ¿Puede derivarse un “debe” de un “es”? (falacia naturalista)

### “Filosofismo”

A falta de un nombre mejor, es lo que Diéguez viene a identificar como la contrapartida del cientifismo, y que es un agujero en el que tampoco conviene caer y que sería tan rechazable como el cientifismo, pues alegaría cosas como:

- No hay hechos (o verdades), sólo interpretaciones (hermenéutica).
- No hay nada fuera del texto.
- La filosofía no tiene nada que ver con (ni que aprender de) la ciencia. Es, por definición, ajena a la ciencia.
- La ciencia no piensa.
- La filosofía versa sobre lo no-representable, lo no-expresable, lo no-comunicable.

### Naturalismo metodológico

En el avance de nuestros conocimientos, hemos de proceder **como sí** sólo hubiese entidades y causas naturales. **Sólo la causas naturales** y las regularidades que las gobiernan **tienen auténtica capacidad explicativa**. Apelar a causas o a entidades sobrenaturales, como el espíritu (en el caso de la actividad mental) o la fuerza vital (en el caso de la vida), es lo mismo que no explicar nada.

El naturalismo metodológico es compatible tanto con la aceptación del naturalismo ontológico como con su rechazo. El naturalismo metodológico se limita a afirmar cómo han de obtenerse ciertos conocimientos. Hemos de investigar el mundo “como si” fuese de una determinada manera, aunque en otras circunstancias no aceptemos que sea de esa manera.

En la ciencia, esta es la posición aceptada, rechazarla es salirse de la ciencia.

- Pensar que la ciencia puede servir en algunos aspectos, como aceptar el naturalismo metodológico como modelo para otras formas de conocimiento no es cientifismo.
- También la filosofía (la haga quien la haga) puede ser de ayuda para mejorar la ciencia.  
Ejemplo: la crítica de Mach a los conceptos de espacio y tiempo absolutos

## Tesis de la superioridad epistémica de la ciencia (\*)

Esta tesis defiende que el conocimiento paradigmático sobre la realidad, por antonomasia, es el conocimiento científico, el cual se contrapone a otros “métodos” de conocimiento (misticismo, hermenéutica, poesía, etc.) que no se basan en la lógica y la experimentación.

La ciencia sería el mejor modo que hemos inventado los humanos para conocer el mundo. Cabe preguntarse hasta dónde llega esta superioridad, siendo el planteamiento naturalista:

- Superior a la “razón”, en sentido platónico, cartesiano o hegeliano según la cual podemos conocer la realidad última y verdadera del mundo sin necesidad de comprobación empírica, predictabilidad, etc.
- Superior a la “filosofía”, entendida como aquella que no sigue el o los métodos científicos. (Aquella filosofía ajena al modo de proceder científico y sus resultados).
- Superior a las “humanidades y ciencias sociales”. El conocimiento aportado por las ciencias naturales es mejor y más fiable que el de las disciplinas humanísticas y ciencias sociales.

Este punto de vista contrapone las ciencias humanas y sociales a las ciencias naturales. Esto nos lleva a la cuestión de si debe entenderse lo mismo por naturalismo que por reduccionismo o si el naturalismo es lo mismo que el científicismo. Sobre esto hay acuerdo: **el científicismo no equivale a naturalismo**. Pero no hay unanimidad sobre si debemos entender la filosofía como una parte de la ciencia al modo que entendía Quine. Es interesante la postura de C.P. Snow en su libro *“The Two Cultures and the Scientific Revolution”*, donde defiende la tesis de que ciencias y humanidades representan *“the intellectual life of the whole of western society”*, y que dividir las supone un gran perjuicio para ambas en su propósito de afrontar y resolver los problemas del mundo.

## El objetivo de la Filosofía (de la Ciencia) naturalizada (\*)

Para el naturalismo existen dos funciones principales en la Filosofía de la Ciencia:

- Tarea descriptiva y explicativa: ¿qué hacen los científicos y por qué la ciencia es como es?
  - Crear y aclarar conceptos e ideas.
  - Formular nuevas preguntas sobre diversos aspectos de la realidad.
  - Análisis crítico de los presupuestos filosóficos (premisas ocultas) en todo tipo de creencias (populares, científicas, sociales...).
  - Formar una visión del mundo coherente con la realidad (*“hacemos una concepción unitaria y total del mundo y de la vida”* – Unamuno).
  - Indagar sobre la condición humana y sobre el puesto del hombre en el cosmos (la función principal de la antropología filosófica).
  - Indagar sobre la naturaleza y los límites del conocimiento y sobre las implicaciones que deben sacarse de conocimientos aceptados.
  - Imaginar alternativas en que podrían ser las cosas (utopía sociales, mundos posibles, formas alternativas de arte, formas alternativas de ser humano, ...)
- Tarea prescriptiva: ¿cómo debe funcionar la ciencia?, ¿podría ser de otra manera “mejor”?
  - Proponer metas culturales, sociales y políticas (Rorty).
  - Criticar las instituciones sociales vigentes (crítica social y cultural).
  - Establecer las formas del razonamiento correcto, así como los criterios para el conocimiento garantizado y para la crítica racional.

## Los “por qué” de la ciencia y de los científicos

Antes de entrar a valorar los por qué de la ciencia, debemos detenernos a entender cuáles son los fines (actuales) de la(s) ciencia(s):

- Explicar, comprender y predecir fenómenos.
- Determinar qué tipo de entidades y procesos explican el funcionamiento del universo.
- Crear conceptos y herramientas matemáticas de utilidad en dichas explicaciones.
- Encontrar regularidades en los fenómenos, idealmente formuladas como leyes de la naturaleza, o estructuradas en forma de modelo que permita comprender dichas regularidades.
- Buscar teorías crecientemente comprensivas y coherentes, para eliminar las inconsistencias internas o externas.
- Servir de base al desarrollo tecnológico, lo que va en detrimento de la investigación en ciencia pura en términos de intereses económicos (subvenciones).

La ciencia carecería de fines normativos intrínsecos, aunque el conocimiento de ciertos hechos puede ser relevante para modificar nuestras normas: no hay una separación tajante entre hechos y valores, como ya señala Laudan en su modelo reticular, pero esto se estaría haciendo ya “fuera” de la ciencia (desde la Filosofía de la Ciencia)

En tanto que queremos entender el funcionamiento de la ciencia, cabe plantearse las siguientes cuestiones:

- **¿Por qué es la ciencia como es?** La forma más adecuada de plantear esta pregunta es considerar que la ciencia es una actividad humana llevada a cabo por científicos
- **¿Por qué hacen los científicos lo que hacen?:**
  - ¿Por qué escriben los artículos como los escriben?
  - ¿Por qué hacen los experimentos como los hacen?
  - ¿Por qué aceptan las teorías en las condiciones en que las aceptan?
  - ¿Por qué desarrollan las teorías como lo hacen?
- **¿Podrían hacerlo mejor? ¿Mejor para quién?**

## ¿Con qué ciencia explicar la ciencia?

Ya que los naturalistas han llegado a la conclusión de que hay que utilizar diversas ciencias para explicar “La Ciencia”, recurren a varias de ellas para tratar de explicar cómo funciona

Las principales diferencias entre unos autores y otros dentro del naturalismo se referirían a qué ciencia empírica en particular (psicología, biología, sociología, historia, etc.) se considera más relevante a la hora de explicar la actividad y el conocimiento científicos.

- Sociología (de la Ciencia), antropología (de la Ciencia), teoría política (de la Ciencia).
- Psicología y ciencias cognitivas: pues para los naturalistas el conocimiento es una capacidad cognitiva natural más propia del ser humano
- Biología (teorías evolutivas): los cambios de teoría como un proceso darwiniano
- Economía (teoría de la decisión, teoría de juegos).
- Simulaciones y modelos: para estudiar su evolución en base a la modificación de distintas variables.

## Ciencia y corrección

Pensando de nuevo en el modo en que el naturalismo entiende la ciencia, viéndola según la analogía del barco de Neurath como algo que mejora de manera dinámica y constante durante su propio devenir y haciendo frente a los problemas que surgen durante el proceso científico; cabe considerar así a la ciencia como *‘aquellos modos de investigación que consideremos “correctos” y que son a los que llamaremos “científicos”’*.

**¿Y cuáles son los correctos?.** Los que sean más eficaces en llevarnos a respuestas verdaderas (o intersubjetivamente contrastables y estables: que puedan someterse a diálogo entre las distintas posturas científicas y que dicha discusión pueda mantenerse –y evolucionar– a lo largo del tiempo) a preguntas *interesantes*.

Tenemos aquí como, en vez de utilizar medios apriorísticos, las diferentes prácticas y propuestas de instantes dados de la historia de la ciencia se han visto abandonadas o modificadas en la medida en que los fines y valores de los científicos han ido cambiando con el tiempo (y condicionados por los métodos y las teorías empleados en el quehacer científico).

## Principales problemas del naturalismo científico (\*)

Unas tesis tan fuertes como las expuestas anteriormente presentan diferentes problemas, siendo los principales de ellos:

1. **El problema de la circularidad:** ¿Cómo podemos descubrir “mediante métodos científicos” cuáles son los métodos científicos válidos?
2. **El problema de la normatividad:** ¿Cómo podemos descubrir cómo debe ser la ciencia a partir de una descripción de cómo es la ciencia de hecho?
3. **El problema de la “colocación” (“*placement*”):** Entidades difíciles de “naturalizar” y que parecen no tener cabida dentro del naturalismo, al estar éste basado en fenómenos y elementos físicos de la naturaleza:
  - *Lógica y matemáticas* : el teorema de Pitágoras es verdad, pero ¿existe en algún lugar de la naturaleza?
  - *Valores* : ¿existen en la naturaleza? ¿dónde? ¿de qué están formados?
  - *Conciencia* : ¿cómo puede el naturalismo dar cuenta de la consciencia en un individuo consciente?
  - *Mental* : no da cuenta de lo mental, la relación mente/cuerpo
  - *Significado* : ¿en qué lugar del naturalismo tiene cabida el significado que asociamos a los diferentes términos del lenguaje?
  - *Libertad o libre albedrío* : ¿cómo dar cuenta de aquellas acciones que en teoría están libres de cualquier atisbo de determinismo en la naturaleza?
4. **El problema de la consistencia** : La propia ciencia no proporciona una imagen totalmente coherente de la realidad (*ejemplo*: Relatividad General vs. Mecánica Cuántica se contraponen y presentan algunos conflictos entre sí y parece no haber modo de reconciliarlas). Si aceptamos que la filosofía de la ciencia se reduce a la ciencia entonces la ciencia no es un corpus de teorías absolutamente coherente.
5. **Se autorrefuta** : no es una tesis científica (en particular si se entiende la tesis del naturalismo cientifista)
6. **Identificación de lo natural y lo físico** : no siempre está claro

7. **Posible relativismo** : Al igual que en filosofía política es común distinguir entre *Marx*, *marxianos* y *marxistas*, en epistemología parece obligatorio distinguir entre *Kuhn*, *kuhnianos* y *kuhnistas*. Kuhn y algunos seguidores de su secta han sido acusados de relativismo epistemológico.

El programa fuerte de sociología de la ciencia es un caso notable de filiación kuhniana. Solís los adscribe a una variante del proyecto de naturalización de Quine, uno de cuyos ejecutores es Kuhn. Entienden que la naturalización implica el relativismo epistemológico o la desaparición de la epistemología normativa, pero no es lo mismo una cosa que la otra. El relativismo sostiene que hay normas, y que depende su aceptabilidad de la comunidad que consideremos. Algunos relativistas trafican entre la valoración de las normas relativamente a las comunidades (normas válidas en la comunidad que las avala), y la simple descripción de qué normas son aceptadas en qué comunidades, como si no se pudiera decir que son buenas o malas. Esto implica que no hay normas, salvo como objetos empíricos.

## El problema de la circularidad

**Circularidad**: el naturalismo parece presuponer la validez de aquello mismo que pretende explicar y juzgar, a saber, los métodos y conocimientos científicos.

**Respuesta de los naturalistas**: La circularidad existe, pero no se trataría de una circularidad viciosa, sino virtuosa, ante lo cual alegan que:

- Otros enfoques alternativos (apriorismo, relativismo) no han ofrecido explicaciones convincentes de los fundamentos del método, conocimiento o éxitos de la ciencia:
  - El apriorismo defendería la necesidad de partir de fundamentos no empíricos, y absolutamente ciertos, en el análisis de la ciencia, no ha conseguido ofrecer argumentos convincentes sobre cuáles pueden ser los fundamentos del método y del conocimiento científicos
  - El relativismo asumiría sin reservas la carencia total de fundamentos, pero no ha conseguido una explicación mínimamente satisfactoria de los éxitos de la ciencia
- Por tanto, a falta de apoyos absolutos no nos queda más que basarnos en los conocimientos más fiables que tenemos, mientras sean útiles, que son los científicos.

Si el proyecto naturalista fuera exitoso, mostraría la coherencia interna de la actitud científica y confirmaría la suposición inicial pese a incurrir en la circularidad metodológica.

## El problema de la normatividad

El papel tradicional de la filosofía de la ciencia es el de ayudarnos a formula cómo *debe* llevarse a cabo la investigación racional de la ciencia y, por tanto, sería una investigación eminentemente normativa. Si el naturalismo se limita a describir y explicar el funcionamiento de la ciencia no puede indicarnos cómo deben comportarse los científicos, o si sus decisiones han sido racionales (o correctas), o qué reglas metodológicas son válidas. Si el naturalismo intentase hacer tal cosa, cometería precisamente la **falacia naturalista** (Hume): derivar un “deber” a partir de un “ser”. Observar cómo proceden los científicos no nos permite concluir que así es como se deban hacer las cosas

**Respuesta de los naturalistas**: Lo único que tenemos para saber cómo funciona la ciencia y para tratar de saber si puede funcionar mejor es estudiar los fines y metodologías de los científicos, considerando las normas como “imperativos hipotéticos” tal y como plantea Laudan.

## Larry Laudan - Naturalismo normativo

Sólo a través del estudio empírico de la ciencia, de la psicología y de la naturaleza es posible descubrir cuáles son, por un lado, los fines que de hecho persiguen los científicos, y cuál es, por otro lado, la eficiencia esperable de cada método que se utilice para conseguirlos.

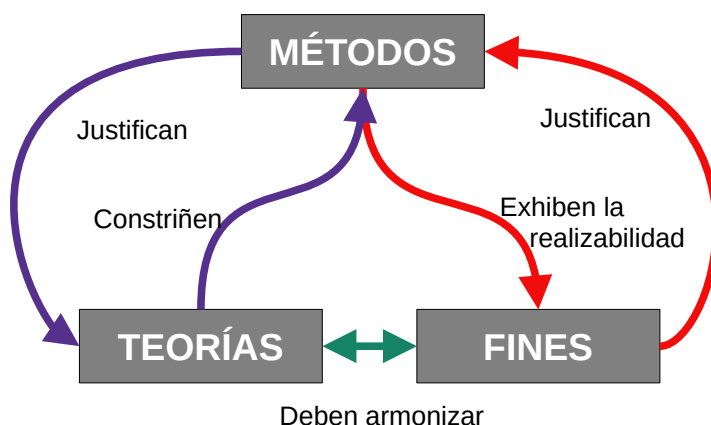
Las normas como “**imperativos hipotéticos**” que conectan fines y medios, esto es, como enunciados sobre la eficiencia relativa de los diversos cursos de acción que un científico puede seguir en un momento determinado. Entonces no sólo no es problemático el buscar estas normas empíricamente, sino que esa sería la única forma razonable de hacerlo. Se trataría, pues, de un proceso iterativo de autorregulación en el establecimiento de normas en función de su cumplimiento en la práctica real de los científicos.

Esta propuesta queda reflejada en el triángulo de Laudan que recoge el funcionamiento de su **modelo reticular de justificación**, detallado en su libro “*Science and values*” de 1984. Este modelo acepta la circularidad del naturalismo, que estaría supeditada a las relaciones que presentan entre sí las teorías, los métodos y los fines que gobiernan la actividad científica en cada momento. Estos tres elementos guardan relación entre ellos, de modo que una alteración en uno de ellos tiene consecuencias sobre, y es restringido por, los otros dos.

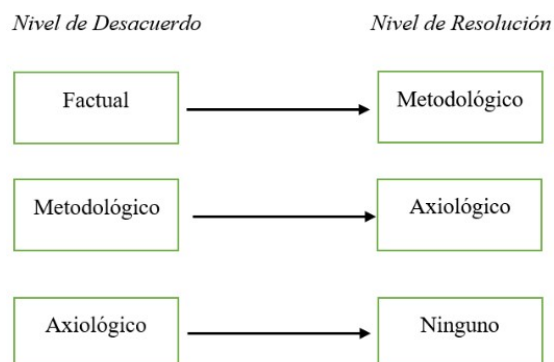
- **Fines:** qué cosas intentamos conseguir mediante la ciencia.  
Qué es lo que nos hace valorar ciertos modos de hacer ciencia frente a otras.
- **Teorías:** conocimientos que la ciencia nos proporciona acerca del mundo
- **Métodos:** procedimientos que debemos utilizar para obtener las teorías.

### Ejemplo:

- **Fin :** conocer cómo es el Sistema Solar
- **Métodos :** uso de telescopios, estudio del cielo
- **Teorías :** astronomía



Esta idea de Laudan se contrapone con la idea tradicional del **modelo jerárquico de justificación**, que según Laudan sólo serviría para explicar el consenso, pero dado su carácter vertical entre los distintos niveles, presenta un punto débil a la hora de justificar un desacuerdo a nivel axiológico.



Su propuesta es naturalista porque la filosofía de la ciencia sería un estudio empírico acerca de la investigación científica.

*“La teoría del conocimiento está en continuidad con otros tipos de teorías sobre la constitución del mundo y sobre la acción humana. Y la Filosofía no es anterior a estas otras formas de investigación ni superior a ellas como un tipo de saber.”*

Por eso Laudan llama a la filosofía de la ciencia teoría de la investigación, porque a su vez, este estudio puede someter sus teorías acerca de la investigación a los mismos fines y criterios a los que somete el resto de la ciencia. Pero además, es una propuesta normativa porque incluye en el estudio del cambio científico los métodos y los valores con los que interactúan las teorías (el cambio no se restringe a teorías).

Ante el **problema de la circularidad** que en principio tendría el modelo, Laudan se defiende negando que exista tal circularidad en el planteamiento naturalista; y lo argumenta explicando que con su modelo reticular hay dos maneras de determinar si una teoría es correcta:

- Una consiste en lo que llama *“esperar y ver qué pasa”*. Es decir, elaboramos una teoría que está sometida a revisión ya que los fenómenos futuros pueden que determinen que en realidad, esa teoría no es correcta.
- También podemos ver que a lo largo de la historia ha habido características comunes a las teorías que han sido más difícilmente falseadas o que no lo han sido. La idea de fondo sostiene que es posible reconocer y tener evidencia de los medios que en el pasado han promovido exitosamente las metas cognitivas que deseamos a través de la historia de la ciencia. Esta formulación instrumentalista de las reglas funciona tanto en las ciencias empíricas como en las teorías de la metodología, aunque el interés principal de Laudan fue proveer un criterio meta-metodológico de elección entre metodologías rivales.
  - **Empírica:** pudiendo así someterla a prueba como en cualquier otra disciplina empírica
  - **Normativa:** al proveer criterios para evaluar metodologías en competencia

*“Dada cualquier regla metodológica propuesta [...] ¿tenemos, o podemos, encontrar evidencia de que los medios propuestos en la regla promueven sus fines cognitivos asociados mejor que sus rivales existentes?”*

A partir de estas características podemos extraer ciertas normas metodológicas que nos permitan acortar el tiempo y la experiencia en principio necesaria para aceptar una teoría. Es decir, al extraer la metodología de los hechos exitosos y de los valores a los que han respondido a lo largo de la historia, se rompe la circularidad porque hay dos modos de determinar la metodología: los fines y los valores. Si se presupone que los fines se mantienen invariables a lo largo de la historia, entonces sí que tendríamos circularidad: las teorías se obtendrían a partir de un método y el método exitoso se determinaría partiendo de las teorías exitosas. Pero es que además, tenemos los valores: si en un análisis de la historia vemos que las metodologías que respondían a ciertos valores se han correspondido con teorías que han resultado más exitosas, podemos aceptar esas metodologías sin temor de caer en la circularidad. De este modo, podemos explicar el cambio científico sin presuponer valores absolutos ocultos en el desarrollo de la historia de la ciencia.

Por tanto, para Laudan, en ciencia **no solamente cambian las teorías; también los métodos y los valores** y defiende que este cambio es racional. Es cierto que existe un círculo, pero no es vicioso, sino virtuoso. Se trata de un círculo que establece una permanente interacción entre estos tres conceptos y lo que ocurrirá será que el propio desarrollo histórico de la ciencia en su marco social, económico, etc., nos hará ir descubriendo métodos, valores y teorías que sean lo más amplias, eficaces y coherentes posibles.



Por otro lado, a Laudan no le preocupa en demasía el problema de la **falacia naturalista** y argumenta que del mismo modo que esta existe, también tenemos la **falacia deductivista**: nunca es posible deducir ninguna ley general acerca de los hechos. Por mucho que los fenómenos se hayan producido de un determinado modo en la experiencia pasada, no hay manera de deducir lógicamente de ahí que los hechos futuros también obedecerán a las mismas leyes. Esto supone que, tal vez, la lógica deductiva no sea tan importante para la ciencia como los filósofos analíticos habían defendido. Además, si tenemos en cuenta que para Laudan no hay valores absolutos, la falacia naturalista se vuelve irrelevante: no hace falta justificar en términos absolutos los fines de la ciencia. Como los fines de la ciencia no son absolutos, no hace falta que queden justificados apriorísticamente.

*¿Qué más da que deduzcamos el ámbito normativo a partir del ámbito descriptivo si, al fin y al cabo, la normatividad es contingente y va cambiando a lo largo de la historia?*

### Algunas consideraciones sobre el modelo de Laudan:

[+] **Identidad estructural entre la filosofía y la ciencia.** Dicho argumento concluye que la filosofía, específicamente la epistemología, funciona más o menos de la misma forma que la ciencia, por lo que la filosofía tiene un componente empírico al igual que la ciencia. Dicha tesis sostiene que las estrategias empíricas de investigación se plantean más o menos de la misma forma en la ciencia que en la filosofía. Ahora bien, respecto al aspecto normativo de su naturalismo, Laudan pretende conservar el papel tradicional de la teoría del conocimiento como un discurso normativo y prescriptivo en términos de la racionalidad instrumental, (en el marco de la evaluación de los criterios para decidir qué medios emplear para lograr fines específicos).

- Laudan se refiere a las partes de la filosofía que tradicionalmente se han considerado normativas, como la epistemología. La ontología o la metafísica no serían normativas. Con esta precisión se enfatiza que el objetivo de Laudan es sostener que las áreas normativas de la filosofía son empíricas, más o menos de la misma forma que las ciencias empíricas
- La identidad estructural tiene una interesante implicación dada su simetría: que la ciencia funciona normativamente más o menos de igual forma en que lo hace la filosofía. Tradicionalmente, la epistemología y la filosofía de la ciencia se han concebido como discursos normativos, y si es correcta la idea de identidad estructural mencionada, entonces debería reconocerse que las ciencias tienen importantes aspectos normativos, incluso que algunas ciencias son normativas.
- Esta idea va en contra de proyectos tradicionales de epistemología como el de René Descartes, Gottfried Leibniz o Immanuel Kant, quienes se basan en la distinción entre las ciencias como discursos descriptivos y explicativos y la epistemología como un discurso crítico y normativo. El papel del epistemólogo sería el de indicarnos cómo debemos construir y formar nuestras convicciones y cómo debemos probarlas, mientras que la ciencia no usa un discurso normativo.

[+] **Intenta conectar los reinos descriptivos y normativos.** Su naturalismo normativo pretende proporcionar una salida al problema de cómo es que una tesis empírica (naturalizada) puede ser al mismo tiempo normativa:

*"uno puede mostrar que una metodología meticulosamente 'científica' y robustamente 'descrita' tendrá consecuencias normativas"*

[+] **Grado de fuerza normativa en la racionalidad instrumental.** Se determina reconociendo que hay diferentes grados de especificidad en la formulación de las metas, donde en un extremo estarían las **metas específicas** (aquellas cuyos medios para alcanzarlas estén estandarizados y sean ampliamente aceptados) y del extremo opuesto las **metas amplias** (aquella en que no tenemos

conocimiento de cuáles medios implementar para alcanzar la meta deseada; o de casos donde incluso es razonable creer que no se puede alcanzar dicha meta). Habría tres grandes grupos de reglas en cuanto a su fuerza normativa, que dibujan un espectro:

- las metas determinan qué medios debemos usar para alcanzarlas;
- el registro histórico de éxitos es incipiente y un consenso de aceptación esté en formación
- casos que aún no contamos con conocimiento de cómo alcanzar las metas deseadas.

No todas las reglas consideradas desde un punto de vista instrumentalista presentan el mismo grado de normatividad epistémica. Laudan se percató de algo similar en cuanto a que no todas las relaciones medios–fines pueden considerarse de la misma forma; a este respecto, afirmó que

*"una metodología consiste en un conjunto de reglas o máximas, que van desde las altamente generales a las muy específicas"*

La distinción entre metas específicas y metas amplias establece una diferencia normativa crucial, a saber, mientras las específicas determinan qué medio se debe utilizar para alcanzarla, en el caso de las amplias existen sólo sugerencias puesto que encontramos, en el mejor de los casos, diversos medios disponibles para alcanzarlas.

Contamos con elementos suficientes para caracterizar la noción de fuerza normativa de la racionalidad instrumental. Dicha fuerza se establece en relación directa con el grado en el cual una meta prescribe qué medio emplear para alcanzarla; en los casos de metas específicas, el grado de normatividad es alto y en el caso de metas amplias es menor o nulo. Consecuentemente, podríamos distinguir entre dos tipos de reglas, aquellas que contienen metas específicas y aquellas que involucran metas amplias, y ambos tipos de reglas presentan diferente fuerza normativa. Podríamos llamar **reglas estandarizadas** a aquellas que son formuladas con base en metas específicas y denominar **reglas heurísticas** a aquellas cuyas metas sean amplias o radicalmente amplias.

Para que la elección de reglas sea racional según el naturalismo normativo, se requiere contar con evidencia disponible históricamente acumulada de la relación medio–fin, sin embargo, ello sólo incorpora reglas estandarizadas y no reglas heurísticas.

La historia de la ciencia muestra dos cosas importantes: que el desarrollo histórico del conocimiento científico exhibe una normatividad epistémica inherente a la investigación del mundo y un indicio de dicha normatividad es el éxito cognitivo que muchas ciencias empíricas han alcanzado. Un modo de explicar ese éxito cognitivo sería analizando qué mecanismos cognitivos y normativos han implementado las ciencias exitosas en comparación con otras ciencias que no lo han logrado. En ese sentido, una tarea de la epistemología de la ciencia sería el descubrimiento y explicación de dichos mecanismos normativos. Por otra parte, la historia de la ciencia muestra que el proceso de transformación de reglas heurísticas en reglas estandarizadas comienza con base en sugerencias normativamente débiles sobre qué medios utilizar. Es decir, mediante decisiones metodológicas que se caracterizan por contar con poca información o evidencia de que tal medio conducirá al fin deseable. En tales casos los elementos de justificación de la relación medio–fin no son por completo seguros, incluso muchos de ellos son abiertamente ensayos de solución.

En las etapas tempranas de la investigación y de la formación de estándares de investigación, la racionalidad instrumental no explica de manera adecuada en qué sentido las decisiones que se toman sean racionales, puesto que no hay evidencia de que los medios elegidos sean efectivamente exitosos.

**[+] Justificación de las normas.** Es una pregunta importante en la medida en que, en tanto naturalismo, la justificación no puede ser a priori, y en tanto normativo, ha de existir algún tipo de fuerza normativa aunque ésta no se derive de la relación medio–fin. Nicholas Rescher establece una distinción de justificaciones al respecto:

- Justificación discursiva: Es el tipo de justificación involucrada en las reglas estandarizadas. Sostiene que una creencia está justificada discursivamente si hay otra creencia preestablecida en cuya evidencia se basa esta creencia. Las reglas estandarizadas involucran este tipo de justificación en la medida que hay evidencia de que un medio específico ha sido exitoso en el pasado para alcanzar una meta específica
- Justificación presuntiva: No procede con la mediación de evidencias sobre una base previamente justificada, sino, directa e inmediatamente, con la fuerza de una "presunción". Una creencia se halla justificada de esta manera cuando hay una presunción establecida a su favor y ninguna razón preestablecida (racionalmente justificada) que se oponga a su aceptación.

Para Rescher,

*"el papel de las presunciones es absolutamente crucial para la racionalidad cognoscitiva" puesto que "no podemos perseguir el proyecto cognoscitivo, que consiste en la búsqueda de información sobre el mundo, sin aceptar ciertas presunciones iniciales".*

**[+] Evolución del modelo reticular de justificación.** Dentro de contextos específicos de investigación, hay reemplazos de medios elegidos presuntamente, en el caso de reglas heurísticas, por otros medios que van mostrando ser mejores, o más eficientes, o más adecuados,... para alcanzar la meta deseable; hasta que una regla heurística llega a ser una regla estandarizada y dicho paso es en realidad un proceso histórico que se conforma mediante racionalidad deliberativa y justificaciones presuntivas.

La racionalidad deliberativa puede formularse como aquella que se despliega cuando elaboramos preguntas relevantes en un contexto de investigación: se toma en cuenta la información pertinente, se monitorizan las soluciones que se van proponiendo y se van incorporando elementos relevantes de solución, todo ello medido por justificación presuntiva.

La deliberación teórica y la racionalidad asociada a ella son la única salida en contextos en donde no hay evidencia del éxito de los medios. En otras palabras, cuando no tenemos reglas estandarizadas el vacío normativo lo llena la racionalidad teórica–deliberativa.

**[+] El colapso normativo del criterio meta–metodológico.** Posibles situaciones problemáticas:

- *¿Cuál es la racionalidad involucrada en la elección de medios para los cuales no existe todavía evidencia en favor de su éxito?*

Se trataría de una racionalidad teórico–deliberativa, que incluye reglas heurísticas cuyo tipo de justificación epistémica involucrada es la justificación presuntiva.

- *¿Qué tipo de racionalidad opera en los casos en que la implementación de medios exitosos no resulta en la obtención de la meta originalmente esperada?*

La racionalidad teórico–deliberativa es uno de los más importantes recursos ante tales escenarios donde hay límites para la racionalidad instrumental. La justificación presuntiva asociada con la racionalidad teórico–deliberativa sostiene explícitamente que no debe haber ninguna contraindicación justificada que se presente en contra de la creencia que se defiende; en el caso que nos ocupa dicha creencia sería el nuevo medio que seleccionaríamos en lugar del medio exitoso que dejó de serlo al pretender aplicarlo en un área diferente a la originalmente considerada.

## W.v.O. Quine – Naturalización de la epistemología

Las raíces del naturalismo suelen verse en el artículo de Quine *“Epistemology naturalized”* (1969) en el que critica el ideal de la epistemología neopositivista de querer deducir lógicamente los enunciados de la ciencia a partir de enunciados observacionales y de querer definir los términos de la ciencia a partir de términos que se refieren a la experiencia sensible, ya que las oraciones de la ciencia no se pueden probar lógicamente a partir de oraciones observacionales y tampoco se puede reconstruir el discurso de la ciencia en términos de observación, lógica y teoría de conjuntos.

Quine propone estudiar cómo, a partir de la estimulación sensorial, se construye la teoría, esto es, Quine entrega *“la carga epistemológica a la psicología”*: abandonando la tarea de establecer una relación de fundamentación entre experiencia sensible y teoría en favor del estudio de la relación que hay en nuestro sistema cognitivo entre experiencia y teoría.

Sin embargo, en otra obra, *“Pursuit of truth”* (1990), Quine concede un lugar a la epistemología desligada de las ciencias que de ordinario llamamos “empíricas”: en esta asombrosa mezcla de relaciones entre la estimulación sensorial y nuestra teoría científica del mundo,

*En esta asombrosa mezcla de relaciones entre la estimulación sensorial y nuestra teoría científica del mundo, hay un segmento que podemos separar y aclarar sin dedicarnos a la neurología, la psicología, la psicolingüística, la genética, o la historia. Es la parte donde la teoría se contrasta mediante la predicción.*

Esta naturalización defendida por Quine ha sido objetada por, entre otros, Rorty y Putnam, pues creen que no deja lugar al componente normativo que tiene la epistemología. Ésta no puede limitarse a describir, sino que su papel legítimo es sancionar el conocimiento. Quine ha respondido que la epistemología naturalizada sí concede un lugar a lo normativo, ya que, como cualquier ciencia empírica, **es una ciencia teórica y descriptiva, pero también posee aplicaciones prácticas**.

Para poder convertir la información que da la epistemología en base de las normas hace falta **especificar los fines que sirven**. Quine menciona como fines principales de la ciencia el entendimiento, control y modificación de la naturaleza, así como la predicción (importante por otros motivos). Así, Quine aboga por un **normativismo instrumental**, de manera que se torna descriptivo una vez que se ha explicitado el parámetro final, éste se describe como búsqueda de la verdad o de la eficiencia en el logro de la verdad y la predicción.

### La concepción de la ciencia de Quine

Quine concibe la ciencia de dos maneras diferentes, debido a la **herencia racionalista del Círculo de Viena**, donde hay también una vacilación entre dos sentidos de ciencia:

- **La ciencia como un hecho institucional.** La ciencia es lo que entendemos ordinariamente por «ciencia», las imágenes del mundo, los sistemas de creencias, y quizá sus aplicaciones tecnológicas, que producen ciertas comunidades, en la actualidad institucionalizadas.
- **La ciencia como conocimiento racional**, lo que incluye que se justifique por la experiencia, no siendo patrimonio de ninguna institución, sino un tipo de conocimiento (o el conocimiento) accesible a todos los humanos. La ciencia es conocimiento intersubjetivo, o intersubjetivamente compartible.

Los positivistas lógicos propusieron una epistemología normativa que incluían numerosas reglas y un criterio de científicidad que dictaminaba que sólo son científicos los enunciados confirmables empíricamente. La justificación que ofrecían del criterio combina las dos perspectivas aludidas del positivismo lógico sobre la ciencia. Cuando se les preguntaba si el propio criterio era un enunciado confirmable respondían que no.

- Para Ayer el criterio debe ser considerado como una definición, aunque no totalmente arbitraria, porque un enunciado que no satisfaga el criterio no sería entendido en el sentido en que habitualmente se entienden los enunciados científicos y de sentido común.
- Hempel afirma que el criterio empirista de significado no es un enunciado empírico. Pero tomarlo como una definición sería considerarlo en cierto modo arbitrario. Propone que se entienda el criterio como una elucidación del concepto de oración que forma una afirmación inteligible, y se acoge al tratamiento que da Carnap de la elucidación («*explication*»)

Esta actitud de los positivistas lógicos (que Quine comparte) explica algo bien enigmático en su proyecto de naturalización de la epistemología: no es verosímil su idea de un sujeto humano que recibe ciertas entradas sensoriales y luego produce una descripción del mundo. No existe ningún sujeto físico humano que haya hecho semejante cosa. La ciencia no es la creación de ningún sujeto individual. Es una actividad y producto sociales. De modo que la sociología de la ciencia debería tener un lugar prominente en la epistemología naturalizada.

Quine mismo ha reconocido **factores sociales en la adquisición del conocimiento**:

- presión hacia la objetividad de naturaleza social
- principio de caridad: compromiso metodológico de interpretar pro bono las emisiones lingüísticas de los demás. Esto es, en atribuirles racionalidad mientras sea posible, en el sentido de la parsimonia de la teoría del comportamiento de esos sujetos. Este principio de caridad de Quine, es democrático: no debemos atribuir errores de lógica o de percepción a nadie mientras sea razonablemente económico no hacerlo, pero no hay nadie privilegiado.

### La psicología de la epistemología naturalizada

El encargo a la psicología del trabajo epistemológico que propone en “*Epistemology naturalized*” ha sido asumido por diversos epistemólogos y psicólogos, que han encontrado en la psicología cognitiva fuentes de iluminación que proyectar sobre problemas epistemológicos. Ahora bien, podemos entender por **psicología cognitiva** dos cosas:

- la psicología que se ocupa del conocimiento,
- la corriente, dentro de ésta, que monopoliza esta denominación en nombre de la escuela que se suele llamar «cognitiva». En este enfoque, las teorías se permiten el uso de lenguaje intencional, de modo semejante a como se usa en el lenguaje ordinario, aunque con algunas restricciones empíricas y formales.

Percepción, reconocer formas, aprendizaje y formación de conceptos, razonamiento deductivo e inductivo, formación de hipótesis, psicología del testimonio, toma de decisiones, resolución de problemas o la memoria son temas de la psicología cognitiva que diversos epistemólogos han empleado, con éxito variable, en la obra de naturalizar la epistemología.

Si la inconmensurabilidad entre diferentes teorías de Kuhn tuviese el carácter tan radical que el argüía, sería una imposibilidad psicológica, teniendo un resultado empírico que afectaría gravemente a la epistemología. Habría tradiciones científicas incomunicadas, donde unos no pudieran entender los enunciados observacionales producidos en la otra tradición. Si estos enunciados fueran considerados decisivos para la contrastación de una teoría, no habría forma de que los científicos de la otra tradición lo apreciaran convenientemente. Pero todo esto es en vano. El mismo Kuhn asegura que no hay tales imposibilidades psicológicas, y que los científicos en ocasiones y los historiadores de la ciencia casi siempre, se ocupan de la traducción de lenguajes de tradiciones científicas ajenas.

En la psicología cognitiva se distinguen **dos direcciones en el procesamiento de información** que media entre los estímulos sensoriales y la formación de conceptos y de juicios.

- Dirección ascendente (de estimulación sensorial hasta juicios y conceptos), Hay doctrinas epistemológicas influyentes que han considerado superior el juicio y la conceptualización e inferior la sensibilidad, porque ésta es compartida con los animales.
- Dirección descendente (de los conceptos previamente formados que, ante estimulaciones sensoriales dadas, afectan a la formación de los preceptos). Esta dirección ha sido desconocida hasta que la estudió la escuela de la *Gestalt*, que ha mostrado diversos efectos de la percepción ilustrativos de ambas direcciones del procesamiento.

En las discusiones sobre racionalidad también se han introducido factores naturalizadores, y uno de ellos ha sido cómo el modo de operación de la memoria humana interviene en el comportamiento racional y qué limitaciones impone sobre él. La memoria a largo plazo no se renueva hasta el punto de que las informaciones contenidas en ella alcancen una plena compatibilidad con las informaciones adquiridas posteriormente. Es decir, la memoria a largo plazo contiene informaciones contradictorias. Los hechos que descubre la psicología sólo parecen tener un alcance para la toma individual de decisiones, o para la racionalidad de las creencias de individuos particulares. Pero la ciencia es una empresa comunitaria que cuenta con medios de representación de la información no limitados a las memorias individuales. Si hemos de encontrar limitaciones a la regla de la evidencia total, debe ser en los modos de representación y de procesamiento sociales de la información, los cuales afectan de forma muy notable a los hábitos individuales de razonamiento.

El estudio psicológico del razonamiento cuestiona si los sujetos humanos se atienen siempre a las reglas de inferencia de la lógica clásica, siquiera en los razonamientos que parecen requerir estas reglas. Sin embargo, habría además que mostrar que estos efectos están presentes en el razonamiento científico para que los estudios empíricos sobre el razonamiento deductivo puedan aportar algo a la naturalización de la epistemología. Pero en la historia de la ciencia no hay casos de errores lógicos que hayan persistido después de la crítica, tanto en razonamiento deductivo como inductivo, convirtiéndose cualquier sistema de reglas no clásico de uso continuado que se detecte en, a su vez, un objeto de estudio de la lógica que diera pie a su propio sistema formal. De modo que, más que la naturalización de la lógica ocurriría una logicización de la psicología.

## Ronald Giere – Representaciones y juicio

Giere interpreta el naturalismo (en *"Explaining Science"*) como el intento de explicar las decisiones de los científicos a partir del supuesto de que éstos son agentes con determinadas capacidades psíquicas, lo que le lleva a utilizar modelos de explicación procedentes de la psicología. Giere entiende el **cognitivismo** como la teoría más útil y fiable con la que dar repuesta a los dos problemas centrales en una teoría sobre la investigación científica, y que reinterpreta como problemas psicológicos más que como cuestiones lógicas):

- La **naturaleza de las teorías** (qué tipo de mapas cognitivos son las teorías científicas)
- La **elección de teoría** (qué mecanismos de decisión emplean los científicos)

Este planteamiento deja fuera el ámbito normativo. Si queremos estudiar la ciencia como un fenómeno natural no tiene sentido intentar justificar las normas metodológicas más allá del contexto donde se dan. La filosofía de la ciencia necesita situarse en el contexto de descubrimiento, y no en el de justificación. Giere propone que estudiemos al científico y veamos cómo se relaciona con el mundo explicando su actividad a partir de los datos que tenemos procedentes de las diferentes ciencias cognitivas: psicología, neurociencia, lingüística,...

## Naturaleza de las teorías científicas y mapas cognitivos

Los “mapas cognitivos” son representaciones del entorno que existen en los cerebros de los animales superiores y que les permiten “solucionar” ciertos problemas (estos mapas serían la diferencia principal entre cognitivismo y conductismo). Las teorías científicas serían familias de “modelos”, siendo cada uno de estos modelos un mapa cognitivo individualizado, que representaría un tipo de situación posible. Consecuencias:

- Pueden existir múltiples versiones distintas de una “misma” teoría, dependiendo de los “modelos típicos” y “criterios de semejanza” que sean prioritarios (depende de la enseñanza recibida, intereses de los investigadores, aplicaciones previstas,...).
- Una teoría científica es una entidad abierta: siempre pueden modificarse sus modelos, añadirle otros nuevos, cambiar las hipótesis de aplicabilidad,...
- Las teorías no pueden axiomatizarse, salvo de forma trivial, lo que las hace aplicables sólo a algunos sistemas reales
- Las teorías no se refieren a leyes naturales, es decir, a principios que se aplicarían de forma exacta a todo un dominio de sistemas (o al “universo”).
- Es posible defender una interpretación realista de las teorías científicas, tanto en el sentido de que **su finalidad es describir aproximadamente el verdadero funcionamiento de los sistemas realmente existentes**, como en el sentido de que las estrategias de los científicos han conseguido de hecho un notable grado de progreso en la consecución de esa finalidad.

## Mecanismos de decisión que emplean los científicos en la elección de teoría

Giere critica el modelo apriorista del bayesianismo según el cual la racionalidad científica consistiría en la capacidad de evaluar el grado de probabilidad que cada hipótesis teórica posee dada la evidencia empírica disponible en cada momento; una vez estimada dicha probabilidad por cada científico, éstos no tendrían necesidad de “escoger” entre todas las teorías posibles, sino que se limitarían a reconocer el grado de probabilidad de cada una. Los principales inconvenientes del bayesianismo según Giere son:

- Ineficacia del ser humano al manejar probabilidades condicionadas.
- Cada científico puede otorgar un grado de probabilidad distinto a las mismas teorías basándose en la misma evidencia empírica.
- En la práctica, los científicos seleccionan teorías, en vez de limitarse a otorgarles grados de probabilidad.

Giere propone utilizar la **teoría de la “racionalidad limitada”** de Herbert Simon, según la cual los sujetos no toman sus decisiones maximizando una función de utilidad, sino aplicando criterios de decisión parciales e imperfectos (en el sentido de que no garantizan obtener el resultado óptimo), si bien tienen la ventaja de no requerir una capacidad cognitiva extraordinaria; si con estos criterios no se logra obtener ningún resultado satisfactorio, el sujeto disminuirá su “nivel de aspiración”, y lo incrementará si se encuentran muchas decisiones satisfactorias demasiado pronto.

Si los científicos siguen la regla de *“elegir aquella teoría que haga mejores predicciones”*, entonces, si entre las teorías propuestas hay alguna correcta, ésta será la que los científicos elijan normalmente, y, por lo tanto, la regla es razonable en el sentido de que el seguirla garantiza que los científicos se encontrarán en una situación satisfactoria más a menudo que en una situación insatisfactoria. De este modo, la estrategia seguida por los científicos es racional, no en el sentido fuerte de que con ella se asegure la maximización de una cierta función de utilidad, sino en el sentido más débil de que se trata de una estrategia que conduce a los científicos a resultados razonablemente aceptables. (proceso heurístico en la elección de teorías)

## Philip Kitcher – Prácticas, progreso y método

Para Kitcher, si queremos desarrollar una teoría empírica de la ciencia, debemos ofrecer una descripción lo más detallada del estado de una disciplina; especificando todos los estados mentales, acciones y capacidades de cada uno de sus miembros, que ni es realizable ni útil.

### Prácticas científicas

**Práctica individual**, que contiene, respecto a un individuo y en un momento determinado:

- el lenguaje que usa en su trabajo profesional;
- las preguntas que identifica como problemas significativos;
- los enunciados que acepta como respuestas adecuadas a algunos de esos problemas;
- los patrones de razonamiento que acepta como esquemas explicativos válidos,
- los criterios y ejemplos de fuentes de información fiables (métodos empíricos, informes de colegas y esquemas de razonamiento –no explicativos–).

**Práctica consensual**, de una comunidad científica, que contiene en un momento dado:

- la intersección, para cada elemento de la práctica individual, de los correspondientes a cada miembro de la comunidad;
- diversos factores sociales relativos a la organización de la comunidad (relaciones con otras comunidades, relaciones de autoridad o división en subcomunidades...),
- un consenso virtual derivado de todo lo anterior, que indica aquel cuerpo de conocimientos en los que todos los miembros de la comunidad están de acuerdo implícitamente si utilizan los criterios y métodos de la lista anterior, y que por su inmenso volumen, no existe, ni puede existir, “en la cabeza” de cada científico. Este es seguramente el elemento más importante, pues constituye la verdadera descripción de *“el estado de los conocimientos en un campo determinado”*.

Las prácticas individuales (y con ellas las colectivas), pueden cambiar a través de dos tipos de procesos diferentes: **“encuentros con la naturaleza”** (observaciones y razonamientos “en solitario”), y **“conversaciones con los colegas”**. Esta distinción no presupone la existencia de “datos empíricos infalibles”, pues el resultado de los “encuentros con la naturaleza” está determinado por el estado cognitivo previo del científico, que a su vez depende parcialmente de sus interacciones sociales anteriores.

### Progreso cognitivo

El problema metodológico fundamental será el de cómo puede conducir la evolución de las prácticas consensuales a un progreso cognitivo. Para Kitcher el **progreso cognitivo** consiste en obtener un conocimiento cada vez más preciso de las auténticas clases naturales, y de las auténticas relaciones de dependencia entre unos tipos de acontecimientos y otros. Hay así:

- **Progreso conceptual**: cambio del lenguaje, abandonando términos que no se referían a ninguna clase natural, añadiendo términos que se refieren a clases no especificadas antes, o mejorando los modos de especificación de las clases ya identificadas.
- **Progreso explicativo**: eliminando algún esquema explicativo incorrecto, añadiendo alguno correcto, o refinando o extendiendo correctamente algún esquema anterior.
- **Progreso erotético**: mejora de nuestra capacidad de plantear (y responder correctamente) preguntas genuinamente significativas (aquellas que presuponen esquemas explicativos correctos). Kitcher distingue entre



- preguntas de aplicación (extensión de un esquema)
- preguntas de presuposición (hechos que deben darse si el esquema es válido); ejemplo: si las radiaciones electromagnéticas son vibraciones de un éter, ¿cuáles deben ser las propiedades de este éter?;
- preguntas significativas primarias y derivadas (necesario responderlas para responder luego otras); ejemplo: para calcular el diámetro terrestre, Eratóstenes hubo de calcular primero el ángulo de proyección de los rayos del sol en el cenit en dos lugares alejados.
- **Progreso instrumental**: modificaciones de las técnicas empíricas y de cálculo, o de la organización social de la ciencia, que facilitan alguno de los otros tipos de progreso.

Todas estas definiciones presuponen la existencia de algunas categorías conceptuales adecuadas, esquemas explicativos correctos y enunciados verdaderos.

El principal argumento que presenta Kitcher para “rehabilitar” la noción de verdad va dirigido especialmente contra la llamada “inducción pesimista”, que afirma que casi todas las teorías que en su día fueron exitosas (ejemplo: la astronomía de Ptolomeo, la teoría del calórico, la teoría del éter electromagnético, etc.) han terminado siendo abandonadas, y mostrándose que sus términos centrales no poseían referencia real.

A este planteamiento puede oponérsele una “inducción optimista”, según la cual las teorías del pasado parecen, en general, aproximaciones sucesivas a la descripción del mundo que ofrecen las teorías actuales (ejemplo: la teoría de Newton ofrece una visión del universo más parecida a la que tenemos hoy en día que la de Copérnico, y ésta que la de Ptolomeo), mientras casi todas las entidades eliminadas de las teorías pasadas eran precisamente las menos funcionales (ejemplo: lo importante de la teoría de Maxwell eran las ecuaciones del campo electromagnético, no la suposición de que las ondas se transmitían en un éter).

### Métodos y procedimientos del progreso científico

Respecto a los procedimientos para llevar a cabo efectivamente un progreso cognitivo:

- **Técnicas de observación**: permiten observar algo real cuando somos capaces de mostrar, mediante ellas, un “virtuosismo” discriminatorio y predictivo sobre observaciones realizadas independientemente; no es preciso poseer una teoría que explique su funcionamiento.
- **Inducción eliminativa**: el “conocimiento de fondo” permite reducir a un pequeño número el conjunto de hipótesis alternativas razonables; con este pequeño conjunto puede mostrarse, en los casos favorables, que los datos empíricos son inconsistentes con todas aquellas hipótesis salvo con una, que será la verdadera si el “conocimiento de fondo” lo es.
- **Árboles de escape**: cuando un científico se ve llevado a aceptar dos enunciados contradictorios, va seleccionando cada uno de los enunciados de los que ha derivado alguno de los primeros, examinando las pérdidas explicativas que implicaría la eliminación o sustitución de cada uno de los segundos; eligiendo aquella opción cuyos costes son menores. Si todas las opciones tienen un coste excesivo, se explora la posibilidad de modificar algún elemento más básico: el lenguaje, los esquemas explicativos, las técnicas de observación, etc.
- **Diseño de la organización social de la ciencia**: distintos tipos de organización pueden hacer que el grado de progreso cognitivo sea mayor o menor. Por ejemplo, si se permite que cada científico elija la teoría que más le interese elegir, entonces una comunidad formada por científicos motivados por intereses personales puede ser, en ciertas circunstancias, más eficaz en la consecución de los fines epistémicos colectivos que otra forma por individuos motivados sólo por intereses epistémicos: estos últimos aceptarían siempre la teoría mejor confirmada, mientras que algunos de los movidos por el reconocimiento pueden aceptar

trabajar con teorías peor confirmadas; en este caso, el “egoísmo” favorece la exploración de muchas vías de investigación, cuyo éxito futuro es poco probable pero no imposible.

Kitcher utiliza ejemplos históricos que intentan mostrar que, lejos de tratarse de meros ejercicios de lógica, semántica o epistemología formal, aquellas estrategias metodológicas son plenamente factibles y, en muchos casos, exitosas; tratando de convencer a sus lectores (y en esto coincide con Giere) de que bajando los fines tradicionales de la ciencia (el conocimiento objetivo de la realidad) a la altura de los científicos de carne y hueso, existen estrategias que permiten alcanzar esos fines de forma relativamente satisfactoria.

## Kitcher y Giere: comparativa de sus modelos

### Evolución de la ciencia como un proceso darwiniano

Que el desarrollo del conocimiento científico es un proceso evolutivo ha sido supuesto por numerosos filósofos (Popper, Toulmin, Laudan), siendo los naturalistas los que han tratado de desarrollar de forma más explícita la idea de que dicho proceso evolutivo sigue una pauta darwiniana. Un **modelo darwiniano de evolución** se caracteriza por poseer tres mecanismos:

- **Variación:** individuos de una misma población difieran entre sí y de sus progenitores.
- **Selección:** no todos los individuos tienen mismas probabilidades de procrear
- **Transmisión:** explica la forma como los genes pasan de una generación a otra.

#### Variación

Tanto Giere como Kitcher piensan que la existencia de variabilidad en la ciencia, tanto a nivel de hipótesis o teorías, como a nivel de las estrategias metodológicas usadas por cada investigador, no sólo es inevitable (distintos “recursos cognitivos” que posee cada científico), sino que también es beneficiosa, porque en la mente de un solo científico no “cabe” todo el conocimiento generado en su disciplina (variabilidad entre científicos), variabilidad que es la que hace posible la adaptación a situaciones nuevas.

Cuestión problemática: si la selección persiste las mejores soluciones, ¿por qué siguen apareciendo variedades “menos eficientes”?; es decir, *¿cómo puede un científico poseer “recursos cognitivos” distintos a los de sus colegas, si estos recursos son, al fin y al cabo, ideas o técnicas que han debido ser seleccionadas en algún momento anterior, es decir, si los recursos alternativos a aquéllos han debido ser ya eliminados?*

La **teoría sintética de la evolución** da cuenta de ello mediante las mutaciones, y posibles respuestas de Kitcher y Giere al respecto podrían ser:

- La diferencia entre los recursos cognitivos de cada científico se debería a que ningún individuo puede poseer él solo todos los recursos necesarios, teniendo sólo un subconjunto de los recursos pertinentes para resolver un problema; esto apoyaría la necesidad de cooperación entre científicos con recursos complementarios.
- El mecanismo selectivo podría ir reduciendo los tipos de soluciones aceptables para cada problema, pero los científicos podrían desarrollar variedades diferentes de solución dentro de un mismo tipo.
- El mecanismo de selección no elimina necesariamente todas las variedades competidoras, exactamente igual que en el proceso de evolución biológica: algunos científicos pueden encontrar interesante defender teorías “peor confirmadas”.

## Selección

Giere y Kitcher están de acuerdo en que el más importante es la eliminación de alternativas por el peso acumulado de los argumentos empíricos, aunque existe una importante discrepancia en cuanto al modo más idóneo de llevar a cabo dicha eliminación.

La principal diferencia entre Giere y Kitcher radica en la importancia del criterio del éxito predictivo. Kitcher argumenta que dicho criterio, aunque útil, no es determinante, pues si usamos la experiencia para “eliminar hipótesis alternativas”, no es sólo porque gracias a ella podamos refutar algunas hipótesis propuestas, sino que debe servirnos también para poder eliminar todas las hipótesis concebibles (lo que Kitcher denomina “dudas residuales” sobre la corrección de la hipótesis mejor confirmada). Al eliminar estas dudas, hemos de considerar dos escenarios;

- Nuestro “conocimiento de fondo” nos indica que el espacio de hipótesis alternativas estudiadas es completo, basta con que todas menos una hayan sido refutadas por la experiencia para que la superviviente sea aceptada como verdadera, aunque ésta no haga predicciones “asombrosas” (más habitual en ciencias experimentales);
- Podemos pensar que hay muchas hipótesis alternativas no consideradas (más común en ciencias observacionales). Así, las “dudas residuales” pueden reducirse mediante:
  - éxitos predictivos nuevos y sorprendentes (que eliminan “de un golpe” todas las hipótesis imaginables que sean inconsistentes con la predicción),
  - acumulación de casos confirmatorios (pues si alguna hipótesis ignorada fuera correcta, probablemente algunos de esos casos tendrían que refutar la hipótesis que tenemos).

Se puede criticar este criterio alegando que el que exista intención en la selección (por el científico) elimina la “naturalidad” de la selección, siendo una selección más *lamarckiana* que darwiniana, si bien la teoría de Darwin muestra precisamente que el “criterio” de selección en la naturaleza es precisamente el mismo que en la selección artificial de variedades de seres vivos. Del mismo modo, también es cierto que el objetivo que persiguen los científicos (la representación de la realidad, según Giere y Kitcher) es un objetivo “artificial”, pero nuestros autores argumentan coherentemente que las estrategias metodológicas de los científicos permiten seleccionar aquellas teorías que suponen un progreso hacia aquel objetivo.

## Transmisión

Giere y Kitcher mencionan de pasada los posibles mecanismos de transmisión de las ideas científicas, en especial el aprendizaje. Esto plantea problemas filosóficos interesantes: ¿por qué aceptan los científicos “perdedores” transmitir y enseñar las ideas de los “ganadores” (más que reconocerlas como tales), en vez de transmitir las suyas propias?; ¿por qué “aceptan” los estudiantes las teorías que se les enseñan?. Respecto a esta última cuestión, parece que debería transmitirse también, junto a dichas ideas, algún “vestigio” del proceso de selección que las convirtió en “ganadoras”, pero, como han mostrado los historiadores de la ciencia, este “vestigio” más bien suele falsear la verdadera evolución de dicho proceso. Sería interesante estudiar cómo afectan a la evolución del conocimiento científico estos y otros problemas sobre los mecanismos de transmisión.

## Uso de modelos cognitivos

Se les critica que pese a intentar basarse en una descripción y una explicación empíricas del funcionamiento de las actividades cognitivas que entran en juego en el proceso de la ciencia, existe **poca investigación psicológica genuina**, y sí muchas discusiones tradicionales sobre la verdad, el realismo, el progreso y la racionalidad, revestidas meramente con un nuevo lenguaje psicologista.

La ausencia de un estudio empírico mínimamente serio de los procesos cognitivos de los científicos es más notable en Kitcher, donde las nociones centrales de “práctica individual” y “práctica consensual” no contienen elementos realmente “prácticos”.

Con respecto a su discusión sobre la naturaleza de las teorías científicas, Giere las presenta por un lado como **“mapas cognitivos”**, pero por otro lado añade que dichas teorías vienen acompañadas por **“hipótesis de aplicabilidad”**. Cabe preguntarse por la naturaleza psicológica de esta “hipótesis”: ¿es ella misma un “mapa cognitivo”? ¿o acaso las afirmaciones con contenido proposicional no son ellas mismas representaciones posibles de la realidad?

Tenemos un conocimiento hipotético que genera más conocimiento hipotético.

## Racionalidad y simetría

El **“principio de simetría”** (propuesto por sociólogos encuadrados en el “Programa Fuerte”), afirma que las creencias “racionales” o “verdaderas” deben ser explicadas según el mismo tipo de procesos causales que las “irracionales” o “falsas”. Esta tesis puede llegar a considerarse como una definición del propio naturalismo, si entendemos éste como el intento de ofrecer una explicación natural del conocimiento científico, una explicación bajo la cual deberían caer todas las teorías, no sólo las que ahora consideramos más aceptables.

Algunos autores derivan de este principio la conclusión de que no hay ninguna diferencia epistémica intrínseca entre ambos tipos de creencia, sino que términos “verdadero/falso”, o “racional/irracional”, son meros calificativos con los que mostramos nuestro acuerdo o desacuerdo con un enunciado.

Según Giere y Kitcher, si las creencias son en el fondo estados cognitivos de nuestro cerebro, y si existen ciertas interacciones causales “naturales” entre esos estados y la naturaleza que nos rodea, entonces no hay razón alguna por la que no pueda existir entre ambas cosas (estados mentales, por un lado, y naturaleza, por otro) alguna relación de correspondencia (según Kitcher) o de semejanza (según Giere) a partir de la cual podamos definir la adecuación de nuestras creencias.

Una vez definida la adecuación de una creencia o mapa cognitivo, es fácil definir la **racionalidad epistémica**, como el uso de aquellos procedimientos de adquisición o cambio de creencias que suelen generar estados cognitivos “adecuados”. Esta estrategia es perfectamente coherente con el principio de simetría, pues con ella las creencias racionales y las irracionales se explican con el mismo tipo de causas: la interacción causal entre nuestros estados cognitivos y la naturaleza, y el uso de algún procedimiento de modificación de estados cognitivos.

La estrategia, por otro lado, puede servir como apoyo de la interpretación realista de las teorías científicas, pues la explicación que el realismo ofrece del origen de nuestras creencias perceptivas y del éxito de nuestras teorías (que nuestras creencias dependen de nuestra interacción con un entorno independiente de ellas, donde teorías con un elevado éxito empírico lo tienen porque describen acertadamente algunos aspectos relevantes de ese entorno). Esto no lo consiguen ni el constructivismo social ni el empirismo instrumentalista:

- El constructivismo social afronta el siguiente problema: dos grupos de investigación idénticos desde el punto de vista de sus características sociales, se les pide analizar sustancias distintas; ¿llegarían ambos grupos al mismo resultado? Tendría que ser así si las creencias sólo dependen de las relaciones sociales entre los investigadores.
- Respecto al empirismo, el criterio instrumentalista de selección de teorías explica por qué elegimos teorías con un elevado éxito empírico, pero deja como un dato sin explicación posible el hecho de que algunas teorías hayan alcanzado tanto éxito empírico.

## Elliott Sober – Naturalismo metodológico

El naturalismo metodológico propuesto por Sober define la naturaleza como la totalidad de entidades, acontecimientos y procesos que tienen una localización espaciotemporal. Como las entidades sobrenaturales no la tienen, las teorías científicas deberían ignorarlas, aunque no deberían comprometerse a negar su existencia. Dos posibles enfoques:

- El naturalismo metodológico no impide a los científicos el formular teorías que inspiren pensamientos sobre Dios, ya sea a favor o en contra. El naturalismo metodológico es una tesis lógica (tesis respecto a lo que una teoría dice), no una tesis sobre psicología (sobre lo que la teoría podría sugerir a alguien);
- Sober distingue su posición tanto de la de un naturalismo metafísico que afirmaría categóricamente la no existencia de entidades sobrenaturales como de los naturalismos metodológicos fuertes que niegan cualquier modo de aludir a tales entidades.

El punto de partida de su teoría requiere una serie de matizaciones:

- **La ciencia no evita postular entidades sobrenaturales**, como ocurre con el caso de los números, que desde ciertas posturas de la filosofía de las matemáticas se defiende que son entidades sobrenaturales (platonismo matemático). Las matemáticas son un marco indispensable para la ciencia y muchas de las teorías científicas que más apreciamos presuponen que los números existen.
- **Las afirmaciones acerca de lo sobrenatural no son necesariamente incontrastables**, ya que hay afirmaciones “mixtas” que sí lo son. Las afirmaciones mixtas son aquellas que versan al mismo tiempo sobre entidades sobrenaturales y objetos que tienen una ubicación espaciotemporal (sólo son incontrastables aquellas proposiciones que versan únicamente acerca de lo sobrenatural).

Estos matices los razona Sober reflexionando acerca de las siguientes cuestiones:

- *¿Las teorías científicas deben hablar solamente de lo que existe en la naturaleza?*
- *¿Son las afirmaciones sobre lo sobrenatural siempre incontrastables?*
- *¿Violar el naturalismo metodológico es un freno para la ciencia?*
- *Si existen los números, ¿porqué no Dios?*

Y concluye que las teorías científicas pueden tener origen en cualquier proceso psicológico (incluso venir sugeridas por teorías teistas), pero su contenido no depende nunca de lo sobrenatural. La ciencia no teísta ha resuelto un sinnúmero de problemas planteados por la naturaleza, y por ello el postulado de la existencia de un dios, a la Laplace, es innecesaria.

*cuando Laplace ofreció a Napoleón un ejemplar de uno de sus libros de astronomía (“[Traité de Mécanique céleste](#)”), este preguntó: «Me han dicho que en este gran libro que habéis escrito sobre el sistema del mundo no se menciona a Dios, su creador», a lo que Laplace respondió: «Sire, no he necesitado de esa hipótesis»*

Sería equivocado esperar que la ciencia haga más de lo que es capaz. Quien quiera que las teorías científicas le digan lo que está bien y lo que está mal, o cuál es el sentido de la vida, acabará decepcionado. Pero esto no significa que la ciencia haya fracasado. La ciencia no se encuentra en esa línea de trabajo. El naturalismo metodológico no afirma que el único camino para alcanzar conocimiento sea a través de la ciencia. Se trata de una tesis acerca de lo que las teorías científicas afirman, no acerca de lo que las proposiciones no científicas deberían ofrecer.

## Normas y valores en la ciencia bajo un enfoque naturalizado

Si bien los seres humanos tenemos en común un sistema perceptual, sólo podemos desplegar nuestras capacidades como agentes cognitivos formando parte de ciertas entidades colectivas que podemos llamar “prácticas” (lo que sigue es el enfoque a tal respecto de León Olivé).

### Prácticas científicas

Una práctica científica es un sistema dinámico que incluye al menos los siguientes elementos (que deben verse como íntimamente relacionados e interactuando entre sí):

- Un conjunto de **agentes** con capacidades y propósitos comunes que coordinadamente interactúan entre sí y con el medio, proponiendo tareas colectivas y coordinadas.
- Un **medio** del cual forma parte la práctica, y en donde los agentes interactúan con otros objetos y otros agentes.
- Un conjunto de **objetos** (incluyendo otros seres vivos) que forman parte del medio.
- Un conjunto de **acciones** (potenciales y realizadas) estructuradas, que involucran intenciones, propósitos, fines, proyectos, tareas, representaciones, creencias, valores, normas, reglas, juicios de valor y emociones. De este conjunto conviene destacar:
  - **Representaciones del mundo** (potenciales y efectivas), que guían las acciones de los agentes. Incluyen *creencias* (disposiciones a actuar de una cierta manera en el medio), y *teorías* (conjuntos de modelos de aspectos del medio).
  - **Supuestos básicos** (principios), *normas*, *reglas*, *instrucciones* y *valores*, que guían a los agentes al realizar sus acciones y que son necesarios para evaluar sus propias representaciones y acciones, igual que las de otros agentes. Esta es la *estructura axiológica de una práctica*.

Las prácticas no están en un determinado medio previamente existente y previamente constituido, sino que las prácticas forman parte de ese medio, al cual no sólo transforman, sino que también lo constituyen. **La identidad e identificación de los objetos que forman parte de ese medio son relativas a una cierta práctica** (o conjunto de ellas). Desde luego, hay objetos que pueden identificarse desde varias prácticas. Pero lo importante es que siempre son relativos a alguna práctica. Podemos decir que el medio es el mundo del cual forman parte los agentes de la práctica. Mundo que es constituido y transformado por esos agentes.

Las representaciones, los principios, las normas y los valores son necesarios para que los agentes comprendan su situación, así cómo para decidir cómo comportarse y qué hacer.

- **Principio**: supuesto básico. Normalmente, fuertemente atrincherado, y de lo más difícil de revisar y todavía más difícil de remover o modificar. *Ejemplo*: principios de la lógica clásica; principio de causalidad presupuesto por la mecánica newtoniana.
- **Norma**: precepto que establece qué es correcto y qué no lo es en determinado contexto (“no plagiarás”, “no forjarás artificialmente los datos”). Usualmente la violación de una norma se sanciona con un castigo. La normatividad inmanente a cada práctica establece los criterios para juzgar como correctas ciertas acciones (en circunstancias específicas), pero también ofrece criterios para aceptar otras acciones aun si éstas no quedan prescritas por las normas pertinentes.
- **Regla de procedimiento**: enunciado condicional que indica los procedimientos adecuados para obtener un fin determinado (*si quieres A haz B*).

- **Regla constitutiva:** precepto que establece las acciones permisibles en una determinada práctica (como las reglas de los juegos o de la gramática), y qué es necesario para la identidad de la práctica en cuestión. Su violación puede dar lugar a un extrañamiento dentro de una práctica. Las reglas constitutivas permiten identificar los problemas legítimos en un campo. *Ejemplo:* para cierto tipo de epistemología, los problemas de la génesis del conocimiento no están en su ámbito (o juego), sino sólo los problemas de justificación.
- **Instrucciones:** enunciados que indican los procedimientos y acciones que se requieren en determinado contexto para lograr un fin específico. *Ejemplo:* para operar un aparato, para llegar a cierto lugar, para mostrar obediencia o sometimiento,....

Consideramos a los valores como funciones que se pueden aplicar sobre argumentos que pueden ser objetos, creencias, acciones, personas, sistemas, animales, artefactos,... Sólo cuando los agentes de una práctica aplican un valor a algo en una circunstancia específica, cuando hace la acción de evaluar, el valor tiene significado. De otro modo solo hay términos valorativos vacíos (belleza, elegancia, justicia, simplicidad, precisión, etc.).

Las prácticas cognitivas sólo pueden desarrollarse por grupos humanos y no por individuos aislados. La adecuación de una práctica no es una cosa de todo o nada, sino gradual, que tiene que ver con la medida en que los agentes de la práctica logran los fines propuestos.

- Esas prácticas son **adecuadas** en la medida en que permiten una explotación del medio que a la vez permite la supervivencia del grupo.
- Así, un sistema axiológico es **correcto** si la práctica que constituye es adecuada.

Ambas características (adecuación y corrección), de las prácticas y de sus sistemas axiológicos, dependen tanto de las capacidades cognitivas y de acción de los agentes, como del medio dentro del cual deben llevar a cabo sus acciones y al cual necesariamente deben transformar. Como los medios son muy diversos, de ahí surge la amplia variedad de prácticas y, por tanto, de sistemas axiológicos correctos. Se asumen los siguientes supuestos:

1. Los seres humanos normalmente forman parte de diferentes prácticas: cognitivas, económicas, políticas, educativas, de ocio, religiosas, científicas, deportivas,...
2. No existe un mundo "ya hecho" constituido por objetos que los seres humanos conozcan o transformen independientemente de su hacer como humanos. Los agentes, sus representaciones del mundo, los objetos y sus relaciones, todos son constituidos en sus interacciones: no hay objetos sin agentes, sus representaciones y acciones, pero tampoco hay agentes sin objetos y las representaciones de ellos.

Una práctica, por lo tanto, es un sistema dinámico y complejo de agentes, de acciones, de representaciones del mundo y de creencias que tienen esos agentes, quienes actúan coordinadamente, e interactúan con los objetos y con otros agentes que constituyen el mundo. Es decir, **las prácticas cognitivas son resultados evolutivos culturales y biológicos**. Puesto que las prácticas no están en, sino que forman parte del medio, el proceso evolutivo de las prácticas no es independiente de la evolución del medio en el que se desarrollan. De este modo, la **perspectiva de epistemología naturalizada** alega que los agentes cognitivos no son sólo sujetos perceptuales pasivos, sino agentes (la mera percepción ya involucra la acción de aplicar un esquema de semejanzas y diferencias), y que los objetos no están "ya hechos", a la espera de ser percibidos por un sujeto. Los objetos son siempre objetos para ciertos agentes, quienes son capaces de tener representaciones de ellos. Agentes, objetos, representaciones y medio, todos forman parte de un sistema.



## La percepción sensorial, la acción y la justificación de las creencias

¿Cómo puede justificar una creencia acerca del mundo empírico y en qué condiciones la percepción de un objeto o situación?. La percepción sola no basta para tener una justificación. Bajo la tradición lingüística la justificación se entendía como una relación entre proposiciones, pero en la perspectiva practicista (pragmatista) se requiere estar seguro de la autenticidad de la percepción y garantizar que la creencia a la que dicha percepción da lugar es objetiva. Comencemos por la clarificación de algunos conceptos.

- Una **representación de un objeto** del mundo no es una imagen de él, sino el estado cognitivo (físico y mental) de los agentes al identificar el objeto como presente en su campo perceptual y como distinto de otros objetos y de su medio.
- Que el agente tenga la **creencia de que el objeto está presente en su campo perceptual** significa que el agente tiene la disposición a actuar como si tal fuera el caso.
  - La creencia es correcta si el objeto de hecho está en el campo perceptual del agente, pudiendo así hacer cosas con el objeto (y al objeto).
  - La creencia es equivocada si en realidad el objeto no lo está. Son casos como cuando el agente sufre de alucinaciones, y por lo general fracasarán sus intervenciones en el mundo directamente relacionadas con ese objeto.
- Hay **clases naturales de agentes que tienen un sistema perceptual común**, actuando como si el “objeto” estuviera presente, aun si no saben de qué se trata. Pero reaccionan ante el “objeto” de diferentes maneras según sus creencias, experiencia previa, conocimiento o ignorancia con respecto a aquello que todos perciben. Seguramente no le atribuirán las mismas características, aunque todos percibirán que algo está presente, pese a no concebirlo como el mismo “objeto”.

La percepción no es algo pasivos ni independiente de las acciones de los agentes. Percibir es una forma de actuar. Todo proceso perceptual involucra discriminación, representación, categorización y la posibilidad de acción, si no directamente sobre el objeto o la situación percibidos, sí en relación con ese objeto o situación; y es llevada a cabo a partir de nuestros estados internos: la memoria, la imaginación, la ingestión de drogas, un malfuncionamiento del organismo... Esto nos trae de vuelta a las dos cuestiones iniciales:

### (1) Asegurarse de la autenticidad de la percepción

(*que el objeto percibido está realmente en el campo perceptual del agente*). Puede verse como una justificación débil de su disposición a actuar como si el objeto estuviera presente. Pero la justificación fuerte de esa creencia requiere que el agente tenga garantía de la objetividad de su creencia. Esto requiere de una sucesión posterior de acciones para asegurarse (en lo humanamente posible) que otros agentes de su práctica tendrían la disposición análoga para actuar como si el objeto estuviera en su campo perceptual.

Las creencias incluyen representaciones de objetos, pero también la disposición a actuar. En cuanto a la evaluación de representaciones y de creencias, podemos decir que no hay representaciones “correctas” o “incorrectas”, como si correctas, o “buenas”, e incorrectas o “malas” dependiera de ser buenas o malas imágenes del mundo. La evaluación de una representación no tiene nada que ver con la fidelidad de una imagen con lo representado, sino con la autenticidad de la representación en el sentido de que sea una representación de ese objeto y no de otro. O sea, una representación auténtica es la que indica al agente que tal objeto, y no otro, está en su campo perceptual.



## (2) La creencia a la que da lugar esa percepción es objetiva.

Es indispensable la participación de otros agentes. La objetividad de las creencias es asunto colectivo e intersubjetivo, de modo que ante un objeto y en circunstancias análogas tengan la misma representación del mismo y misma disposición a actuar como si el objeto estuviera en su campo perceptual.

La objetividad de una creencia presupone que los agentes de una misma práctica categorizan su mundo de la misma manera. Es decir, los miembros de la misma clase perciben y se representan los “mismos” aspectos del mundo. Esto es lo que se entiende por **categorización**: el ejercicio de la habilidad de representarse objetos del mismo tipo, que presupone la aplicación de esquemas de semejanzas y diferencias; rechazando la idea de ligar necesariamente la categorización con una idea de conceptualización entendida como indisolublemente relacionada con un lenguaje proposicional. Es similar a la enfatizada por Kuhn cuando habla de patrones de semejanza y diferencia como incrustados en un esquema conceptual, los que a la vez eran entendidos como condiciones prelingüísticas para tener creencias.

Percibir un objeto es más que tener irritaciones sensoriales, significa adquirir ciertos estados internos (cognitivos) que requieren un proceso previo de aprendizaje para hacer discriminaciones “correctas”, cuya discriminación y categorización coinciden con las hechas por miembros de la práctica que tienen maestría en ella. Normalmente esto presupone una cultura, en el sentido defendido por Mosterín (1993), o sea como información socialmente transmitida por otros miembros de la misma práctica (a diferencia de la información genéticamente transmitida), y adquirida y asimilada por los nuevos miembros. Así, los procesos sociales de transmisión de información y de aprendizaje, son componentes básicos de una práctica.

Cuando se cumplen las condiciones de objetividad la discriminación del objeto dentro del medio se hace de una forma análoga a como lo hacen los demás miembros del grupo y por tanto hay la mejor garantía del éxito de acciones relativas al objeto u objetos en cuestión. Así, el conocimiento sólo es posible dentro de las prácticas cognitivas y en ellas las **normas metodológicas** surgen como necesarias a partir de las acciones requeridas para asegurarse de la autenticidad de las percepciones y de la objetividad de las creencias, distanciándose así del dogma de que la justificación de las creencias es una relación lingüística entre proposiciones. La justificación puede incluir tales relaciones, pero a un nivel más básico es una relación entre disposiciones a actuar y percepciones que involucran representaciones.

Todo proceso perceptual y cognitivo involucra discriminación (categorización), representación, y la posibilidad de acción, y todo esto es posible y puede realizarse en la medida en que esos procesos son significativos para los miembros de la práctica en cuestión. Significa que **la cognición está indisolublemente ligada a la resolución de problemas prácticos y presupone capacidades comunes a todos los miembros de una práctica**. Todos ellos aprenden y desarrollan estrategias que les permiten arreglárselas con su medio. Bajo una perspectiva naturalizada, **las normas epistémicas tienen su origen en los procedimientos y acciones** que los agentes miembros de una práctica deben realizar para saber que una determinada representación lo es de un objeto o situación en el mundo que da lugar a una creencia objetiva. Esto es lo que justifica su creencia en cierto estado de cosas en el mundo, es decir, su disposición a actuar como si ese estado de cosas en el mundo realmente existiera.

Como las condiciones materiales y sociales en que se constituyen los medios varían enormemente, las representaciones, las normas y los valores que forman parte de una práctica adecuada a un medio, tanto como los objetos relativos a esa práctica, difieren de las que constituyen otras prácticas adecuadas en distintas situaciones. Esta sería, por tanto, la principal explicación de la diversidad axiológica de las prácticas cognitivas humanas.

## Sobre el significado y comprensión de las normas y los valores en las prácticas científicas

La estructura axiológica de las prácticas no está formada por normas cuyo significado es unívoco y transparente para todos los miembros de la práctica en cuestión, y que debería serlo también para cualquiera ajeno a la práctica siempre que “aprehenda correctamente” el sentido de tales normas. A diferencia de la idea mertoniana de que las normas tienen un significado claro, susceptible de ser comprendido correcta o incorrectamente por los miembros de la comunidad científica, debemos establecer que ninguno de los términos que normalmente usamos para referirnos a los valores en la ciencia tienen un significado intrínseco o absoluto. Todos ellos adquieren un significado dentro de contextos pragmáticos de acción y evaluación, donde se llevan a cabo y se desarrollan las prácticas humanas. El significado de cada término de evaluación se determina cuando es aplicado por los científicos de carne y hueso, quienes tienen intereses, emociones, pasiones, creencias y principios.

Puesto que no hay ningún significado absoluto para cada valor en la ciencia, lo que importa es que en cada contexto pragmático los miembros de una práctica acuerden qué es lo valioso para ellos, y acuerden si en un determinado contexto, cierto valor específico se satisface o no. Cómo determinar eso se establece en la estructura axiológica de una práctica, y es lo que aprenden los nuevos miembros que son entrenados para incorporarse a ella. Por eso requerimos del entrenamiento y el aprendizaje con quienes ya han dominado hasta cierto punto una práctica.

Si nuestros objetos de análisis son las prácticas de grupos particulares en contextos específicos, entonces es más claro que los valores que guían la investigación de un grupo, y otras acciones científicamente relevantes, pueden ser substancialmente diferentes de los valores que guían las acciones de otro grupo. Precisamente porque **los valores tienen significado sólo en relación con las prácticas específicas en donde se aplican**, podemos comprender por qué los valores que guían a ciertos grupos son diferentes de los que guían a otros, pues los valores se conforman dentro de cada práctica específica y cada una a la vez está condicionada por el contexto de intereses donde se desarrolla. Por ejemplo, no son lo mismo las prácticas de los biotecnólogos al servicio de empresas internacionales, donde la búsqueda de ganancias es un valor central, y donde por consiguiente el secreto científico y hasta el plagio pueden ser valiosos, a grupos de biotecnólogos al servicio de instituciones públicas de investigación, para quienes lo valioso puede ser la publicidad del conocimiento para ofrecer al resto de la sociedad bases confiables sobre las cuales tomar medidas digamos acerca de la bioseguridad (transgénicos, armas biológicas), y donde por tanto el secreto sería un disvalor.

A modo de **conclusión**, El concepto de práctica es un concepto pluralista. Entre la amplia variedad de prácticas sociales se encuentran las cognitivas, y las científicas en particular, cada una de ellas con su propia estructura axiológica. Que las prácticas cognitivas sean muy diversas e incluyan distintos sistemas axiológicos correctos no debería sorprender, hay muchas maneras en las que los seres humanos actúan sobre, e interactúan con el medio, y muchas de esas maneras han sido exitosas en permitir la supervivencia de los grupos humanos. De la misma manera en que diferentes teorías y enfoques en las disciplinas científicas pueden ser útiles según el objeto de estudio y el problema en cuestión, igualmente en la metaciencia la fecundidad de un enfoque determinado dependerá del problema de que se trate. Puede ser el caso que el concepto de “práctica” sea limitado y pobre en relación con muchos problemas, pero el pluralismo axiológico es un hecho y conviene entenderlo.

## Ineliminabilidad de los valores (\*)

Cuando nos planteamos que las acciones que guían la actividad científicas son las mejores, cabe cuestionarse “¿*mejor para quien?*”. Aquí entran en juego los valores, que no se pueden ignorar y eliminar en el proceder de la ciencia, por lo que siempre se darán una serie de sesgos condicionados por dichos valores. Al plantearnos esta cuestión, ¿no damos por sentado que la ciencia es el modo correcto de plantearse estas preguntas?. La respuesta puede efectuarse de un modo más cuidadosa: no se trata, desde el punto de vista del naturalismo, de que exista una especie de esencia platónica de en qué consiste la ciencia y de que los diversos modos de conocimiento (religión, poesía, filosofía) son más o menos científicos en la medida en que se aproximen a esa idea de la ciencia. Se trata más bien de que, si partimos de los valores que cada uno tenemos, y entre esos valores está el de adquirir conocimientos, entonces habrá procesos que nos garanticen en mayor medida obtener conocimientos que nos parezcan más correctos.

- Los valores son **algo inevitable** (¿es bueno este artículo? ¿Es válido este descubrimiento?)
- Pero los valores siempre **son de alguien**: algunos valoran obtener conocimiento a cualquier coste; otros valoran mejorar la situación de la humanidad; otros valoran obtener el mayor beneficio posible para su empresa; otros valoran obtener mayor poder en su comunidad...
- Valores en **conflicto**: Ejemplos:
  - Querer mejorar a la humanidad pero entender de forma distinta este objetivo (enfoques pro-capitalista vs. Decrecentista (ejemplo: “*Petrocaplipsis*”, de Antonio Turiel).
  - Investigación con células madre: La opinión o juicio moral al respecto dependerá de la concepción que se tenga de la naturaleza humana, es decir, qué se considere que es un ser humano y cuándo comienza a serlo. La respuesta a esta cuestión, inicialmente más metafísica o religiosa que científica, determinará el tipo de investigación permitida y pondrá en relieve cómo en cuestiones de índole científica hay criterios considerados externos a la propia ciencia que influyen en la misma.

Las diferentes maneras de responder a estas preguntas afectan a estos valores que son de personas y grupos concretos con intereses distintos. Y puesto que no pueden ser eliminados, han de ser siempre tenidos en cuenta pensando en su relevancia dentro del nodo de los fines que Laudan refleja en su modelo reticular, influyendo así tanto en la teorías como en los métodos. No es que primero esté definida la ciencia y luego los procesos de la ciencia, sino que vamos usando procesos y los que al final resultan más difíciles de rebatir a esos los solemos llamar conocimientos o métodos científicos. Pero qué métodos son científicos es algo que cambia a lo largo de la historia (se van abandonando unos y surgiendo otros, se van perfeccionando, etc.) con el criterio de encontrar respuestas contrastables y estables cuando son sometidos a crítica. Si un método no nos lleva a eso tendemos a eliminarlo (véase el proceso evolutivo de racionalidad científica de Laudan, que interrelaciona teorías-fines-métodos).

## Controversias científicas y valores

Las controversias científicas son momentos claves en el análisis de los procesos de dinámica científica. En éstas se han identificado claramente dos tipos de valores: los epistémicos y los no-epistémicos (de tipo moral y religioso). Los jueces de la polémica no sólo son los propios colegas de profesión, sino que diferentes agentes externos a la propia actividad científica toman partido y emiten juicios acerca de lo que está bien y lo que está mal. Esta heterogeneidad de agentes implicados en la controversia refleja las relaciones entre ciencia y sociedad, en las que los productos de la ciencia inciden en la realidad social y viceversa.

## Valores en la ciencia

Tradicionalmente se ha pensado que la ciencia se ocupaba de los hechos y por tanto era comprobable epistemológicamente. Los valores, por su parte, no se consideraban objetivos pues no podían remitir a la evidencia empírica.

Los positivistas lógicos trazaron una férrea línea divisoria entre ciencia y valores. La ciencia se regulaba por una lógica autónoma y objetiva aislada de cualquier condicionante externo. Los valores, por su parte, al ser subjetivos, no tenían nada que aportar ni a la ciencia ni al científico, ya que eran ajenos a ambos. Como apunta Carl Hempel:

*“Si no existe independencia de valores, la objetividad de la ciencia está en peligro”.*

Esta ciencia objetiva y neutral sólo podía realizarse dentro de la autonomía científica, al darse sin ningún condicionante externo que contaminase dicha objetividad, que se obtenía mediante la observación de los hechos empíricos. La autonomía de los científicos era esencial para que dicha actividad se realizase de forma satisfactoria. La relación entre ciencia básica y autonomía era estrecha, basada en un punto de vista de la ciencia internalista y positivista. Sólo siendo los científicos autónomos y libres de constreñimientos se conseguía una ciencia objetiva libre de valores.

A partir de la Segunda Guerra Mundial, en particular con el advenimiento de la **Big Science** y la aparición a finales de los 60 de los estudios **CTS** (Ciencia, Tecnología, Sociedad), se replantea y cuestiona la neutralidad científica, que no parece ser ni tan pura ni autónoma como presuponían los neopositivistas (y la comunidad científica en general).

## Valores epistémicos en la práctica científica

Los propios de la actividad científica, y guían el buen proceder científico a la vez que son objetivos, pues lo que el científico obtiene tras su aplicación es un conocimiento objetivo y racional. Los valores epistémicos son el caparazón que repele las influencias externas (entre ellas cualquier otro valor no epistémico o contextual), garantizando la integridad de los productos de la ciencia.

El *ethos* de la ciencia según Merton, comprendía un conjunto de valores considerados obligado para el hombre de ciencia a fin de garantizar la autonomía de la ciencia:

*“El ethos de la ciencia es ese complejo de valores y normas afectivamente templados que se consideran obligatorios para el hombre de ciencia. Las normas se expresan en formas de prescripciones, proscripciones, preferencias y autorizaciones. Se legitiman en relación a los valores constitucionales. Estos imperativos, transmitidos por el precepto y el ejemplo y reforzados por sanciones son interiorizados en grados variables por el científico, formando así su conciencia científica.”*

Comunalismo, Universalismo, Desinterés, Originalidad y Escepticismo (~*CUDOS*), eran las normas o valores por los que todo buen científico debía guiarse, donde por primera vez se asumía que la ciencia no era sólo conocimiento y metodología sino también valores y normas de conducta interna e intersubjetivas, valores (los epistémicos) que Kuhn subrayó de importancia ante la elección de teorías (predicción, coherencia interna y externa, fertilidad, poder unificador y simplicidad), y cuya puesta en práctica dependería de la praxis del científico, existiendo aún así una cierta diferenciación entre estos valores epistémicos de la ciencia y los valores sociales y contextuales en principio externos a ella.

No obstante, parece que tanto con las normas mertonianas como con los valores kuhnianos así como el uso del concepto de “investigación básica” no ejemplifican realmente lo que los científicos hacen en sus investigaciones, pues los usan de modo flexible y adecuándose a su propia conveniencia, haciéndose así complicado sostener que sólo los valores objetivos ejercen una influencia en la ciencia.

## Valores contextuales en ciencia

Los cambios sufridos en la ciencia acotaban cada vez más la concepción de la misma como neutra, objetiva y libre de valores. Admitir los valores legítimos o epistémicos sirvió a los científicos de coraza para repeler cualquier ataque que los acusara de dejarse llevar por algo ajeno a la propia indagación científica. No obstante, con el advenimiento de la ciencia realizada a gran escala, la presión por los fondos (que invertían en ciencia) puso al descubierto intereses aparentemente exógenos a la propia ciencia y que sin embargo la determinaban.

Desde la sociología de la ciencia se trató comprender y poner de relieve dichas influencias, dando inicio a las “science wars”, donde filósofos y científicos emprendieron la cruzada de desenmascarar a pseudocientíficos y antirracionales (los relativistas), para restaurar la confianza en la ciencia, en sus métodos objetivos y, por supuesto, en su neutralidad valorativa. Como señala Cutcliffe:

*“Muchos científicos se aferran al ideal tradicional de un conocimiento objetivo basado en la razón y la evidencia empírica. Para estos, las afirmaciones relativistas de que el conocimiento científico es construido socialmente y de que, según las interpretaciones más extremas, no se encuentra en una naturaleza objetiva y autónoma, sino que es el resultado de un conjunto de convicciones elaboradas histórica y culturalmente, son profundamente inquietantes, sino amenazadoras.”*

Se logra comprender que en ocasiones los científicos estaban influenciados por valores ilegítimos o externos a la buena ciencia, lo que pone de manifiesto que son valores no de los científicos (como los epistémicos, que les son propios), sino ajenos a ellos y que los “contaminaban” enturbiando lo que sería una buena praxis. Ahora bien, en esta relación ciencia/sociedad, ¿es posible que las prácticas científicas afecten a los valores contextuales?. Es decir, ¿socava la ciencia algunos de nuestros valores o creencias más profundas?

Robert Graham (1981) investiga cómo la ciencia puede influir en ellos:

*“En el siglo XX, ¿cuál fue el impacto fundamental de la ciencia sobre los valores? (...) El primero, que tuvo lugar en las décadas iniciales del siglo, se desarrolló originalmente en el campo de la física. Esta transformación, que yo llamo epistemológica, asomó desde la física de la relatividad y la mecánica cuántica, ramas de la ciencia en las que los nuevos descubrimientos estaban causando un escisión dramática con los supuestos del siglo XIX sobre la materialidad del mundo, la significación que tenían espacio y tiempo como contornos absolutos dentro de los cuales ocurrían los hechos naturales, y el determinismo como una visión del mundo. Muchos escritores intentaron demostrar la importancia de esos eventos en la ciencia para favorecer la relación entre ciencia y valores sociopolíticos.*

Hubo otro gran cambio provocado por los descubrimientos en biología, transformación que denomina “ética” y que tiene que ver con nuestras concepciones acerca de lo que somos y cuándo comenzamos a serlo. Los nuevos avances de la biotecnología están socavando nuestras creencias más profundas de lo que es la vida y el significado que hasta ahora le hemos otorgado:

*“De la misma manera que a principios del siglo XX conceptos como ‘causalidad’, ‘espacio’ y ‘tiempo’ tuvieron que ser radicalmente redefinidos tras los avances de la física cuántica y del modelo relativista de Einstein, creo que hoy en día estamos enfrentando un cambio de paradigma parecido. Nociones como ‘individual’, ‘natural’, ‘familia’, ‘ser humano’, ‘vida’ y ‘normal’, por mencionar algunos casos, han sido radicalmente modificados por los ímpetus de las biotecnologías; algunas de ellas hasta afectaron a nuestra sociedad desde una perspectiva legal.*

La ciencia actual exporta valores a la cultura y pone otros en cuestión, introduciendo nuevos problemas que no puede resolver. Sin embargo, los valores no epistémicos también juegan un papel en la ciencia, pero no como algo ajeno a la misma, sino desde adentro, desde los propios

científicos en su práctica diaria. De esta manera, valores no epistémicos determinan la actuación de los científicos, como, por ejemplo, en el tipo de investigación a seguir, suplantando o sustituyendo a los propios valores epistémicos. Este hecho es más sensible de ocurrir en momentos donde no existe la suficiente información o cuando ésta no está estandarizada: los momentos de controversia científica.

## Neuroética

Lo ético no acompaña a lo científico, sino que lo vertebra y permite apuntar hacia algo, creando intencionalidad en el conocimiento. Al mismo tiempo, valores no epistemológicos de tipo metafísico (morales, religiosos) se encuentran profundamente anclados en los procesos neuronales necesarios para desarrollar decisiones racionales. Adina Roskies clasifica la neuroética en dos cuestiones separadas pero independientes entre ellas:

- **Ética de la neurociencia.** Dicha ética se ocuparía de elucidar cuestiones acerca de las nuevas respuestas ofrecidas gracias a la investigación del cerebro humano y sus enfermedades neurológicas. Nos referimos a una ética de la práctica. Relacionada con esta ética de la práctica se encuentran cuáles serían los posibles efectos del avance del entendimiento de las funciones cerebrales en la filosofía moral y social. Nos encontramos con las posibles implicaciones éticas de la neurociencia.
- **Neurociencia de la ética.** Es decir, el acercamiento científico para entender el comportamiento ético o búsqueda neurocientífica del pensamiento ético e interacciones sociales.

Gracias a técnicas como el *fMRI*, las regiones cerebrales asociadas a eventos mentales pueden ser estudiadas no invasivamente, permitiendo en consecuencia la investigación de funciones complejas de nuestro discernimiento, como por ejemplo la formación de juicios y elecciones racionales y morales. Según Patricia Churchland (2006), nuestras creencias religiosas, nuestro comportamiento o la capacidad de contemplar valores morales son producto de nuestro cerebro:

*"A medida que entendemos más acerca de los sistemas regulatorios del cerebro y acerca de cómo emergen las decisiones en las redes neuronales, es cada vez más evidente que en nuestra neurobiología residen estándares morales, prácticas y políticas. A medida que aprendemos más acerca del desarrollo neuronal, la evolución de los sistemas nerviosos y de cómo nuestros genes son regulados, se ha hecho evidente que nuestra neurobiología está profundamente delineada por nuestra historia evolutiva. Nuestra naturaleza moral es lo que es porque nuestros cerebros son lo que son."*

Por tanto, los juicios morales de los seres humanos no son un producto de procesos supernaturales o fruto de una razón pura, sino que son producto de nuestro cerebro y son, a menudo, una cuestión intuitiva y emocional.

Ejemplo: el dilema de la vagoneta (en ambos casos se ofrece como alternativa el sacrificar a 1 en vez de a 5, pero las implicaciones de la acción a tomar son muy diferentes):

- opción A) se va en la vía donde hay 5 personas atadas, pero puede pulsarse un botón para cambiar a la vía en la que sólo hay una persona atada
- opción B) sólo hay una vía con 5 personas atadas, pero puede arrojar a alguien delante de la vagoneta para que ésta se frene.

La emoción juega un papel esencial en los juicios morales que las personas hacemos. La diferencia entre el primer caso y el segundo se relaciona con la emoción que sentimos en cada uno, donde las áreas cerebrales relacionadas con la emoción son más activas durante la contemplación de dilemas más cercanos y personales, emocionales ("lanzar a la persona"), que en los menos cercanos e impersonales ("pulsar el botón"). Ante la perspectiva de los valores en ciencia, se dan las siguientes cuestiones de especial interés:



- Respecto a los valores y referente a los juicios morales, los investigadores, como el resto de humanos, continuamente hacen juicios y, contrario a lo que la filosofía positivista y la filosofía analítica proclaman (que los científicos actúan en consonancia a valores epistémicos y anclados a la práctica diaria de su práctica científica) también actúan influidos por sus emociones. Ante casos controvertidos, lo que para unos es un dilema moral personal, para otros es un dilema impersonal según el componente afectivo que cada uno vierte en tal cuestión. La emoción es la que está modulando los razonamientos acerca de la moralidad de tales investigaciones y está fuertemente asociada a situaciones en las cuales nos imaginamos a nosotros personalmente implicados. Tal es la estrategia que siguen ambos bandos de la controversia.

*Ejemplo:* (embriones y células madre) Un bando pide que nos identifiquemos con los embriones puesto que “todos lo fuimos algún día”. Por el contrario, la facción opuesta demanda que nos identifiquemos con la gente enferma que puede ser beneficiaria potencial de tales descubrimientos. El bando al que nos adscribamos puede estar relacionado, por ejemplo, con la religión personal de cada uno, que determina el tipo de respuesta y la emoción que debemos sentir en cada caso.

- Lo más importante que la neurociencia puede ofrecer a la neuroética es entender cómo el cerebro forma creencias y juicios morales y cómo afectan éstos a nuestra vida cotidiana. Esto es especialmente revelador en la dinámica científica, al derrumbarse la idea de que la ciencia es objetiva y neutral, puesto que las emociones de los científicos (como las de todos los seres humanos) están jugando un papel determinante en las distintas controversias en ciencia, modulando sus juicios al respecto.

## Conclusiones

No debería tratarse a los valores morales como no epistémicos o ajenos a la ciencia, sino como inherentes a ellas, puesto que actúan en el centro mismo de la toma de decisiones de los seres humanos. Asimismo, la neurociencia y la ciencia cognitiva avanzan cada vez más en el estudio de por qué pensamos de una determinada forma. Esto puede arrojar luz acerca de los posibles prejuicios que pueden surgir a la hora de formular juicios de cualquier tipo como, por ejemplo, los juicios científicos. Afirma Pronin:

*“Las percepciones de la gente pueden estar sesgadas por sus creencias, sus expectativas y los contextos en que viven, así como por sus necesidades, motivos y aspiraciones. Estas desviaciones tienen importantes consecuencias. Pueden comprometer la calidad de los juicios y las tomas de decisiones, causar malos entendidos y conflictos.”*

Por tanto, **la ciencia no está libre de valores ni proporciona un único modelo de objetividad**. Por un lado, existen valores propios de la actividad científica o epistémicos que guían lo que sería la buena práctica científica. No obstante, valores no epistémicos o contextuales se cuelan a través de los valores puramente científicos. Finalmente, algunos valores considerados inicialmente como no-epistémicos (como los metafísicos, los valores alejados del corazón de la toma racional de decisiones) se muestran ahora necesarios y consustanciales a la propia racionalidad científica.

A su vez, la ciencia exporta valores a la cultura y cuestiona así valores establecidos en la sociedad. No se debe olvidar que la ciencia está enclavada en la cultura que la posibilita, como señaló Merton, y en ella están radicados los científicos.

En cierto modo las decisiones racionales se amparan cognitivamente en elementos emocionales que pueden explicarse bajo los últimos avances en neuroética, lo que posibilitaría comprender la complejidad del debate en momentos de controversias, bajo la luz de las directrices impuestas por

los valores metafísicos concebidos por los científicos. Ello no nos debería conducir a la aceptación irreflexiva, acrítica y automática de valores metafísicos como guía de la actividad científica, lo que parecería ser una falacia de tipo naturalista. Sabemos que los procesos racionales requieren de emociones y que valores tradicionalmente considerados como no-epistémicos residen en el corazón de la racionalidad, lo que nos permite entender mejor cómo conocemos el mundo; sin embargo, esto no nos aboca al plegamiento unilateral hacia determinados enfoques metafísicos. La anomalía del anterior modelo no debe convertirse en sesgo en el nuevo, sino en un hecho estable a considerar bajo una nueva perspectiva.

## **Conclusiones generales**

1. Algunas de nuestras capacidades cognitivas naturales son bastante eficientes en descubrirnos “verdades”.
2. La Filosofía de la Ciencia sería esa “ciencia de la ciencia” que busca explicar cómo funcionan dichas capacidades y trata de que funcionen lo mejor posible.
3. Valores, fines, métodos y teorías se interrelacionan de forma constante (modelo reticular de justificación de Laudan).



# Filosofía de la física

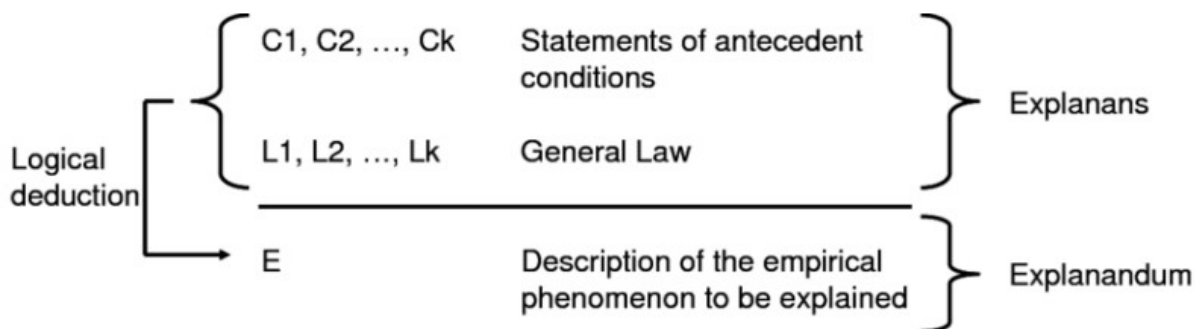
## La Física como modelo en Filosofía de la Ciencia

La Física ha sido un modelo fundamental a través del cual, no sólo la Filosofía de la Ciencia, sino el propio ideal de ciencia ha sido concebido y estructurado durante muchos períodos de la historia como la disciplina fundamental.

- **Ambición reduccionista en Filosofía de la Ciencia:** En el siglo XX, desde los orígenes neopositivistas de la Filosofía de la Ciencia hasta los años 80, prácticamente todo se encuentra supeditado al estudio de teorías físicas, quedando a un margen los estudios fuertes en otras disciplinas como en la biología o las ciencias sociales.
- Esta visión se debe a que la Física ha sido la disciplina con mayor éxito experimental, predictivo y explicativo que hemos inventado los humanos, lo que justificaría su uso por parte de filósofos como Hempel, Oppenheim o Popper en sus **modelos de explicación**.
- Para este modelo era fundamental el **concepto de ley** a la hora de establecer generalizaciones, que desde el punto de vista de la concepción heredada eran consideradas como universales y generalizables a cualquier fenómeno, siendo las leyes físicas el ejemplo idóneo para tales afirmaciones.
- Es precisamente esta consideración en la que se basaba el modelo de explicación neopositivista, el **modelo nomológico-deductivo**, que pretendía subsumir la ocurrencia del hecho o regularidad a explicar (el *explanandum*) bajo el poder de explicación universal de la ley o leyes generales consideradas en conjunción con una serie de condiciones o antecedentes dados (el *explanans*).

Ejemplo: ¿por qué se mueven los planetas con órbitas elípticas? (Explanandum)

Porque dadas las posiciones y masas de los planetas en un instante dado (condiciones iniciales) junto a la ley de la gravitación universal de Newton (ley general) se puede demostrar dichas trayectorias elípticas.



Esta capacidad de la Física de ser utilizada para explicar entender cómo es y por qué ocurren de determinada manera los fenómenos experimentados en el mundo lo que la han hecho ser considerada una disciplina de tal relevancia.

## ¿Puede la ciencia explicarlo todo? (\*)

En el campo de la investigación científica podemos hablar de diversas clases de preguntas:

- **Prácticas:** procuramos mejorar nuestra capacidad de adaptación al entorno, o nuestras posibilidades de acción o de elección (*Ejemplo:* ¿Cómo evitar la recesión?, ¿Qué utilidad tiene esta propiedad que acabamos de descubrir en los superconductores?).
- **Descriptivas:** cuyo propósito es averiguar cómo es el mundo que nos rodea, describirlo (*Ejemplo:* ¿Cuál era la disposición de los continentes hace 1000 millones de años?, ¿hay algún elemento estable con un número atómico mayor que 120?).
- **Preguntas que buscan explicar los hechos, entenderlos:** tipo de preguntas que guían la investigación científica y se centran en un por qué (*Ejemplo:* ¿Por qué las cenizas pesan más que la madera que hemos quemado?, ¿Por qué heredan los nietos algunos rasgos de sus abuelos, cuando esos rasgos no estaban presentes en los padres?).

Por desgracia, no parece que esté demasiado claro en qué consiste eso de “explicar”, qué hacemos exactamente con las cosas al entenderlas y, sobre todo, por qué son tan importantes para nosotros los porqués, qué ganamos con ellos que no pudiéramos obtener tan solo con respuestas a las dos primeras clases de preguntas.

En la noción de explicación se mezclan de manera intrigante aspectos objetivos y subjetivos. Al fin y al cabo, comprender algo es un suceso psicológico, algo que ocurre en la mente de alguien. En cambio, cuando intentamos dar una explicación de un hecho, solemos acudir a diversas propiedades del hecho en cuestión. Las principales teorías que ofrece la filosofía de la ciencia sobre la naturaleza de las explicaciones se centran, precisamente, en los aspectos objetivos. Por ejemplo, se considera que un hecho ha sido explicado cuando se ha deducido a partir de leyes científicas (Hempel), cuando se ha ofrecido una descripción apropiada de su historia causal (Salmon) o cuando se muestra como un caso particular de leyes más generales, que abarcan muchos otros casos en apariencia diferentes (Kitcher). También se considera que algunos hechos -sobre todo en biología- son explicados cuando se pone de manifiesto su función o cuando -en las ciencias humanas- se ponen en conexión con las intenciones o los valores de los agentes implicados. Hablamos en estos dos casos de “explicación funcional” y “explicación teleológica”, respectivamente.

¿Por qué pensamos que entendemos un fenómeno precisamente cuando conocemos sus causas o su relación con otros fenómenos aparentemente distintos, más que cuando conocemos su duración, localización, posible usos o cualquiera otra de sus propiedades?:

- Una posible respuesta, tradicionalmente asociada al pensamiento de Aristóteles, sería la que identifica el significado de “comprender” con **“conocer las causas”**; sin embargo, ello da la impresión de ser poco más que un juego de palabras.
- Otra posibilidad consistiría en concebir nuestros conocimientos no como una mera enciclopedia o pirámide, en la que cada pieza se va acumulando a las demás, sino como una **red de inferencias**, en la que el valor de cada ítem depende de lo útil que sea para llevarnos a más conocimientos cuando se combina con otros ítems. A veces conseguimos añadir a nuestros conocimientos una pieza que produce un resultado especialmente feliz: *gracias a ella los enlaces inferenciales se multiplican y a la vez se simplifican, haciéndonos más fácil el manejo de la red*. Es decir, entendemos algo tanto mejor cuanto más capaces somos de razonar sobre ello de manera sencilla y fructífera.

Esto nos lleva a señalar que **los conceptos de explicación y comprensión no son absolutos**, pues siempre cabe la posibilidad de que algo que ya hemos explicado lo expliquemos con mayor profun-

didad o de manera más satisfactoria. Resulta obvio cuando al explicar por qué ciertas cosas son como son, tenemos que utilizar a modo de premisa alguna otra descripción. Para dar cuenta de las órbitas según las leyes de Kepler empleamos como premisa la ley newtoniana de atracción los cuerpos. Para explicar algo necesitamos siempre alguna descripción “explicadora”, que, a su vez, podrá ser explicada por otra. La teoría general de la relatividad explica por qué los cuerpos obedecen con gran aproximación la ley de la gravedad. Una consecuencia de este hecho trivial es que **nunca será posible explicarlo todo**.

Por tanto, para explicar científicamente cualquier fenómeno o peculiaridad del universo recurrimos a leyes, modelos, principios, que son afirmaciones que dicen que el mundo es *así o asá*, en vez de ser de otra manera. Imaginemos que ya hubiéramos descubierto todas las leyes, modelos o principios científicamente relevantes que haya por descubrir:

*Llamemos T a la combinación de esa totalidad ideal de nuestro conocimiento sobre el mundo y preguntémonos “¿Por qué el mundo es como dice T, en lugar de ser de cualquier otra manera lógicamente posible?”. Obviamente, la respuesta no puede estar contenida en T, pues ninguna descripción se explica a sí misma. Por tanto, o bien deberíamos hallar alguna nueva ley, modelo o principio, X, que explicase por qué el mundo es como dice T, o bien hemos de reconocer que no es posible para nosotros hallar una explicación de T. Pero lo primero contradice nuestra hipótesis de que T contenía todas las leyes y principios relevantes para explicar el universo; así que debemos concluir que explicar T (la totalidad de las leyes de la naturaleza) está necesariamente fuera de nuestro alcance.*

Cabe plantearse dos reacciones posibles ante tal situación:

- **Universo inexplicable:** resulta trivial si se entiende en el sentido de que no puede haber una teoría científica que lo explique todo, pero también banal en cuanto que explicar no es una cuestión de todo o nada, sino de más o menos. Lo importante es en qué medida hemos conseguido comprender el universo o sus diversas peculiaridades, no si lo hemos comprendido en su totalidad. La pregunta adecuada es “*en qué grado*” hemos conseguido simplificar e interconectar un conjunto cada vez más amplio y variado de conocimientos, no si los hemos reducido a la más absoluta simplicidad.
- **La explicación última del cosmos no puede ser científica:** la idea de una explicación extra-científica es meramente un sueño. Que algo constituya una explicación debe permitirnos deducir aquello que queremos explicar: las leyes de Newton explican las de Kepler porque estas pueden ser calculadas a partir de aquellas. Como ha aclarado Richard Dawkins, la información que queremos explicar debe hallarse contenida en la teoría con la que la explicamos; por tanto, una teoría que explique un gran número de cosas debe contener gran cantidad de información, debe ser en realidad una descripción muy detallada (y a la vez muy abstracta) del funcionamiento del universo. Por ejemplo, los defensores de la teoría del “*diseño inteligente*” cometen justo este tipo de error al introducir la hipótesis de un designio divino, pues a partir de esa hipótesis resulta sencillamente imposible derivar los detalles de lo que queremos explicar, ni siquiera sus aspectos más generales.

Dicho de otra manera, los *porqués* no son en realidad una categoría separada de los *cómos*, sino más bien una clase de estos: corresponden a los *cómos* que nos ayudan a simplificar y ampliar nuestros conocimientos. Por tanto, ninguna hipótesis merece ser llamada explicación si no permite responder, al menos en algún aspecto relevante, a la pregunta “*¿Cómo ha ocurrido esto?*”. Nadie sabe si existen realidades que la ciencia no podrá nunca conocer. Lo que sí sabemos es que estas realidades, en caso de que existan, nunca nos permitirán explicar nada.

## Realismo y Física (\*)

La tesis principal del realismo es que la Física no sólo nos permite descubrir y predecir lo que hay en el mundo, sino que además nos permite explicar eso que hay en el mundo. Esta idea, que es fundacional de la Física, ya se encuentra presente desde Aristóteles, y que refleja de esta manera Newton en su programa para la Royal Society.

*“La Filosofía Natural [Física] consiste en descubrir el marco y las operaciones de la Naturaleza, y reducirlas estas, tanto como se pueda, a Reglas y Leyes generales, estableciendo dichas reglas mediante observaciones y experimentos, y de ellas deducir las causas y efectos de las cosas”.*

— Isaac Newton, Programa para la Royal Society, 1703.

No sólo se busca predecir lo que va a ocurrir, sino explicar lo que hay en la naturaleza, con el uso de una serie de leyes elaboradas y apoyadas a partir de observaciones experimentales.

Existen también contrarios a esta idea, que identifican la Física como mera herramienta instrumentalista y que nada dice de lo que exista o no en la realidad. Por ejemplo

- Andreas Osiander, quien en su prólogo para el *“De Revolutionibus Orbium Coelestium”* de Copérnico, identificaba el sistema planteado por éste como un mero instrumento matemático que para nada pretendiera explicar qué había en el mundo.
- Ernst Mach alegaba que la Física no debía distraerse en la búsqueda de la causas, sino sólo en establecer las relaciones matemáticas del mejor modo posible
- Algunos proponentes de la Mecánica Cuántica defendían que lo único que se busca es hacer cálculos y predicciones, reflejado en el alegato de *“¡Calla y calcula!”*.

Por su parte, desde la concepción heredada se considera que la Física investiga cómo está compuesto y funciona realmente el mundo y establece leyes desde la experimentación y contrastación empírica; siendo la tarea de la Física no sólo la de predecir sino explicar cómo es el mundo.

## Diferentes tesis realistas

Se puede señalar que el realismo científico, en sus diferentes variantes, ha intentado responder fundamentalmente a la siguiente pregunta:

*¿Cuál es la relación que guardan nuestras teorías científicas y el mundo?*

A diferencia del realismo metafísico tradicional que trata de dilucidar la naturaleza ontológica del mundo, su carácter primario o independiente frente al espíritu o la mente, el realismo científico trata más bien de averiguar cuál es la mejor manera de interpretar las teorías científicas a la luz de los objetivos y los resultados alcanzados por la ciencia a lo largo de la historia.

Entre los diversos argumentos en su defensa, el realismo puede entenderse de muchas maneras

1. Realismo ontológico: considera que las entidades teóricas inobservables de las que hablan las teorías existen realmente (genes, electrones,...). A este realismo se opone tanto el instrumentalismo sobre entidades (las entidades teóricas son meros recursos predictivos) como el constructivismo social (las entidades teóricas son construidas socialmente).
2. Realismo epistemológico: es la forma más común de realismo. Las teorías científicas nos proporcionan un conocimiento adecuado, aunque perfectible, de la realidad tal como ésta es con independencia de nuestros procesos cognitivos. Es decir, no sólo nos dice que las teorías son verdaderas o falsas sino que además éstas permiten que nos vayamos aproximando a esa realidad. A lo largo de la historia vamos teniendo una sucesión de teorías sobre el mismo tema que nos dan cada vez una mejor descripción de esa realidad. A este

realismo se oponen el fenomenismo (las teorías científicas solo tratan de fenómenos observables) y el idealismo epistemológico (las teorías científicas versan sobre una realidad hecha por la mente).

3. **Realismo teórico:** tesis más filosófica que defiende que las teorías científicas son verdaderas o falsas. A él se opone el instrumentalismo teórico (las teorías científicas son instrumentos de cálculo, útiles o inútiles, empíricamente adecuadas o inadecuadas, pero no verdaderas o falsas).
4. **Realismo semántico:** añade al realismo teórico una cierta concepción sobre la naturaleza de la verdad ya que las teorías científicas son verdaderas o falsas en función de su correspondencia con los hechos, no en función de otros significados de la verdad. A este realismo se oponen el pragmatismo (la verdad o falsedad de las teorías han de entenderse en relación con las actividades cognitivas humanas), el coherentismo (la verdad o la falsedad no significa otra cosa que su coherencia con un sistema previamente aceptado de creencias o de teorías) y el relativismo (la verdad o la falsedad de las teorías son relativas a los contextos en los que éstas surgen).
5. **Realismo progresivo:** la ciencia progresa teniendo en cuenta la verdad. Las nuevas teorías contienen más verdad y/o menos falsedad que las anteriores. Frente a este realismo hay autores que sostienen que el progreso de la ciencia no puede ser establecido como un acercamiento creciente a la verdad.

Entre estas tesis realistas existen relaciones de orden que obligan a aceptar algunas si es que se aceptan otras determinadas. Así, el realismo epistemológico presupone el ontológico, ya que no tiene sentido creer que las teorías científicas nos proporcionan un conocimiento adecuado de la realidad y al mismo tiempo negar una referencia objetiva a todos los términos teóricos de cualquier teoría (sería incoherente sostener que la teoría de la relatividad nos dice algo sobre el modo en que realmente está constituido el Universo mientras que se niega la existencia real de referentes para términos como espacio-tiempo, masa, energía, etc.). Sin embargo, esta relación no se da a la inversa: el realismo ontológico no exige la aceptación del realismo epistemológico.

El realismo científico no es en sí una teoría científica sobre la ciencia, ya que versa sobre la mejor manera de interpretar nuestros conceptos y teorías científicas, que no es una cuestión empírica, aunque no carece de consecuencias empíricas de lo puedan presentar con mayor o menor plausibilidad. El estudio de cuestiones empíricas (como el tipo de procesos mentales que conducen a la elaboración de teorías, procedimientos institucionalizados o relativamente improvisados por los que los científicos consiguen el acuerdo sobre la aceptación de éstas, o la función de adaptación al medio que el conocimiento pueda cumplir) son, sin duda, pertinentes y relevantes en la evaluación de cualquier teoría epistemológica, aunque también es cierto que, al menos por el momento, **la idea de una epistemología completamente naturalizada**, esto es, convertida ella misma en una ciencia, **es sólo un proyecto incipiente**.

## Principales argumentos y tesis a favor del realismo:

- **Argumento del milagro de Putnam:** sería extraño que nuestras teorías hicieran tan buenas predicciones si no fueran aproximadamente verdaderas (con un grado de aproximación muy alto). Así lo formula Putnam:

*Si hay tales cosas (electrones, espacio-tiempo curvo, molécula de ADN... entonces una explicación natural del éxito de estas teorías es que son informes parcialmente verdaderos de su comportamiento. Una explicación natural del modo en que las teorías científicas se suceden unas a otras (por ejemplo, el modo en que la relatividad*

*einsteniana sucedió a la gravitación universal newtoniana) es que se remplaza una explicación parcialmente correcta/parcialmente incorrecta de un objeto teórico (digamos, el campo gravitatorio o la estructura métrica del espacio, o ambos) por una explicación mejor del mismo objeto u objetos. Pero si estos objetos no existen realmente, entonces es un milagro que una teoría que habla de acción gravitatoria a distancia prediga con éxito los fenómenos; es un milagro que una teoría que habla de espacio-tiempo curvo y prediga con éxito los fenómenos, y el hecho de que las leyes de la teoría anterior sean derivables “en el límite” de las leyes de la teoría posterior no tiene significación metodológica.*

Con este argumento puede relacionarse la “inferencia a la mejor explicación” (la abducción, bautizado así por Gilbert Harman) es el argumento más plausible con el que cuenta el realismo. Se trata de un tipo de inferencia abductiva que consiste en lo siguiente: dado un hecho concreto a explicar, si hay para él varias hipótesis explicativas posibles evidencialmente equivalentes, pero una de ellas es claramente la mejor en lo que se refiere a su poder explicativo, es decir, proporciona la explicación más probable, o más elegante, o más profunda, o más simple, o menos rebuscada, o que mejor coordinación da a los detalles, o más comprehensiva, o más coherente con las explicaciones anteriores,... entonces (en ausencia de otras circunstancias relevantes que pudieran modificar la decisión) debe aceptarse esa hipótesis en lugar de las otras.

- **Argumento de la manipulación de Ian Hacking** (se refiere más a las entidades que a las teorías): si hay entidades de las que hablan ciertas teorías científicas que podemos utilizar como instrumento para manipular otras cosas, entonces esas cosas que usamos como instrumentos no podemos negar que existen (manipular las moléculas de ADN). Cuando se logra manipular una entidad hasta ese momento hipotética, para interferir con ella en otras partes de la naturaleza, se estaría justificado en pensar que dicha entidad es real.
- **Argumento de la imposibilidad de distinguir lo observacional de lo teórico**: no podemos negar que las entidades observacionales existen porque las vemos y las entidades teóricas puede que no existan porque no las observamos pero, hay entidades que no está claro si son observables o inobservables (por ejemplo, cosas que no se ven a simple vista pero que si se ven con una lupa o un microscopio).

## Realismo y aproximación a la verdad

Si uno de los objetivos de la ciencia es permitirnos descubrir cómo es el mundo, parece que eso implica que deseamos que nuestras teorías sean verdaderas. La tesis más habitual entre los científicos y los filósofos de la ciencia es que la ciencia contemporánea nos ofrece un conocimiento bastante verdadero de cómo es la realidad.

La posición que se adopte sobre el problema de la verdad en la ciencia es independiente de la posición que se asuma con respecto al realismo ontológico y epistemológico. Esto ha sido argumentado ampliamente por Michael Devitt:

*“ninguna doctrina de la verdad es en modo alguno constitutivo de realismo”.*

En efecto, ninguna de las tres tesis realistas que incluyen el concepto de verdad (realismo teórico, realismo semántico y realismo progresivo) exige la previa aceptación del realismo ontológico y del epistemológico, que constituyen, por decirlo así, la base del realismo científico. Se puede, por tanto, ser antirrealista y defender que la verdad cumple un papel importante en la ciencia (tal es el caso de muchos pragmatistas). Mientras que, por otro lado, se puede ser un realista ontológico y epistemológico sin que ello determine el compromiso que pueda adquirirse con respecto a una determinada concepción de la verdad. De hecho, la independencia relativa entre los aspectos

ontológicos y epistemológicos del realismo y la creencia en que las teorías científicas pueden aproximarse a la verdad ha sido plasmada de forma concreta en la obra de algunos autores como Ian Hacking, Nancy Cartwright, Tom Harré y Ronald Giere. Todos ellos han defendido, con diferentes matices, un **realismo desligado del concepto de verdad**.

El realismo epistemológico dice que las teorías son cada vez mejores aproximaciones a la verdad en relación a la correspondencia con los hechos. El concepto de **aproximación a la verdad** como explicación de lo que significa el realismo científico, lo propuso Popper con el nombre de *Verosimilitud* ("truthlikeness"). No podemos mostrar que ninguna teoría científica sea verdadera, aunque podemos demostrar que sean falsas. Lo más seguro es que todas las teorías científicas interesantes sean falsas, pero algunas son "menos falsas" que otras, están más próximas a la verdad.

Popper dio una definición estricta, lógica de este concepto:

*"A es más verosímil que B si todas las consecuencias falsas de A también lo son de B, y todas las consecuencias verdaderas de B también lo son de A".*

Al cabo de unos años, algunos autores descubrieron que esta teoría era inaplicable porque dos teorías falsas no pueden estar en esa relación que define Popper, no puede ser que A sea más verosímil que B, mientras que otros autores intentaron restringir las consecuencias relevantes para definir esta noción de forma que mantenga la intuición de la verosimilitud.

Otras definiciones se basan en nociones de **aproximación en sentido matemático de predicciones cada vez más exactas**, probabilidad (la mayoría de predicciones son probabilísticas y la distribución de probabilidades cada vez acierta más), semejanza (las teorías cada vez son más parecidas a la realidad en algún sentido que no se recoja en los otros sentidos), etc.

## Realismo estructural

Muchos (tanto realistas como antirrealistas) consideran el realismo estructural como la mejor forma de defender el realismo.

- El realismo requiere de la creencia en entidades no observables postuladas por nuestras teorías más exitosas, lo que se sostiene principalmente sobre argumentos como el de los "no-milagros" de Putnam.
- Sin embargo, hay cierto escepticismo dada la **subdeterminación** (casos en que la evidencia disponible no es suficiente para la creencia que se quiere sostener ante cierta evidencia).
- Entre los principales argumentos contrarios se encuentra el de la **meta-inducción pesimista** (Laudan) que establece que al igual que se han abandonado como falsas las teorías del pasado, así también lo serán aquella que hoy defendemos como verdaderas.

El realismo estructural fue planteado por John Worrall (en 1989) como una solución de compromiso ante tales posturas de aceptación y rechazo hacia el realismo. Según Worrall no tendríamos que aceptar el realismo en toda su entidad (en especial en cuanto a la ontología de entidades inobservables, por muy bien descritas que estén por nuestras teorías). Pero tampoco ha de serse antirrealista, sino que hay que ser realistas estructurales y comprometernos epistémicamente con la estructura matemática contenida en nuestras teorías, pues es esta la que se mantiene durante el cambio de teorías (a las que se refiere Laudan) y que se mantiene (en gran parte) en las nuevas teorías que se consideran mejores. De este modo se puede mantener un punto de vista en el que nuestras teorías presentan cierta correspondencia con la realidad, asumiendo su más que segura revisión en algún momento y que dará lugar a una nueva teoría.

Desde el realismo estructural, un modo de resistir los envites de la meta-inducción pesimista de Laudan pasa por considerar las siguientes situaciones:



- **Teoría causal de la referencia:** considerar la cadena causal surgida desde la determinación del referente, que es lo que permanece a través del cambio teórico en el tiempo.
- **Restringir el realismo** a aquellas partes de las teorías que juegan un rol esencial en la derivación de nuevas predicciones observadas, para después discutir que aquellas partes de teorías previas que ya no son empleadas en realidad no eran esenciales para con la realidad que describían.

Ejemplo de esto puede ser el del término “éter”, cuyo uso puede asumirse que hacía referencia a lo que después se entendería como el campo electromagnético; o entender que de lo daban cuenta tanto Aristóteles como Newton con sus respectivas mecánicas celestes consistía en lo que luego Einstein ayudó a entender como el espacio-tiempo curvo.

Una postura realista fuerte no puede aceptar del todo esta flexibilidad, ya que en el fondo estaría dando pie a la tesis de Laudan al respecto de que las ontologías que postulaban las teorías del pasado eran todo menos precisas representaciones del mobiliario del mundo, pese a lo bueno de las predicciones que realizasen. La respuesta estructuralista ante este asunto es considerar que el significado metafísico de las teorías científicas exitosas consiste en dar descripciones correctas de la estructura del mundo, donde esta estructura puede capturarse con diferentes ontologías. Las teorías pueden ser tan diferentes que lleguen incluso a ser contrarias, aunque ambas representen la misma estructura de los fenómenos que estudian, como por ejemplo ocurría en la contraposición de la teoría del flogisto y de la combustión oxigenada (Lavoisier) a la hora de dar cuenta del mismo problema.

Hay numerosos ejemplos de continuidad matemática estructural en teorías que se suceden, lo que queda recogido dentro de lo que Bohr denominó como **principio de correspondencia** (que alude a diferentes formas de dar cuenta del mismo suceso, que no son necesariamente contrarias entre sí, sino complementarias) y según el cual los modelos de la mecánica cuántica deberían poder reducirse matemáticamente a modelos clásicos limitados a conjuntos grandes de partículas a partir del límite interpuesto por la constante de Planck (en relación con la acción del sistema). Hay muchos casos en cuántica donde los hamiltonianos que dan cuenta de la energía del sistema se asemejan a aquellos empleados en la mecánica clásica, pero en donde las clásicas emplean variables para referirse a la posición o momento, quedan en la cuántica sustituidos por operadores hermíticos

Existen dos variantes principales de realismo estructural. Epistemológico y ontológico.

### Realismo Estructural Epistemológico (ESR / REE)

El realismo estructural se entiende a veces como una visión de la teorías científicas que nos hablan sólo sobre la forma o estructura el mundo que no podemos observar, y no sobre su naturaleza. Esto deja abierta la cuestión sobre si la naturaleza de las cosas queda relegada a ser desconocida por alguna razón, o descartarse directamente. James Ladyman considera si el planteamiento de Worrall debiera considerarse como una modificación metafísica o epistemológica del realismo científico estándar, en la que sólo hemos de creer lo que las teorías nos dicen sobre las relaciones entre dichos elementos no observables, y suspender el juicio en lo que a su naturaleza se refiere, pudiendo entender esto a tres niveles:

- No podemos conocer los entidades que conforman la estructura del mundo, pero si sus propiedades y relaciones (conocer sus propiedades propias y para con otros)
- No podemos conocer los entidades ni propiedades intrínsecas no relacionales, pero si las propiedades en relaciones de primer orden (propiedades de la entidad con otras entidades)
- No podemos conocer las entidades y sus propiedades y relaciones directas con otros, pero si en un orden superior que conforma una estructura más general de la realidad. Esta



postura más extrema fue sostenida por Russell y Carnap, en tanto a que consideraban que la ciencia únicamente podía dar cuenta sobre las características lógicas del mundo, en una postura evidentemente neopositivista.

La mayoría de partidarios de esta postura de realismo estructural defienden la existencia de objetos y propiedades que son ontológicamente previos a cualquier relación estructural, siendo esta la que realmente puede ser conocida.

### Realismo estructural ontológico (OSR / REO)

El artículo de Worrall de 1989 no se limita a lo epistémico necesariamente, y algunas de sus puntualizaciones parecen ofrecer una interpretación diferente:

*A la vista del realismo estructural, lo que Newton realmente descubrió fueron las relaciones entre los fenómenos que quedaban expresadas en las ecuaciones matemáticas de su teoría*

Algunos filósofos de la física continúan en esta dirección, como Howard Stein que afirma:

*Nuestra ciencia se aproxima a la comprensión de "lo real" no en tanto que a sustancias y sus tipos, sino dando cuenta de la "forma" que los fenómenos "imitan" (entendiendo por forma las teorías estructurales, y por imitar aquello que representan)*

En consecuencia (y según Ladyman), el realismo estructural debería desarrollarse como una posición metafísica de acuerdo a la cual, y dada que la continuidad a través del cambio teórico se da en la "forma" o "estructura", el éxito de la ciencia debería ser considerado en términos de la representación de las relaciones modales entre fenómenos, y no en términos de continuidad en la referencia que alude a objetos y propiedades. Giere sugirió que la forma de este realismo estructural resulta de la conjunción del realismo modal con el empirismo constructivista para así dar lugar al realismo modal. La idea de **estructura modal** es central en el realismo estructural ontológico tanto en la obra de French, Ladyman, Ross y otros, y es una abstracción de la estructura causal y nomológica, e incluso para dar cuenta de la simetría entre predicción y explicación. La razón que se alude para que ciertas estructuras modales persistan a través del cambio teórico al igual que la verdad aproximada de las regularidades empíricas es que tanto las explicaciones y predicciones contrafácticas se mantienen también en un dominio limitado a través del cambio.

Los realistas estructurales ontológicos comentan la incompatibilidad entre lo que nos enseña la física actual y las vistas metafísicas sobre las relaciones ontológicas entre individuos, sus propiedades intrínsecas y sus relaciones. En general, el realismo estructural ontológico es aquella forma de realismo que incluye tesis ontológicas o metafísicas que incrementen la relevancia en cuanto a las relaciones y estructuras. Entre las diferentes variantes de este tipo que existen tenemos:

1. **Eliminativismo:** no hay individuos / entidades, pero hay relaciones estructurales. A diferencia del REE que admite que existen entidades pero que no podemos llegar a conocerlas, esta forma de REO niega la existencia de las mismas, y sólo deja sitio para las estructuras relacionales. La principal crítica que recibe es la de que no puede haber relaciones sin elementos que relacionar (*relata*). Sin embargo dichas relaciones podrían tener cabida ante los siguientes supuestos:
  - La idea de universales, donde las "formas" de que da cuenta el realismo estructural seguirían el planteamiento Platónico, y los *relata* de cada relación serían, a su vez, una nueva relación ("*relations all the way down*"), lo que nos abocaría igualmente a la existencia de algún *relata* fundamental, la cual para algunos autores no sería nada en concreto, pues sólo existiría una cosa: todo. (Esto quizá pueda entenderse si pensamos en los que algunos físicos defienden en tanto que a la existencia de campos cuánticos en lo más fundamental, que sería aquel "todo" del que emanan las relaciones, que es lo que después entenderíamos como quarks, bosones, electrones...)

- Otro modo de solventarlo es entender que no es que no necesite de *relata*, sino que estos no han de ser individuos. Sin embargo no hay consenso entre filósofos en cuanto a qué se entiende por individuo, objeto y entidad. Un modo de verlo es plantearse si los individuos son objetos que satisfacen algún criterio adicional (como tener entidad en el tiempo). Este punto presenta una falta de consenso importante.
2. **Particularismo:** Existen relaciones (o hechos relacionales) que no supervienen a las propiedades intrínsecas y espacio-temporales de sus *relata* (esto es lo que tendríamos en el caso de los estados entrelazados en mecánica cuántica en términos de relaciones fuertemente no supervinientes). Esta idea es contraria a la manera de pensar asentada al respecto de cómo piensan los filósofos, cuyas concepciones estructurales suelen basarse en la lógica de predicados y la teoría de conjuntos (concepción clásica desde Aristóteles a Leibniz). Así, las únicas relaciones que supervendrían serían aquellas espacio-temporales, pudiendo entenderse todo lo demás como individuos materiales con sus propiedades intrínsecas y resto de relaciones repartidos a través de dicha red espacio-temporal. French y Ladyman enfatizan que las relaciones no supervinientes implicadas por el entrelazamiento cuántico erradican la prioridad ontológica conferida al individuo en la mayoría de las metafísicas tradicionales, estando así al menos ciertas relaciones al mismo nivel ontológico que los individuos para los que son relaciones.
  3. **Objetos individuales sin naturaleza intrínseca:** los objetos de un mismo tipo serían cualitativamente idénticos (como suele referirse en ocasiones a las partículas fundamentales clásicas), y lo único que las diferencia serían sus atributos espacio-temporales, dando pie así a lo postulado por el principio de identidad de los indiscernibles (si dos objetos son tienen todas sus propiedades en común entonces son idénticos). Esto entra en conflicto en casos cuánticos donde, por ejemplo, se asocia a un par de electrones una relación inversa para sus espines, sin que se de un valor específico para uno de ellos en particular. Sabemos que  $S_1 = -S_2$ , pero el valor concreto de cada uno de ellos por separado, lo que violaría el principio de indiscernibilidad. Este dilema llevó a French y Redhead a contemplar la posibilidad bien de que las partículas cuánticas no sean individuos, o que de serlo no puedan ser descritos de manera única. Sin embargo, serían objetos en un sentido mínimo
  4. **Objetos individuales (cosas) sin propiedades intrínsecas irreductibles:** las relaciones necesitan de *relata*, pero éstos no necesariamente han de tener propiedades intrínsecas que se mantengan a lo largo de dichas relaciones. Esta posición da lugar al llamado realismo estructural moderado, donde cualquier propiedad de un objeto lo sería en tanto que a relación con otros objetos, haciendo así a los individuos ontológicamente dependientes de relaciones estructurales. Esta postura es tachada de misticismo al querer afirmar que las únicas propiedades sean relacionales, pero tiene apoyos en su favor a la hora de dar cuenta de las partículas fundamentales, que no quedan definidas por sus propiedades intrínsecas.
  5. **Individualidad contextual:** La identidad y diversidad de los objetos son ontológicamente dependientes de las relaciones estructurales de que forman parte, si bien hay autores que alegan la posibilidad de discernirlos, aunque de manera débil. Esto es contrario al modo de pensar respecto a la existencia de individuos en el espacio-tiempo, que sería independiente entre sí, siendo las propiedades de los mismos determinadas independientemente de sus relaciones mutuas. Al no haber individuos distintos que sean metafísicamente anteriores a la relación no hay nada en la relación que permita conferir individualidad a los *relata*. Así, la individualidad en las partículas cuánticas estaría ontológicamente a la par con las relaciones estructurales de las que son parte. Queda abierta la cuestión de si la identidad y diversidad del objeto depende de la totalidad de la estructura o sólo de parte de ella,

6. **Objetos no autosuficientes ontológicamente:** la capacidad de existir sin nada más no podría darse para los objetos individuales sin la existencia de una estructura relacional. no habría objetos autosuficientes, y es la estructura relacional la ontológicamente suficiente.
7. **Objetos individuales como constructos:** French y Ladyman sostienen que los individuos sólo tienen un rol heurístico, siendo dispositivos pragmáticos empleados para el estudio de regiones concretas del espacio-tiempo, lo que permitiría crear representaciones aproximadas del mundo. Al igual que en el caso anterior, se considera la dependencia ontológica de los objetos para con las estructuras relacionales entre los distintos objetos.

De modo general, puede entenderse el realismo estructural como que lo que se sostiene a través del cambio científico es la relación y estructura de la realidad (la que sostienen entre sí los distintos objetos que la componen) y que es de la que dan cuenta las teorías científicas a sus distintos niveles (cuántico, atómico, molecular, estructura cristalina...), donde las diferentes disciplinas (física, química, biología...) se refieren a ellas con una mejor o peor correspondencia, sin que se requiera de una superveniencia desde niveles inferiores.

## **Presupuestos reduccionistas y cierre causal del mundo físico (\*)**

Dado el buen funcionamiento de la Física, muchos autores han llegado a considerar que debería ser el punto de partida para cualquier otra disciplina (recordemos el **ideal de ciencia unificada** neopositivista y el concepto de **reducción de teorías** propuesto por Nagel).

Las principales propuestas reduccionistas consideran las siguientes posibilidades:

- **Fisicalismo:** posición algo más débil que defiende que *todo lo que compone el mundo es físico y atiende a las propiedades de lo físico*.
  - Relacionado con la noción de naturalismo
  - Relacionado históricamente con la noción de materialismo, si bien nuestro conocimiento de campos de energía y otros elementos de la física nos ha permitido entender que no necesariamente todo es material (consideraciones sobre campos cuánticos y planteamientos del realismo estructural).
- **Fisicismo:** posición más fuerte que establece que *todo lo que compone el mundo es lo que la Física afirma y atiende a las propiedades que determina la Física* (aunque algunos autores refieren esta afirmación a tal y como es hoy día la Física).
  - En contra de las posturas fisicistas se tiene el argumento de la **metainducción pesimista** planteada por Laudan, que plantea que si bien las teorías actuales han superado a sus predecesoras que se demostraban de esta manera como falsas o erróneas. Sin embargo, si se sostiene la afirmación del fisicismo de que la realidad está supeditada a nuestras teorías físicas, nos encontraríamos con una realidad distinta en función del siglo en el que viviéramos. Extrapolando, se puede afirmar que nuestras teorías actuales acabarán siendo superadas en el futuro, por lo que a día de hoy presentan algún tipo de equivocación y por lo tanto la supuesta realidad que determinan estaría igualmente equivocada (**solución:** el realismo estructural).
  - Se podría alegar aquí que la relatividad general no falsa totalmente la mecánica newtoniana, que no sería sino un caso límite de esta para unas condiciones determinadas (velocidades alejadas de la de la luz y campos gravitatorios pequeños).

## El cierre causal del mundo físico

Dentro del fisicismo (reduccionismo ontológico) se halla la idea del cierre causal del mundo físico, que establece que todo efecto físico tiene una causa completa igualmente física. Es decir, en la producción de un efecto físico cualquiera no intervienen entidades no físicas, ni siquiera como causas parciales.

- Es una postura fisicista en la que ninguno de los factores causales involucrados en producir un efecto físico es no físico. Algunos filósofos proponen reducir la relación de causalidad a una relación entre propiedades conservadas, o mejor, a una relación entre entidades cuyos objetos correspondientes instancian cantidades conservadas, a fin de preservar la relación de causalidad con independencia del marco de referencia.

Es decir: **la relación de causalidad es una relación física que depende de las leyes de conservación** (fundamentación física del cierre causal).

- Excluye la causación “sobrenatural” (en consonancia con el naturalismo), pero también excluiría cualquier tipo de causación “mental”

## Argumentos contra el cierre causal del mundo físico

- Emergentismo y “causación descendente”: niega la existencia de tal cierre causal, pues los eventos mentales “emergen” de los estados físicos, pero son esencialmente distintos de los eventos físicos y operan cambios en el mundo físico (la totalidad del evento mental es mayor que la partes físicas).
  - Ejemplo: la intención (mental) de realizar una determinada acción sería la justificación causal de que dicha acción finalmente sea llevada a cabo.
- Tesis de la sobredeterminación. Se trata de una postura intermedia que aceptaría el cierre causal y que las causas mentales o biológicas son en el fondo físicas pero con ciertas restricciones modales. Rige en este mundo, pero existen mundos en los que los efectos aquí sobredeterminados son causados únicamente por los eventos mentales, sin que intervengan los eventos físicos.
  - Justificación contrafáctica de David Lewis: *“el elemento que ha producido un efecto, en caso de no haberlo estado, no habría tenido lugar la ocurrencia del efecto”*. (si mi mente no hubiese determinado la voluntad de actuar de tal manera, no habría ocurrido tal acción).

Podríamos entender esta emergencia sobredeterminada atendiendo a las relaciones estructurales que se dan en cada nivel y que son propias de él. Por ejemplo, a nivel subatómico/atómico, el estudio de las partículas fundamentales nos permite comprender las propiedades que presenten elementos químicos concretos (sean el oxígeno o el hidrógeno), y nos ayuda a entender porque la relación de unión a nivel de la molécula de agua se da del modo en que se da. Sin embargo, las propiedades de la molécula de H<sub>2</sub>O, y de los agregados de ésta que entendemos por “agua” y cómo se comporta, no puede deducirse desde las propiedades conocidas de los mismos, pues el nivel en que tiene lugar la acción y comportamientos a estudiar se tienen con otros *relata* que nada tienen que ver (ni existen relaciones) con las partículas subatómicas que dan cuenta de dichos átomos de hidrógeno y oxígeno.

## Física clásica (\*)

### Mecánica newtoniana

La Física clásica newtoniana es el paradigma de ciencia bien formada y establecida y que además encaja perfectamente con la Concepción Heredada de la ciencia. Planteada y desarrollada por Isaac Newton, en especial en su obra "*Philosophiæ naturalis principia mathematica*" (1687)

#### Tres leyes del movimiento:

- **Primera ley:** *Todo cuerpo persevera en su estado de reposo o movimiento uniforme y rectilíneo a no ser que se obligue a cambiar su estado por fuerzas impresas sobre él.*

La ley de inercia: un cuerpo se mantiene en su estado de movimiento si no actúan fuerzas sobre el mismo.

- **Segunda ley:** *El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa y ocurre según la línea recta a lo largo de la cual aquella fuerza se imprime.*

Proporcionalidad entre la intensidad de la fuerza y la aceleración. (  $F=ma$  )

- **Tercera ley:** El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa y ocurre según la línea recta a lo largo de la cual aquella fuerza se imprime.

Principio de acción y reacción, por el que la fuerza que ejerce un cuerpo sobre un segundo cuerpo es igual y de sentido contrario al que ejerce el segundo sobre el primero (  $F_{12}=-F_{21}$  ).

- La **ley de la gravitación universal**, que completa la visión newtoniana del mundo:

$$F=G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad \text{la fuerza ejercida entre dos cuerpos separados una distancia es proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia}$$

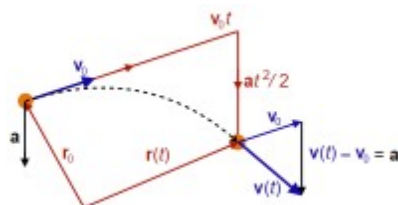
#### Características de la mecánica newtoniana

##### Condiciones del sistema:

- **Espacio absoluto**, permanece invariable y no depende de la existencia de cuerpos dentro del mismo.
- **Tiempo absoluto**, análogo al espacio, no hay una diferencia entre dos marcos de referencia distintos.
- **Cuerpos**, que son los que forman parte del sistema y son estudiados mecánicamente dentro de éste.
- **Principio de inercia**, que nos permite establecer el comportamiento de los objetos en el sistema ante la presencia o ausencia de fuerzas que alteren el mismo.

##### Fuerzas:

- Gravitatoria.
- Electromagnetismo.
- Fuerzas elásticas.
- Fuerzas de fricción.



#### Matematización del mundo y visión mecanicista

En conjunción con el desarrollo del cálculo diferencial (debido principalmente al propio Newton y a Leibniz), este modelo mecánico del mundo nos dota de un aparato matemático y una ontología para poder computar y analizar lo que ocurre dentro del sistema (y predecir lo que ocurrirá), en una suerte de fusión entre las matemáticas y la experimentación que se retroalimentan la una a la otra.

**Visión mecanicista:** las fuerzas y trayectorias de los cuerpos son medibles y predecibles. Si conocemos el estado actual de todas las partículas de materia, su posición y su velocidad, así como el de las fuerzas que las interactúan, entonces podremos predecir el comportamiento futuro del universo. Esto permite conocer, no sólo el futuro, sino también el pasado, pues las ecuaciones son simétricas temporalmente.

Esta punto de vista puede derivar en planteamientos deterministas del mundo, tales como el *Demonio de Laplace*, que amparado en esta descripción matematizable y mecanicista del mundo planteó la hipotética existencia de

*“... una inteligencia tal (el “demonio”) para ella nada sería incierto y el pasado, al igual que el futuro, serían presentes ante sus ojos”*

## Relatividad especial

En 1905, dentro del conjunto de artículos publicados por Einstein (en el denominado “*annus mirabilis*” del físico), se halla un artículo donde postula la **teoría de la Relatividad Especial**.

A finales del siglo XX existían una serie de contradicciones entre las mejores teorías de que se disponía en aquel momento, la bien asentada y evolucionada mecánica de Newton por un lado, y la electrodinámica de Maxwell. Mientras que la mecánica newtoniana estipulaba la absolutez del tiempo (es decir, independiente y externo a las propiedades de movimiento de un cuerpo tales como su velocidad ni del marco de referencia usado), para la electrodinámica de Maxwell se tenía la consideración de constancia para la velocidad de la luz, lo que lleva a una incompatibilidad, pues o bien la velocidad de la luz no es constante o el tiempo no es absoluto.

En su artículo, Einstein argumenta (y resuelve la contradicción) demostrando que el tiempo es una variable no absoluta, lo que alteraba uno de los pilares fundamentales de la mecánica newtoniana, y apoyándose en las transformaciones de Lorentz que ya habían intentado dar cuenta de este problema, desarrolla un nuevo marco matemático para el que la relatividad del tiempo permite dar cuenta de la discordancia con la constancia de la velocidad de la luz.

### Transformaciones de Lorentz

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$\gamma$ : factor de Lorentz

$c$ : velocidad de la luz en el vacío

$$t' = \gamma \left( t - \frac{vx}{c^2} \right) \quad x' = \gamma(x - vt) \quad y' = y \quad z' = z$$

### Equivalencia de masa y energía

En relatividad, la energía y el momento de una partícula están relacionadas por:

$$E^2 - p^2 c^2 = m^2 c^4$$

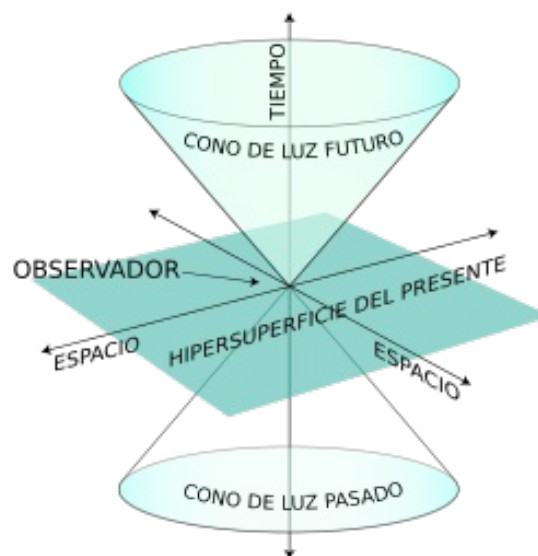
$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \approx mc^2 + \frac{1}{2} m v^2 \approx mc^2$$

Al tener en consideración las transformaciones de Lorentz para con la expresión de la energía se llega a un planteamiento para el que la masa ya no es una magnitud inalterable pero sí una magnitud dependiente de (y asimismo, idéntica con) la cantidad de energía.

### La cuarta dimensión

Esta variabilidad del tiempo hace que se pase a considerar como una dimensión adicional donde ya no tendríamos por un lado el espacio tridimensional y por otro el tiempo, sino que se estaría ante un fenómeno tetradimensional (modelado en el espacio-tiempo de Minkowski) y que puede interpretarse con el **cono de luz**, un gráfico tridimensional donde los dos ejes horizontales figuran dos de las dimensiones espaciales, y en el eje vertical la dimensión temporal.

El cono de luz sirve también para representar del principio de causalidad, que enlaza entre sí causa y efecto de los fenómenos.

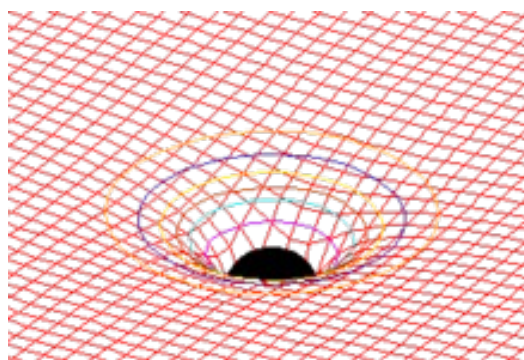
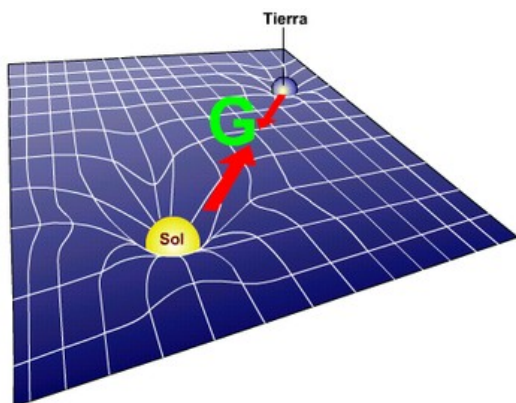


La teoría se denomina "especial" ya que solo se aplica en el caso particular en el que la curvatura del espacio-tiempo producida por acción de la gravedad se puede ignorar, es decir, en esta teoría no se tiene en cuenta la gravedad como variable (y por tanto restringe su estudio a sistemas inerciales, no acelerados). Con el fin de incluir la gravedad, Einstein formuló la teoría de la relatividad general en 1915. La relatividad general es capaz de manejar sistemas de referencia acelerados, algo que no era posible con las teorías anteriores

### Relatividad general

Con esta nueva teoría, Einstein da una descripción de la gravedad como una propiedad del espacio-tiempo. Esto replantea otro de los pilares fundamentales del marco newtoniano, el espacio absoluto, por lo que espacio y tiempo han dejado de ser dos aspectos absolutos e independientes para formar un elemento común: el espacio-tiempo.

Como consecuencia de las masas de los cuerpos presentes en él, el espacio-tiempo se curva debido a la energía y momento de un cuerpo. Esta explicación daría cuenta de la acción gravitatoria, resolviendo así también la hipótesis omitida por Newton acerca de a qué se debía dicha acción gravitatoria y su supuesta acción a distancia concebida como un campo de acción concentrado en el nodo que vendría a representar la masa puntual de los distintos cuerpos.

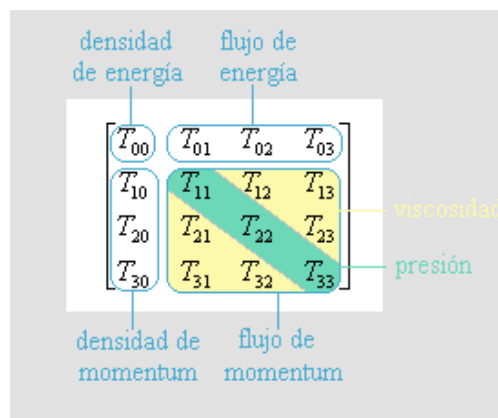


Del mismo modo que Newton se dio cuenta de que caer no es sino orbitar en un espacio absoluto, Einstein hizo lo propio al comprender que orbitar es desplazarse en línea recta a lo largo de un espacio-tiempo curvo y deformado, que es a su vez un ente dinámico



Esta acción queda modelizada mediante el tensor de energía-impulso (o tensor de energía-momento) que se usa para describir el flujo lineal de energía y de momento lineal en el contexto de la teoría de la relatividad, además de ser de suma importancia en las ecuaciones de Einstein para el campo gravitacional.

$$T_{ik} = \frac{c^4}{8\pi G} \left[ R_{ik} - \left( \frac{g_{ik} R}{2} \right) + \Delta g_{ik} \right]$$



## ¿Por qué se podría decir que la Teoría de la Relatividad General y Especial de Einstein se enmarca dentro de la Física clásica? (\*)

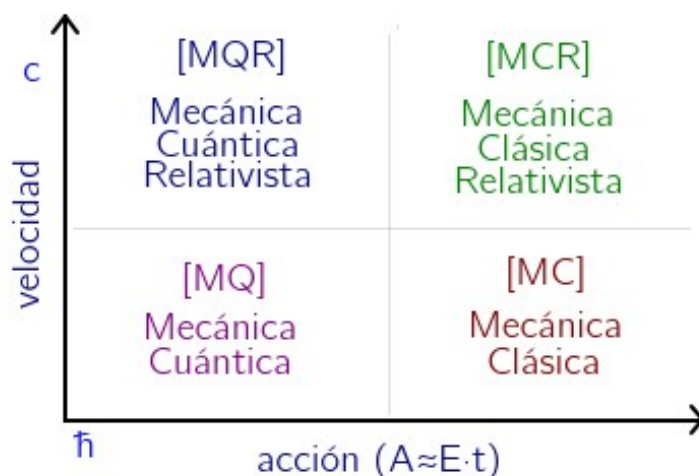
Por lo general, solemos referirnos a la física clásica cuando damos cuenta de aquellos postulados teóricos desarrollados dentro del marco conceptual en el que se asentaron las teorías de Newton, y cuyas características definitorias suelen resumirse en:

- Invarianza respecto al tiempo y el espacio, que serían absolutos.
- La evolución de los sistemas se haría siguiendo el principio de mínima acción (relación dada por la energía en un proceso físico y el tiempo que dicho proceso dura).
- Su desempeño se da en un marco eminentemente macroscópico.
- La característica determinista de dichas leyes.

Por contra, tendríamos la rama de la física que se atañe al estudio de lo microscópico (aunque sería mejor referirnos a esto como a sistemas de muy baja acción), y que conocemos como física cuántica.

Ahora bien, ¿dónde metemos a la relatividad?. Recordemos que ésta surgió de la mano de Einstein (aunque algunos desarrollos previos deben atribuirse a Hendrik Lorentz en lo matemático y a Ernst Mach en lo teórico-filosófico) con intención de resolver las discrepancias encontradas en algunos comportamientos del electromagnetismo que no terminaban de encajar dentro del marco de la física newtoniana.

A la hora de establecer una estructuración de los dominios de cada una de estas ramas de la física podemos plantearnos un cuadro como el siguiente:





- En el eje vertical tenemos la velocidad, acotada superiormente por la **velocidad de la luz** ( $c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ), que nos habla de la velocidad a la que se están dando los fenómenos en el sistema de estudio y que presenta un límite superior para dicho valor.
- En el horizontal estaría la acción (relación entre la energía que actúa en el sistema y el tiempo empleado en ello. La acción queda limitada inferiormente por la **constante de Planck** ( $h \approx 6.62 \cdot 10^{-34} \text{ J/s}$ ) que daría cuenta del valor mínimo de la acción del sistema para el que pueden establecerse cálculos precisos de acuerdo al principio de incertidumbre de Heisenberg.

En consecuencia, se tienen las cuatro familias ilustradas en el mismo:

- La **mecánica clásica** (MC), que nace con Galileo y Newton es la que la mayoría de la gente tiene en mente. Presenta interpretaciones claras y sin ambigüedades, permitiéndonos funcionar sin problemas en la mayoría de aplicaciones del día a día en nuestro mundo macroscópico.
- La **mecánica clásica relativista** (MCR) es la mecánica desarrollada a partir de Einstein y su teoría de la relatividad, y que permite dar cuenta de aquellos procesos clásicos a altas velocidades, donde las cosas comienzan a comportarse un poco de manera diferente (o fenómenos insertos en zonas del espacio con acción gravitatoria tal que su comportamiento se asemeje al de velocidades próximas a la luz debido a la deformación del espacio-tiempo que lo envuelve.
- La **mecánica cuántica** (MQ) para sistemas con baja acción y bajas velocidades (comúnmente –aunque de modo erróneo– entendida como “la física de lo pequeño”
- La **mecánica cuántica relativista** (MQR) considera sistemas cuánticos a grandes velocidades, pudiendo ser el camino a seguir en la búsqueda de la tan ansiada “teoría del todo” que armonice las teorías físicas, pero que aún presenta discrepancias irreconciliables entre la cuántica y la relatividad, dada la imposibilidad de cuantizar la gravedad.

Queda claro que el nivel de acción nos permite discernir entre la físicas clásica y cuántica, pero parece haber hueco para acoplar la relatividad tanto en un marco cuántico como clásico. Si bien conceptualmente es posible, la división cuántico-relativista puede considerarse como un terreno pantanoso en el que las teorías no terminan de funcionar, y en el que los postulados de la cuántica y de la relatividad parecen estar en una discusión irreconciliable (de hecho, la tan ansiada “teoría del todo” que permitiese unificar el comportamiento en sistemas cuánticos y clásicos pasaría por dilucidar este área del cuadrante), cuando se hace referencia a la mecánica relativista se emplea dentro del marco que entendemos como clásico, si bien pueda resultarnos chocante, ya que el planteamiento que hizo Einstein en 1905 supuso un vuelco de la concepción que se tenía de la física en dicha postura “clásica”. Los principales conceptos que redefinió esta teoría fueron:

- La no absolutez del espacio ni del tiempo (pues son relativos al observador y sufren dilataciones considerables en tanto que la velocidad se aproxime a la de la luz, donde experimentaríamos cosas como que el tiempo discurre a un ritmo diferente).
- El concepto de gravedad queda redefinido, y conceptos como las fuerzas quedan fuera de la ecuación para ser explicadas mediante al espacio-tiempo, que representaría el tejido de la realidad. Estas consideraciones sobre la correspondencia con la realidad no son las primeras que cuestionan el concepto de fuerzas, pues otras dos formulaciones de la mecánica clásica (en el sentido de sistemas a bajas velocidades) ya prescindían de las fuerzas y aportaban exactamente los mismos resultados que la formulación vectorial de fuerzas de Newton, a saber, las variantes de mecánica analítica dadas por Hamilton y Lagrange, que trabajan principalmente con energías en el estudio de un sistema que evoluciona siguiendo el principio de mínima acción.

- La masa no es tampoco ahora un valor constante, sino que es variable con el tiempo y dependiente de la velocidad, fruto de las dilataciones espacio-temporales apuntadas más arriba. Además, la archifamosa ecuación de Einstein ( $E=mc^2$ ) nos permite establecer una relación entre la energía del sistema y la masa del mismo.

A todas luces, y en especial bajo el prisma Kuhniano, este cambio teórico parece reflejar la adhesión a un nuevo paradigma (siguiendo la concepción ontológica del cambio paradigmático de Kuhn, estaríamos enfrentándonos a “un nuevo mundo”, pues los conceptos de masa, tiempo, espacio... serían radicalmente distintas para los seguidores de una teoría frente a los de la otra). Aun así, y pese a las diferencias “paradigmáticas” entre las teorías de Einstein y Newton, la teoría de Einstein puede considerarse todavía como parte de la mecánica clásica en tanto que nos dan una explicación del mundo con una interpretación realista equivalente a la dada por la teoría newtoniana, a la vez que aportan predicciones mediante un sistema determinista del mismo a través de sus ecuaciones. En un marco realista estructural (Worrall, French, Ladyman), podríamos aseverar que, pese a las diferencias, lo que permanece en el cambio teórico entre la física de Newton y la de Einstein son las relaciones que se dan entre las entidades descritas por una u otra teoría. Mientras que uno daba cuenta de un movimiento en el que la interacción entre cuerpos se reflejaba con unas fuerzas que representaban la acción gravitatoria entre unos y otros (pese a no haber sido capaz de dar una explicación satisfactoria de lo que eran, si es que eran algo, dichas fuerzas ni de cómo se ejercían); el otro explica dichos efectos mediante las deformaciones del espacio-tiempo consecuencia de la presencia de cuerpos con masa en ellos. Misma realidad, diferentes formalizaciones, pero mismo intento de justificar las estructuras relacionales entre las entidades que en ellas evolucionan temporalmente, y que en cierto modo se ven reflejadas sobre el formalismo matemático de ambas teorías.

Esto permite plantear una demarcación más clara aún entre lo cuántico y lo clásico, pues es en el mundo microscópico donde, debido al principio de incertidumbre de Heisenberg que condiciona el nivel de precisión con el que se pueden establecer la determinación de los estados de un sistema, y que queda limitado por el valor de la constante de Planck, nos encontramos con un claro indeterminismo para con las teorías. Por su parte, el mundo macroscópico (que queda gobernado por las teorías clásicas) sí que nos permite aceptar el determinismo en los resultados que aportan para la evolución temporal de los sistemas que estudian. Es decir, tanto las versiones Newtoniana, Hamiltoniana o Lagrangiana de la mecánica clásica, así como la variante relativista de Einstein, presentan un remarcado carácter determinista, lo que, pese a las diferencias teóricas y prácticas de dichas teorías, permite unificarlas bajo este paraguas que tan asociado queda al mundo macroscópico en el que yace nuestra intuición y el dominio “clásico” de nuestras teorías físicas.

Además, es de reseñar que todo intento de cuantizar la gravedad (elemento principal de la teoría de la relatividad), no ha hecho sino dar al traste en todos los intentos. Pese a los éxitos a la hora de cuantizar el resto de fuerzas fundamentales de la naturaleza (electrodinámica, nuclear fuerte y nuclear débil), a la hora de enfrentarnos a la gravedad cuántica, los resultados obtenidos ofrecen grandes contradicciones para con las predicciones de dichas teorías, lo que deja aún una gran puerta abierta en esta senda del conocimiento en la física.

Por último, y a título nominativo, podríamos considerar que las posturas realistas de Einstein son también un indicador del carácter clásico de su teoría de la relatividad (cuyo desarrollo se halla fuertemente arraigado a los conceptos de relatividad galileanos). Recordemos el punto de vista del alemán tan contrario a las interpretaciones dadas por su parte hacia la cuántica, pues no era capaz de concebir una realidad no determinista en relación a las teorías ni el supuesto azar que gobierna los resultados (y aparentemente, la realidad) de la cuántica, como sí que existía con su creación, la mecánica relativista.

## Mecánica cuántica

La mecánica cuántica estudia la dinámica de los elementos más pequeños (átomos, partículas, etc.), aunque puede tener efectos macro (superconductividad).

A diferencia de la mecánica clásica (postulada inicialmente por Newton y desarrollada posteriormente con los trabajos de Euler, Huygens, Laplace, Maxwell, Einstein, Nötter...), el desarrollo inicial de la mecánica cuántica es llevada a cabo por una plétora de científicos.

Comienza a con el concepto de cuantización de la energía postulado por Planck al estudiar la radiación del cuerpo negro. En base él, Einstein (en otro artículos de su año milagroso) da cuenta del efecto fotoeléctrico, donde la energía emitida durante la propagación de un rayo de luz, no se distribuye de forma continua en espacios cada vez mayores, sino que consiste en un número finito de cuantos de energía localizados en puntos del espacio que se mueven sin dividirse y son capaces de ser absorbidos o generados sólo como entidades.

La idea de los cuantos de luz contradice la teoría ondulatoria de la luz que se deriva naturalmente de las ecuaciones electromagnéticas de Maxwell y, más en general, la suposición de una divisibilidad infinita de la energía en los sistemas físicos.

*Existe una profunda diferencia formal entre los conceptos teóricos que los físicos se han formado sobre los gases y otros cuerpos ponderables, y la teoría de Maxwell sobre los procesos electromagnéticos en el llamado espacio vacío. Mientras que nosotros consideramos que el estado de un cuerpo está completamente determinado por las posiciones y velocidades de un número ciertamente muy grande pero finito de átomos y electrones, nosotros hacemos uso de funciones espaciales continuas para determinar el estado electromagnético de un volumen de espacio, de modo que un número finito de cantidades no puede considerarse suficiente para la determinación completa del estado electromagnético del espacio.*

*... [esto] conduce a contradicciones cuando se aplica a los fenómenos de emisión y transformación de la luz.*

*Según el punto de vista de que la luz incidente consiste en cuantos de energía ..., la producción de rayos catódicos por la luz puede concebirse de la siguiente manera. La capa superficial del cuerpo es penetrada por cuantos de energía cuya energía se convierte, al menos parcialmente, en energía cinética de los electrones. La concepción más simple es que un cuanto de luz transfiere toda su energía a un solo electrón ... .*

Einstein se dio cuenta de que el **efecto fotoeléctrico** dependía de la longitud de onda y, por lo tanto, de la frecuencia de la luz. A una frecuencia demasiado baja, incluso la luz intensa no producía electrones. Sin embargo, una vez que se alcanzó cierta frecuencia, incluso la luz de baja intensidad produjo electrones. Comparó esto con la hipótesis de Planck de que la luz podría emitirse sólo en paquetes de energía dados por  $h\nu$ , donde  $h$  es la constante de Planck y  $\nu$  es la frecuencia. Luego postuló que la luz viaja en paquetes cuya energía depende de la frecuencia y, por lo tanto, solo la luz por encima de cierta frecuencia traería suficiente energía para liberar un electrón.

En base a dichos estudios, durante las primeras décadas del siglo XX, un amplio grupo de científicos dio forma al desarrollo de la teoría cuántica, entre los que se encontraban: Planck, Einstein, Schrödinger, Bohr, Heisenberg, Born, De Broglie, Dirac, Von Neumann...

La mecánica cuántica moderna tiene fecha y lugar de nacimiento conocidos, Isla de Helgoland, en la costa de Alemania, junio de 1925. Fue en este lugar y fecha que Werner Heisenberg elaboró el germen de la **teoría matricial de la mecánica cuántica**. Al año siguiente, en 1926, aparecería una forma que se demostró equivalente, la que conocemos como **ecuación de Schrödinger**.

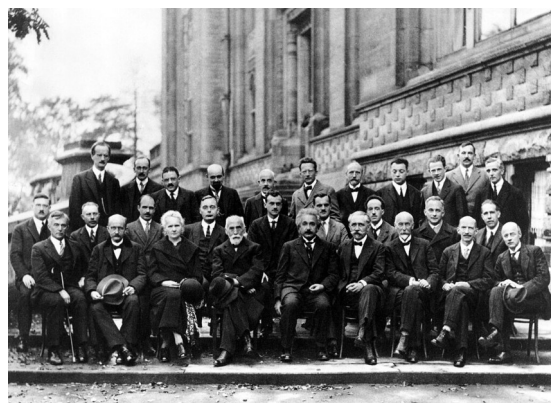
El supervisor de Heisenberg en Gotinga, Max Born, escribió a Einstein informándole del hallazgo: *“parece muy místico, pero ciertamente es correcto y profundo”*. Einstein, a pesar de sus propias contribuciones al desarrollo de la teoría cuántica, no terminaba de aceptar el planteamiento. Cuando el propio Born en 1926 interpretó el cuadrado de la función de onda, la función solución de la ecuación de Schrödinger, como la probabilidad de encontrar la partícula en un determinado lugar, aquello llegó a un extremo que Einstein no podía soportar. El 4 de diciembre de 1926 escribía a Born un comentario que se haría famoso:

*La mecánica cuántica es ciertamente imponente. Pero una voz interior me dice que no es todavía la auténtica. La teoría dice mucho, pero no nos aproxima un ápice al secreto del “viejo”. Yo, en cualquier caso, estoy convencido de que él no lanza dados.*

Einstein con esta expresión lo que le está diciendo a Born es, ni más ni menos, que la teoría está muy bien pero que, desde su punto de vista, está incompleta. Esta incomodidad de Einstein con la probabilidad (*“él no lanza dados”*) es a veces incomprensida, incluso por muchos hoy día, casi un siglo después, porque no se tiene una idea clara de a qué se refiere esta probabilidad. Einstein se sentía más que cómodo con la física estadística, por lo tanto no es un problema de herramienta sino de significado.

Fruto de aquella gran conjunción de mentes son las conocidas **Conferencias Solvay**, encuentros y congresos donde el intercambio intelectual sentó la bases para conformar el mundo que conocemos y en que vivimos hoy día.

Fue una generación de oro de la ciencia, posiblemente como no ha habido otra en la historia. Diecisiete de los veintinueve asistentes eran o llegaron a ser ganadores de Premios Nobel, incluyendo a Marie Curie, que había ganado los premios Nobel en dos disciplinas científicas diferentes (Premios Nobel de Física y de Química).



Uno de estos congresos, el de 1927 (quizá el más famoso) cuyo tema principal fue la discusión en torno a *“Electrones y fotones”*, reunió a los mejores físicos del mundo, que discutieron sobre la recientemente formulada teoría cuántica, dieron un sentido a lo que no lo tenía, construyeron una nueva manera de entender el mundo y se dieron cuenta de que para describir y entender la naturaleza se tenían que abandonar gran parte de las ideas preconcebidas por el ser humano a lo largo de toda su historia, replanteándose la tesis realista mayormente sostenida por la física hasta entonces.

La anécdota más famosa que ha quedado de esta conferencia fue la protagonizada por Albert Einstein y Niels Bohr cuando discutían acerca del principio de incertidumbre de Heisenberg. Einstein comentó: *«Usted cree en un Dios que juega a los dados»*, a lo que Bohr le contestó: *«Einstein, deje de decirle a Dios lo que debe hacer con sus dados»*.

En esa época andaba por Gotinga un joven inglés retraído que preparaba notas para lo que en 1930 sería uno de los libros fundamentales sobre la mecánica cuántica, todavía en uso hoy día, *“Principles of Quantum Mechanics”*. El propio Paul A.M. Dirac da cuenta de esta manera del matiz que tanto incomodaba a Einstein (y a otros tantos, entre ellos Schrödinger o de Broglie). Nos habla del **principio de superposición cuántico**:

*La naturaleza no clásica del proceso de superposición se pone de relieve claramente si consideramos la superposición de dos estados, A y B, de tal manera que existe una observación que, cuando se realiza en el sistema en el estado A, lleva con certeza a*

*un resultado concreto, digamos  $a$ , y que cuando se realiza en el sistema en el estado  $B$ , arroja un resultado diferente, digamos  $b$ . ¿Cuál será el resultado de la observación cuando se realiza en el sistema en el estado superpuesto?. La respuesta es que el resultado será algunas veces  $a$  y algunas veces  $b$  de acuerdo con una ley de probabilidad que depende de los pesos relativos de  $A$  y  $B$  en el proceso de superposición. Nunca será diferente de ambos  $a$  y  $b$  (es decir, será  $a$  o  $b$ ). El carácter intermedio del estado formado por la superposición por tanto se expresa por el hecho de que la probabilidad de un resultado concreto para una observación sea intermedia entre las correspondientes probabilidades de los estados originales, no por el de que el resultado mismo sea intermedio entre los correspondientes resultados de los estados originales.*

Démonos cuenta de que el promediado de resultados de estados originales es algo a lo que ya estaban acostumbrados los físicos desde el siglo XIX, gracias a la física estadística. Lo que ahora tenemos es que en el estado superpuesto obtendremos  $a$  ó  $b$ , y que la probabilidad de uno u otro depende de la probabilidad de que ocurran los estados  $A$  o  $B$ . No puedo esperar encontrar un valor concreto, que puede que sea un promedio, pero seguiría siendo concreto, sino que encontraré  $a$  ó  $b$  y que lo que encuentre no lo sabré hasta que mida: exactamente igual que las caras de un dado y el resultado de lanzarlos.

El problema de la completitud de la teoría, que venimos personificando en Einstein, parte de la idea de que las superposiciones podrían no estar indicando realmente que las magnitudes dejen de tener valores definidos, sino que la mecánica cuántica no sería capaz de decirnos cuáles son los valores verdaderos y por eso recurre a predecir qué valores podríamos encontrar probablemente si midiésemos. Einstein dedicó buena parte de sus energías desde la quinta conferencia Solvay en 1927 a intentar demostrar la incompletitud de la mecánica cuántica en general, y de la interpretación de Copenhague de la misma. Einstein planteó a Bohr experimentos mentales basados en los postulados de la mecánica cuántica que según él, demostraban que se llegaba a absurdos, para encontrarse que eran rebatidos continuamente de una manera u otra.

## Modelización de la mecánica cuántica

¿Que diferencia fundamentalmente a la física clásica de la cuántica?. Normalmente suelen considerarse las siguientes tres razones:

1. ¿La **cuantización**?: a diferencia de la física clásica, la cuántica no es continua sino discreta, al ir en paquetes de tamaño determinado llamados cuantos. ¿Es esto realmente una diferencia que suponga por sí misma un problema para la física clásica?. ¿Acaso la materia no está cuantizada en forma de átomos o en partículas en general?. ¿No consideraron Boltzmann, Maxwell y Gibbs que la naturaleza estaba compuesta por átomos y de esta hipótesis dedujeron ni mas ni menos que las leyes de la termodinámica macroscópica?. ¿Acaso durante mucho tiempo no se consideró que la luz tenía naturaleza corpuscular, empezando por Gassendi y siguiendo por el propio Newton?. El hecho de que la naturaleza sea discreta no es una ruptura con la física clásica. Para Planck, su “acto de desesperación” no consistió en introducir la cuantización de la energía, sino el recurrir a la estadística.
2. ¿La **dualidad onda-corpúsculo**?: la idea de que un cuerpo tenga una onda asociada es novedosa y no puede decirse que exista en física clásica. Pero tampoco supone un problema mayor para una concepción newtoniana del mundo. De hecho desde que Newton publicase su “*Opticks*” en 1704 hasta los experimentos de Foucault en 1850, la luz era un corpúsculo o una onda según conviniese y según a quien preguntases. Esto es, desde un punto de vista pragmático, una situación análoga a la que plantea la hipótesis de de Broglie.

3. ¿La existencia del **principio de incertidumbre**?: el principio de Heisenberg, al igual que la hipótesis de de Broglie, eleva ontológicamente lo que es algo que ya se maneja en la práctica en física clásica. Lo que en física newtoniana es teóricamente alcanzable ahora no se puede alcanzar: establece un límite fundamental en la precisión con la que podemos conocer los valores de pares de variables incompatibles. Para una física acostumbrada a manejarse con incertidumbres en la medida, esto tampoco supone una ruptura tan radical.

Para un físico experimental que haga uso de la cuántica de un modo instrumental estas tres distinciones son irrelevantes. La distinción fundamental de la mecánica cuántica que la separa de la física clásica estriba en una característica matemática. Son las propiedades que cumplen las soluciones de las ecuaciones básicas que describen los sistemas físicos objeto de estudio las que diferencian a la física cuántica de la clásica. Esto no sería más que un artificio matemático si las predicciones no cuadraran tan estupendamente bien con los experimentos. Otra cosa es su interpretación.

En física cuántica la ecuación diferencial que planteamos para describir, por ejemplo, el comportamiento de un electrón alrededor del núcleo atómico tiene un nombre, **ecuación de Schrödinger**. Esta es una ecuación diferencial lineal y, por tanto, matemáticamente, cualquier solución que tenga puede ser expresable como combinación lineal de otras dos (de hecho, infinitas) funciones. Esto es, a diferencia del mundo clásico donde tenemos una  $\Psi$  bien definida, con valores de las variables conocibles a priori (antes de medir), en física cuántica tenemos una solución que es una combinación de funciones que representan estados, y los valores de las variables sólo serán conocidos cuando midamos, es decir, a posteriori, y de cual será ese valor sólo podemos tener una idea de la probabilidad de cada uno de los valores posibles. Este es el **principio de superposición cuántico** y es la verdadera madre de buena parte de las rarezas de la física cuántica.

### Ecuación de Schrödinger: Función de onda

Dentro de una concepción clásica determinista, Schrödinger planteó una ecuación que describe el sistema cuántico mediante una ecuación de onda que describe la evolución temporal de una partícula subatómica cuántica con masa en el contexto no relativista. Es de importancia central en la teoría de la mecánica cuántica ordinaria, donde representa para las partículas microscópicas un papel análogo a la segunda ley de Newton en la mecánica clásica.

$i$	Unidad imaginaria $i=\sqrt{-1}$
$\hbar$	Constante de Planck reducida $\hbar=\frac{h}{2\pi}$
$\Psi$	Función de onda (representa el estado físico de un sistema de partículas)
$i\hbar\frac{\partial}{\partial t}\Psi(\mathbf{r},t)=\hat{H}\Psi(\mathbf{r},t)$	Derivada parcial respecto al tiempo de la función de onda
$\frac{\partial}{\partial t}\Psi(\mathbf{r},t)$	Hamiltoniano de la función de onda (caracteriza la energía total de cualquier función de onda dada y tiene diferentes formas que dependen de la situación)
$\hat{H}\Psi(\mathbf{r},t)$	

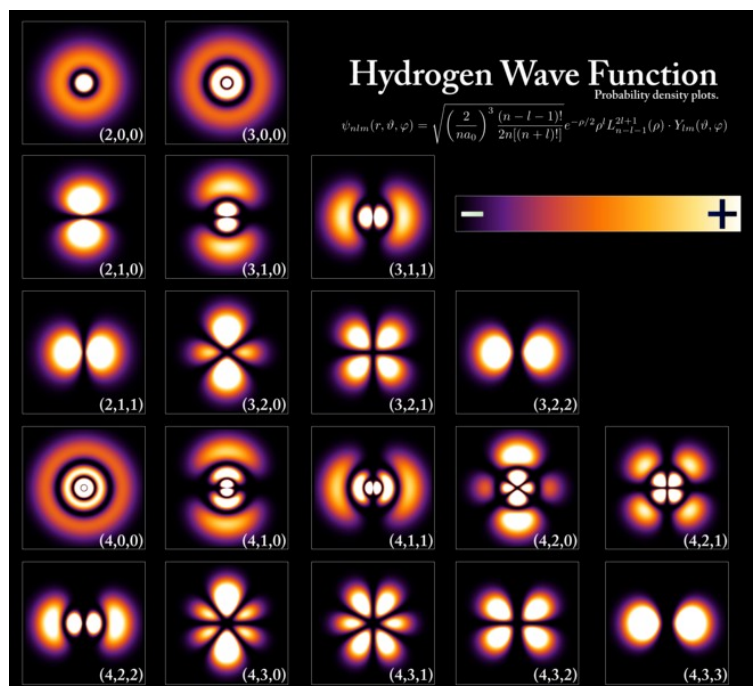
Así, un sistema físico queda descrito por la función de onda, que supuestamente describe la máxima información posible que contiene un estado puro. Si nadie externo al sistema ni dentro de él observara o tratara de ver como está el sistema, la mecánica cuántica nos diría que el estado del sistema evoluciona determinísticamente, pudiendo predecir perfectamente hacia dónde irá el sistema.



¿Cómo interpretar dicha función de onda? Hay varias explicaciones posibles:

1. Representa algo real (un campo físico de algún tipo, ciertas propiedades objetivas) de un sistema cuántico individual.
  - Defendida por Einstein, de Broglie, Schrödinger, Bohm, Bell y Penrose
2. No representa nada real; es simplemente un instrumento matemático para calcular las probabilidades de obtener ciertos resultados en posibles mediciones efectuadas sobre sistemas microfísicos individuales.
  - Interpretación de Copenhague, defendida inicialmente por Bohr (la mayormente aceptada por los físicos)
3. Describe nuestro estado de conocimiento sobre un sistema microfísico.
  - En parte conforma la interpretación de Copenhague, defendida por Born y en ciertos momentos por Bohr, Heisenberg e incluso Schrödinger.
4. No representa una realidad actual, sino más bien un conjunto de potencialidades que podrían ser actualizadas de acuerdo con las condiciones experimentales.
  - Formulada por el Heisenberg más tardío.
5. Describe el comportamiento de un conjunto de sistemas, nunca de uno aislado.
  - Constituye el núcleo de la interpretación estadística de la mecánica cuántica, desarrollada en diferentes rasgos por versiones de Einstein, Popper, Landé...

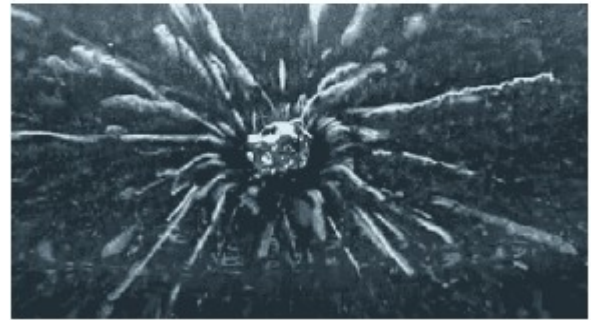
La función de onda nos informa de cuáles son los resultados posibles de una medida y sus probabilidades relativas, pero no nos dice qué resultado concreto se obtendrá cuando un observador trate efectivamente de medir el sistema o averiguar algo sobre él. De hecho, la medida sobre un sistema es un valor aleatorio entre los posibles resultados.



Funciones de onda del electrón en un átomo de hidrógeno en diferentes niveles de energía. La mecánica cuántica no puede predecir la ubicación exacta de una partícula en el espacio, solo la probabilidad de encontrarla en diferentes lugares. Las áreas más brillantes representan una mayor probabilidad de encontrar el electrón.

Sin embargo, el problema con el que nos encontramos es que lo que realmente observamos no son ondas, sino partículas

Ejemplo: El estudio del Uranio en una cámara de frío, cuando decae emite radiación en forma de partículas cargadas (que al estudiarlos en la cámara de frío parecen trazar las trayectorias seguidas por dichas partículas)



### El principio de incertidumbre (indeterminación) de Heisenberg

El principio de indeterminación de Heisenberg genera en ciencia todo tipo de disquisiciones sobre el carácter determinista o indeterminista de los procesos físicos, la validez universal de las leyes naturales, e incluso ha avivado el fuego de las polémicas acerca del eterno problema del libre albedrío. Sin embargo, la discusión que promovió su hallazgo en ningún momento giró en torno a este tipo de cuestiones. El tema de la indeterminación se introdujo a propósito de algo con lo que aparentemente no guardaba ninguna relación: el posible contenido intuitivo de una teoría, la teoría cuántica, cuyo formalismo matemático planteaba una serie de cuestiones discutibles:

En el estudio dentro de una cámara de niebla de la trayectoria de electrones, fácilmente observables, no era posible dar cuenta de ellas dentro de la mecánica cuántica. En física clásica, el movimiento es el desplazamiento continuo de un cuerpo a través del espacio, pero al considerar en cuántica la discontinuidad dada por el cuanto de Planck, el concepto de desplazamiento continuo suscita nuevos interrogantes en relación al movimiento de los electrones dentro de los átomos en torno al núcleo (explicación de las órbitas electrónicas), cuyas frecuencias calculadas diferían de las medidas, poniendo en duda el concepto mismo de órbita electrónica. Para realizar dichas observaciones a nivel atómico se necesitaba un microscopio de gran resolución, cuya luz debía tener una longitud de onda extremadamente corta (y por tanto de alta frecuencia, pues  $\lambda \propto \nu^{-1}$ ) que afectaría al electrón y lo haría salir de su órbita, no viéndose claro cómo dar cuenta empíricamente de las órbitas electrónicas. Sin embargo el movimiento de partículas libres cargadas que al atravesar un recipiente lleno de un vapor saturado de un líquido generaba condensación formando gotas que constituyen la huella visible del paso de la partícula, por lo que podríamos decir que en este caso, a diferencia del anterior, la trayectoria de las partículas es un fenómeno observable. Esto lleva a Heisenberg a prescindir del concepto de órbita electrónica en el átomo, renunciando a descripciones espacio temporales  $(\mathbf{x}, t)$  tan típicas de la mecánica clásica, y así ceñirse al estudio de la radiación emitida por los átomos, donde las frecuencias de oscilación y sus amplitudes, junto al principio de correspondencia de Bohr, sustituirían a las relaciones de posición y velocidad, con la intención de incluir únicamente magnitudes observables.

Sin embargo, y como podía experimentarse en las observaciones dentro de la cámara de niebla, aunque el formalismo hubiera prescindido del concepto de trayectoria que pasaba a ser sustituido por las matrices que relacionaban las componentes de la radiación junto a la constante de Planck, sembraba la duda no ya de la existencia o no de trayectorias, sino de si el formalismo era realmente aplicable a la naturaleza. En palabras de Heisenberg:

*«Para mí era por aquel entonces absolutamente clara la enorme importancia de esa forma matemática, cerrada y bella, que Born y Jordan habían dado a la nueva teoría. (...) Pero desde el principio me rondaba la sensación de que las mayores dificultades no estribaban en la matemática, sino en el punto donde ésta hay que aplicarla a la naturaleza. Al fin y al cabo queríamos describir la naturaleza, no hacer matemática*



*pura, y yo intuía que con el "trabajo de los tres hombres" {Dreimenarbeit} no quedaba resuelto el problema. Ciertamente se podía calcular la energía de los estados estacionarios o la intensidad de las líneas, pero cómo describir, por ejemplo, la trayectoria de un electrón en la cámara de niebla -trayectoria que es directamente visible-, eso no lo sabíamos. Nos habíamos propuesto no hablar de trayectorias, pero al fin y al cabo las trayectorias pertenecían de un modo u otro a la realidad física»*

El análisis de su modelo matricial en conjunción a la problemática para con la experimentación desde lo que en principio permitía alcanzar la teoría, le lleva a considerar replantear el **significado de los términos** (posición, velocidad,...) aplicado a objetos cuánticos, pues éste está ligado al modo de experimentarlos. Si no existiera experimento alguno para medir el valor de algún término, éste carecería de sentido. Para Heisenberg, :

*«Todos los conceptos que se usan en la teoría clásica para describir un sistema mecánico, son susceptibles de ser definidos exactamente también para los procesos atómicos, análogamente a los conceptos clásicos»*

Pese a la definición de conceptos mediante experimentos, el problema que aparece es la imposibilidad de dar cuenta simultáneamente de ciertos pares de estas magnitudes con un arbitrario grado de precisión. Hay una radical indeterminación, cuando se pretende la fijación simultánea de dos magnitudes canónicamente conjugadas (*ejemplo*: se puede medir con exactitud la posición o el momento, pero no ambos a la vez). Esto abre un par de cuestiones:

- **¿Cuál es el origen de esta indeterminación?**: la discontinuidad de los procesos cuánticos dada por el cuanto de acción de Planck que ocurre en toda medición como consecuencia de la interacción entre objeto a medir e instrumentos

En fenómenos clásicos también ocurre la interacción, pero al ser la magnitud a medir continua –no hay discontinuidad del cuanto de acción– dicha interacción es computable y asumible mediante márgenes de error.

- **¿Cuál es la medida/grado de la indeterminación?**: Heisenberg la determina no con los experimentos, sino desde la teoría, deduciéndolo de la formulación de Dirac-Jordan, donde para todo par conjugado de magnitudes ( $A, B$ ) se tiene:

$$\Delta A \cdot \Delta B \geq \frac{\hbar}{2}$$

Es decir, que cuanto más precisamente se determina una propiedad, más imprecisamente se determina la otra. En consecuencia, el grado de precisión con el que es posible utilizar los conceptos de la mecánica clásica aplicados a las micropartículas viene regulado por las relaciones de incertidumbre. Dichas relaciones establecen un límite inferior para el producto de las imprecisiones en la determinación simultánea de los pares de magnitudes conjugadas, que coincide con la constante de Planck. Esa incertidumbre es tanto mayor cuanto menor es la masa de la partícula, siendo en cambio despreciable para cuerpos meso- o macro-físicos. Precisamente por ello los conceptos clásicos se ajustan a un mundo de dimensiones no atómicas, mientras que exigen un uso mucho más cuidadoso cuando se trata de fenómenos atómicos; en particular su aplicabilidad está restringida por las relaciones de incertidumbre.

La imprecisión en la medida es condición necesaria de la aplicabilidad del formalismo a la naturaleza. El principio de indeterminación establece la precisión máxima con que es posible conectar formalismo y experiencia, partiendo del principio de que en la naturaleza sólo se dan aquellas situaciones que cabe representar en el esquema matemático de la mecánica cuántica. Con ello se fija además el máximo contenido intuitivo que es posible conceder a la teoría cuántica, o lo que es equivalente, su contenido físico.

## Determinismo e indeterminismo en física

La matematización de la naturaleza en nuestras formulaciones físicas para tratar de entender el universo que fue iniciado por Galileo y consolidado por Newton, dentro de lo que enmarcamos como física clásica, supuso un éxito rotundo que llevo a innumerables científicos a aplicar y extender dicho método a prácticamente todas las áreas del estudio de la naturaleza, llegando a considerar que podría darse cuenta del comportamiento (así como de la predicción futura de éste) de una manera prácticamente total.

Tras Newton un sinnúmero de científicos se lanzaron a usar las herramientas que este puso a su disposición: el cálculo diferencial (descubierto independientemente por Newton y Leibniz) es la herramienta que permite lidiar con números infinitamente pequeños y es esencial para comprender el movimiento de los cuerpos. Esta herramienta matemática, en conjunción con las ecuaciones del movimiento de Newton, permite dar una descripción completa de los estados de un sistema a lo largo y ancho del espacio y tiempo absolutos en los que evoluciona. Bajo ciertas hipótesis razonables se puede probar que, dadas las condiciones iniciales para nuestro sistema  $(x_k(0), y_k(0), z_k(0))$  y los de sus derivadas  $\frac{dx_k(0)}{dt}, \frac{dy_k(0)}{dt}, \frac{dz_k(0)}{dt}$ , la solución es única.

Es decir si conocemos el estado de un sistema en un momento dado podemos saber lo que le ocurre al mismo en cualquier momento anterior o posterior. En palabras de Max Born en su discurso de aceptación del premio nobel (diciembre de 1954)

*«La Mecánica Newtoniana es determinista en el siguiente sentido: Si el estado inicial (posiciones y velocidades de todas las partículas) de un sistema se conoce de modo preciso, entonces el estado en otros instantes (antes o después) se puede calcular de las leyes de la mecánica. Todas las otras ramas de la física clásica han sido construidas de acuerdo a este modelo. El determinismo mecánico se convirtió gradualmente en una especie de artículo de fe: el mundo como una máquina, un autómatas. En mi opinión esta idea no ha tenido antecedentes en la filosofía antigua y medieval. La idea es un producto del inmenso éxito de la mecánica newtoniana, particularmente en la astronomía. En el siglo XIX se convirtió en un principio filosófico básico para todas las ciencias exactas.»*

Esta idea no era nueva en la física. Varios físicos/matemáticos ya se habían hecho la misma pregunta. Precisamente Pierre-Simon de Laplace (1749-1827) demostró la estabilidad del sistema solar aplicando las leyes de Newton. Este problema traía de cabeza a los físicos desde Newton ya que en apariencia el movimiento de los planetas, en especial los de Júpiter y Saturno, se desviaba de lo que era esperable según la teoría newtoniana. Para forzar que todo estuviese en orden el propio Newton escribió:

*«Porque mientras los cometas se mueven en órbitas muy excéntricas en toda clase de posiciones, el destino ciego nunca podría hacer que todos los planetas se movieran de la misma manera en órbitas concéntricas, excepto algunas irregularidades insignificantes, que pueden haber surgido de las acciones mutuas de los cometas y los planetas sobre sí mismos y entre sí, y que será apto para aumentar, hasta que este sistema necesite una reforma. [que en el contexto y por la forma que está escrito la reforma o corrección tendrá que venir de la mano de Dios]»*

Laplace demostró entre 1770-1790 que esas irregularidades eran periódicas y por lo tanto pasado cierto tiempo se repetirían las posiciones de los planetas, es decir el sistema solar era estable. Es decir, Laplace se convenció de que las ecuaciones de Newton podían perfectamente explicar de forma biunívoca cualquier fenómeno que podamos observar en la naturaleza. Ello le llevó a escribir en su famoso ensayo *“Essai philosophique sur les probabilités”* lo siguiente:

*«Una inteligencia que, en un instante dado, conociera todas las fuerzas que animan la naturaleza, y la situación respectiva de los seres que la componen, si en otra parte fuera*

*lo suficientemente compleja como para someter estos datos al análisis, englobaría en la misma fórmula la movimientos de los cuerpos más grandes del universo y los del átomo más ligero: nada sería incierto para él, y el futuro, como el pasado, estaría presente a sus ojos»*

Dicha *inteligencia* ha pasado a la posteridad con el nombre de **demonio de Laplace**. De lo que no cabe duda, al menos con los datos y cálculos actuales, es que nuestro sistema solar es lo suficientemente estable. Pero el problema subyacente que tenemos que tener en cuenta es la asunción de que podemos conocer todas las posiciones y velocidades de todas y cada una de las partículas que conforman en Universo, algo difícil de concebir como cualquiera puede imaginar, incluso en el caso de que nos restrinjamos a la física clásica (ya sabemos que el mundo atómico se rige por leyes muy distintas, las leyes de la mecánica cuántica donde en **principio de incertidumbre de Heisenberg** juega un papel fundamental).

Así pues, como Laplace, asumamos que es posible conocer el estado del Universo, es decir a priori podemos medir todas las posiciones y velocidades de todas las partículas del Universo, o de cualquiera de las magnitudes físicas que queramos medir. Para poder contrastar nuestros resultados teóricos con los observacionales lo único que necesitamos sería disponer de aparatos más y más sofisticados. De hecho a finales del siglo XIX los físicos estaban convencidos de que el futuro de la física pasaría por poder medir con mayor precisión. Por ejemplo, James C. Maxwell afirmaba:

*«Esta característica de los experimentos modernos, que consisten principalmente en mediciones, es tan prominente que parece haberse difundido la opinión de que en unos pocos años se habrán estimado aproximadamente todas las grandes constantes físicas y que la única ocupación que luego les quedará a los hombres de ciencia será continuar con estas mediciones aumentando su precisión a otro lugar de decimales.»*

Esta opinión se vería luego reforzada por las palabras del eminente físico experimental estadounidense A. A. Michelson quien en 1894 afirmó:

*«Si bien nunca es seguro afirmar que el futuro de la ciencia física no deparará maravillas aún más asombrosas que las del pasado, parece probable que la mayoría de los grandes principios subyacentes se hayan establecido firmemente y que los avances adicionales se busquen principalmente en la aplicación rigurosa de estos principios a todos los fenómenos que se nos presentan. Es aquí donde la ciencia de la medición muestra su importancia, donde el trabajo cuantitativo es más deseable que el trabajo cualitativo. Un físico eminente comentó que las verdades futuras de la ciencia física deben buscarse en el sexto lugar de los decimales.»*

Dicho “físico eminente” fue lord Kelvin, en su erróneo vaticinio del final de la investigación en una ciencia que llegó a considerar agotada.

Sin embargo, un razonamiento muy simple nos permite descubrir que la situación es mucho más complicada de lo que suponía Laplace. Así continuaba Born su discurso de aceptación del premio nobel que ya comentamos antes:

*«Me pregunté a mi mismo si esto estaba realmente justificado. ¿Se pueden realmente hacer predicciones absolutas para todo momento en la base de las ecuaciones clásicas del movimiento? Se puede ver fácilmente, mediante ejemplos sencillos, que esto solamente ocurre cuando se da la posibilidad de una medida completamente exacta (de la posición, la velocidad u otras cantidades). Pensemos en una partícula que se mueve sin fricción en una línea recta entre dos paredes, en las que experimenta un choque completamente elástico. Se mueve con velocidad constante igual a su velocidad inicial  $v_0$  hacia adelante y hacia atrás, y se puede conocer de modo exacto donde estará en cualquier momento  $t$  si conocemos de modo preciso la velocidad  $v_0$ . Pero si se permitiera una pequeña imprecisión en la velocidad  $\Delta v_0$ , entonces la imprecisión en la predicción de la posición en cualquier instante sería  $\Delta v_0 t$  y aumentaría con el tiempo  $t$ . Si uno espera*

*suficiente tiempo,  $t_c = l/\Delta v_0$ , entonces la imprecisión  $\Delta x$  se habrá convertido en la distancia total  $l$  entre las paredes. Por tanto, es imposible predecir nada acerca de la posición en un tiempo suficiente largo mayor que  $t_c$ . Por tanto, el determinismo se convierte en indeterminismo desde el momento en que se permite la menor imprecisión en los datos de la velocidad.»*

En otras palabras, incluso en el caso más sencillo de un cuerpo que se mueve sin rozamiento entre dos paredes, la imposibilidad formal de medir su velocidad con precisión infinita nos lleva a la imposibilidad de saber donde se va a encontrar pasado un tiempo muy largo. Está claro que otra vez hemos topado con una cuestión filosófica para la que los argumentos físicos por si solos no son decisivos, tal y como el propio Born escribió en 1926.

Pero asumamos por un momento que somos capaces de medir con una precisión absoluta. Entonces ¿podríamos asegurar como Laplace que sabremos todo en todo momento? ¿Realmente las ecuaciones de Newton describen un mundo determinista?

Desgraciadamente la respuesta es negativa. Quien se encargó de demostrarlo fue otro gran matemático francés Jules Henri Poincaré (1852-1912), por muchos considerado el último matemático universal, un genio donde los hubo con impresionantes aportaciones en prácticamente todas las áreas de las matemáticas desde el análisis, la geometría, topología, el álgebra, etc.

La historia resumida es como sigue: Con motivo del 60 cumpleaños del Rey Óscar II de Suecia se abrió un concurso matemático como una de las muchas conmemoraciones del evento. Se suponía que se tenía que resolver un problema de cuatro problemas sugeridos en su mayoría por Karl Weierstrass. Uno de ellos justamente tenía que ver con la estabilidad del sistema solar de la que ya hablamos. Concretamente el problema era el siguiente:

*«Dado un sistema arbitrario de muchos puntos de masa que se atraen según la ley de Newton, bajo el supuesto de que dos puntos nunca colisionan, intente encontrar una representación de las coordenadas de cada punto como una serie en una variable que sea una función conocida del tiempo y para todos cuyos valores la serie converja uniformemente.»*

En términos matemáticos la prueba de Laplace no pasaba el examen de rigor impuesto por Weierstrass. La razón fundamental se debía a que las soluciones de las ecuaciones de Newton no se podían resolver exactamente y los matemáticos/físicos lo que hacían era encontrar aproximaciones mediante series infinitas de las que se quedaban con los primeros términos. Como ejemplo de dichas series tenemos, por ejemplo, las siguientes

$$1+x+\frac{x^2}{2}+...+\frac{x^n}{n!}+... \quad \text{o} \quad 1+x+2x^2+6x^3+...+n!x^n+...$$

La primera de las series converge para todos los  $x$  reales, es una serie convergente, mientras que la segunda diverge para todo  $x \neq 0$ , es decir es una serie divergente. El problema matemático sobre la estabilidad quedaba entonces reducido, grosso modo, a si la solución se expresaba como serie convergente o divergente. La razón es que para los cálculos era imposible considerar todos los términos de la serie (que son infinitos) por lo que se tomaban solo los primeros y se despreciaban los restantes. Este procedimiento es peligroso si no sabemos el carácter de la serie pues si bien para las series convergentes se sabe que adicionar términos consecutivos cambia muy poco el resultado final, no ocurre igual en el caso de las divergentes, donde la adición de varios términos conduce a sumas cada vez mayores.

Uno de los trabajos que recibió la comisión encargada de decidir quién se llevaba el generoso premio fue el del todavía joven matemático francés de 35 años Henri Poincaré pero que ya gozaba de cierto reconocimiento en su Francia natal (era profesor de la Universidad de París desde los 27 años). El trabajo se titulaba *“Sur le problème des trois corps et les équations de la*

*dynamique*” donde Poincaré desarrolla toda una teoría geométrica muy novedosa que le permite tener una idea global del problema y responder a la pregunta sobre la estabilidad y aunque en su artículo original enviado el mayo de 1888, por el que le concedieron el premio, se detectó un error, que luego el mismo corrige tras dos años de intenso trabajo y finalmente ve la luz en 1890, en la revista *Acta Mathematica*. El propio Weierstrass reconocía de esta forma el trabajo del matemático francés: No se puede considerar que este trabajo proporcione la solución completa de la cuestión propuesta, sin embargo, es de tal importancia que su publicación inaugurará una nueva era en la historia de la mecánica celeste.

El trabajo de Poincaré tenía una extensión de 270 páginas y tuvo una influencia en la física y las matemáticas comparable con el famoso tratado sobre el calor de 1822 de Joseph Fourier por la originalidad del mismo y todas las áreas nuevas que vieron la luz tras su publicación. La conclusión final de Poincaré no podía tener mayores repercusiones: sembró en el corazón de la mecánica newtoniana la incertidumbre que ya Heisenberg había implantado en la mecánica cuántica. En otras palabras el sueño determinista de Laplace era imposible. Que mejor forma de terminar esta entrada que con la descripción que hace del trabajo de Poincaré Ivars Peterson en su libro *“El reloj de Newton, Caos en el sistema solar”*

*«Cualquier lector que se atreviera a desafiar su lenguaje difícil, estrategias no convencionales y complejidades desalentadoras experimenta un alucinante pero muy gratificante paseo por unas nuevas matemáticas con implicaciones sorprendentes para el modelado matemático de los fenómenos físicos. Con un efecto devastador, Poincaré demolió sistemáticamente la estructura que tanto apreciaba Weierstrass. Introdujo duda e incertidumbre donde el anciano (Weierstrass) había anticipado una solución matemática limpia que allanaría el camino a la certeza perpetua.»*

Y proseguía Peterson

*«Poincaré comenzó estableciendo que, aunque las ecuaciones que modelaban el movimiento de tres cuerpos que interactúan gravitacionalmente producen una relación bien definida, entre el tiempo y la posición, no existe un atajo computacional general para hacer predicciones precisas de la posición en el futuro lejano. En otras palabras, las series que surgen de la teoría de perturbaciones suelen divergir. De hecho, había mucho sitio para lo impredecible en un sistema newtoniano, y la cuestión de la estabilidad no podía resolverse directamente examinando las series divergentes asociadas con las soluciones de las ecuaciones de movimiento del sistema solar.»*

Acababa de nacer **la teoría del Caos**, una teoría magistralmente descrita con la pregunta con que el meteorólogo Edward Norton Lorenz tituló en 1972 con su célebre conferencia:

*“¿Puede una mariposa batiendo sus alas en Brasil producir un tornado en Texas?”*

## Dios si juega a los dados

Tras su aparición, la mecánica cuántica estaba destinada a explicar lo que la mecánica newtoniana no era capaz de describir: el mundo de lo “infinitamente” pequeño. Tras la publicación de los *Principia* hubo toda una explosión de estudios que desarrollaron hasta límites insospechados el conocimiento de la Naturaleza. Los métodos que estableció Newton parecía que funcionaban, dándole la razón al poeta inglés Alexander Pope, quien le dedicó a Newton el famoso epitafio:

*«Nature, and Nature's laws lay hid in night; God said, Let Newton be! and all was light.»*  
(La naturaleza y sus leyes yacían ocultas en la noche; Dijo Dios “que sea Newton” y todo se hizo luz.)

Efectivamente, siguiendo el programa de Newton se consiguieron establecer las leyes que regían los fenómenos mecánicos y electromagnéticos o se desarrolló una consistente teoría del calor

(termodinámica), entre otros avances. Además, a finales del siglo XIX, cuando todo parecía estar terminado y solo quedaban dos nubecillas que ensombrecían el horizonte de la física (las famosas nubecillas de Lord Kelvin), estas desembocaron en dos nuevas teorías que revolucionaron el mundo que conocemos de una forma difícilmente concebible en aquellos momentos.

La primera nubecilla era la inexplicable constancia de la velocidad de la luz, sin importar cómo se midiese, que desembocó en la **teoría de la Relatividad de Einstein** (primero la especial en 1905 y luego la general en 1915). De la segunda nubecilla (la aparente cuantización en los espectros de emisión del cuerpo negro) daba cuenta la **mecánica cuántica**:

Con la cuántica todo parecía empezar a tener sentido, especialmente cuando Schrödinger descubrió su ecuación de onda. Los físicos de la época estaban encantados de que por fin pudiesen tener a mano una teoría matemática asequible y no tan “retorcida” como la mecánica de matrices que proponían Heisenberg, Born y Jordan. Supuestamente con Schrödinger se volvía a un mundo continuo, a una física donde, con un poco de suerte, no habría esos mal vistos saltos cuánticos. A la elegante teoría de Schrödinger solo le quedaba por explicar una única cosa: ¿qué sentido físico tenía la dichosa función de onda  $\Psi$  que aparecía en la ecuación de Schrödinger?

Por un lado estaban los físicos que apostaban por la mecánica cuántica (Bohr, Heisenberg, Pauli, Dirac) y por el otro los que preferían algo menos revolucionario, más acordes con las ideas clásicas (Einstein, Planck, Schrödinger, Wien, etc.). Hay dos anécdotas muy bien documentadas, ambas por Heisenberg. La primera es su discusión con Einstein acerca de la mecánica matricial.

En la primavera de 1926 Heisenberg fue invitado a dar una charla sobre su mecánica de matrices en Berlín, en el famoso coloquio de física, el centro de la física en esos momentos, la casa de Einstein o Planck entre otros. Tras la charla, Einstein pidió a Heisenberg que le acompañara a su casa para seguir discutiendo sobre la nueva mecánica. En sus memorias, Heisenberg da buena cuenta de dicha conversación:

*«Lo que usted nos acaba de exponer suena de manera muy extraña —comenzó Einstein—. Usted admite que hay electrones en el átomo, y en esto, sin duda alguna, tiene razón. Pero las órbitas de los electrones en el átomo las quiere suprimir completamente, a pesar de que las trayectorias de los electrones se pueden ver de forma inmediata en una cámara de niebla. ¿Puede usted aclararme algo más exactamente las razones de estas curiosas suposiciones?»*

*Las órbitas de los electrones en el átomo no se pueden observar —repliqué—; pero, a partir de la radiación emitida por el átomo en un proceso de descarga, cabe deducir inmediatamente las frecuencias de oscilación y las correspondientes amplitudes de los electrones en el átomo. El conocimiento de la totalidad de los números de oscilación y de las amplitudes es también en la física anterior algo así como un sustitutivo para el conocimiento de las órbitas electrónicas. Y como es razonable admitir en una teoría solo las magnitudes que pueden ser observadas, me pareció natural introducir solo estos conjuntos como representantes de las órbitas electrónicas.*

*Pero usted no cree seriamente —opuso Einstein— que se puedan aceptar en una teoría física únicamente las magnitudes observables.*

*¡Yo pensaba —respondí sorprendido— que precisamente usted había establecido este pensamiento como base de su teoría de la relatividad! [...]*

*Tal vez haya utilizado yo este tipo de filosofía —respondió Einstein—; pero, a pesar de ello, resulta un contrasentido.»*

Resulta tremendamente interesante el final de dicha charla, al menos como la recuerda Heisenberg. Einstein, que intentaba entender a toda costa la idea subyacente a la mecánica cuántica de Heisenberg, le preguntó:

*«¿Por qué cree usted con tanta firmeza en su teoría, si todavía están totalmente sin aclarar tantos problemas centrales?»*

A lo que Heisenberg contestó:

*«Creo, como usted, que la sencillez de las leyes de la naturaleza tiene un carácter objetivo, que no se trata solo de una economía del pensar. Cuando la naturaleza nos lleva a formas matemáticas de gran sencillez y belleza, a formas, digo, que hasta entonces no han sido alcanzadas por nadie, no se puede dejar de creer que son 'verdad', es decir, que representan un rasgo auténtico de la naturaleza. Puede ser que estas formas traten, además, de nuestra relación con la naturaleza, que se dé en ellas también un elemento de economía del pensar. Mas como no se habría llegado nunca espontáneamente a estas formas, como nos han sido dadas primeramente por la naturaleza, pertenecen ellas también a la misma realidad, no solo a nuestro pensamiento sobre la realidad. Me puede usted reprochar que emplee aquí un criterio estético de la verdad al hablar de simplicidad y belleza. Pero debo confesar que para mí emana una fuerza de convicción muy grande de la simplicidad y belleza del esquema matemático que nos es sugerido aquí por la naturaleza.»*

Uno no puede dejar de sorprenderse por esta defensa a ultranza de que la belleza matemática ha de constituir uno de los pilares sobre los que se construye la Ciencia. Sin duda un matemático estaría encantado, pero según Heisenberg había una razón mucho más importante: esa sencillez estaba estrechamente ligada al método científico y así se lo hizo saber a Einstein:

*«La sencillez del esquema matemático tiene además como consecuencia el que sea posible idear muchos experimentos cuyo resultado pueda calcularse de antemano con gran exactitud de acuerdo con la teoría. Si posteriormente los experimentos se llevan a cabo y llegan al resultado previsto, podrá concluirse con certeza que la teoría representa en este campo a la naturaleza.»*

La segunda historia tiene que ver con la mecánica ondulatoria de Schrödinger. El propio Heisenberg cuenta que en el verano de 1926 Schrödinger fue invitado por Sommerfeld a dar una charla sobre la mecánica ondulatoria en Múnich, así que decidió pasar unos días en casa de sus padres (que vivían allí) para poder asistir a las charlas de este y poder discutir con Schrödinger sobre el tema. Así lo cuenta Heisenberg en sus memorias:

*«Schrödinger explicó primero los principios matemáticos de la mecánica ondulatoria, usando el modelo del átomo de hidrógeno, y todos nos sentimos entusiasmados al ver que un problema que Wolfgang Pauli solo había podido resolver de manera muy complicada con la ayuda de los métodos de la mecánica cuántica pudiera despacharse ahora, en forma elegante y sencilla, con métodos matemáticos convencionales. Pero Schrödinger habló al final, además, de su interpretación de la mecánica ondulatoria, a la cual yo no podía asentir. En la discusión que siguió propuse mis objeciones; especialmente me referí a que con la concepción de Schrödinger ni siquiera podía entenderse la ley de radiación de Planck. Pero esta crítica mía no tuvo resultado alguno. Wilhelm Wien respondió con agudeza que él comprendía, por un lado, mi pesar de que se acabara ya con la mecánica cuántica y de que no se necesitara hablar más de contrasentidos como los saltos de 'quanta' y otras cosas semejantes; pero esperaba, por otro lado, que las dificultades señaladas por mí serían, sin duda, solucionadas por Schrödinger en plazo breve. Schrödinger no estuvo tan seguro en su respuesta, pero también él pensaba que sólo era cuestión de tiempo el poder aclarar en su exacto sentido los problemas planteados por mí. Ninguno de los demás se sintió impresionado con mis argumentos. Incluso Sommerfeld, que me trataba siempre con cariño, no pudo escapar a la fuerza convincente de la matemática de Schrödinger.»*

Tras visitar Múnich, Schrödinger se fue a Copenhague invitado por Bohr (probablemente a causa de una carta de Heisenberg), donde fue sometido a un escrupuloso interrogatorio por parte de

Bohr. Fue tan intenso que Schrödinger cayó enfermo. Lo sigue contando Heisenberg, que fue testigo del mismo:

*«Las discusiones entre Bohr y Schrödinger empezaron ya en la estación de Copenhague, y se alargaron cada día desde las primeras horas de la mañana hasta muy avanzada la noche. Schrödinger vivía en casa de los Bohr, de forma que, por razones externas, apenas si había ocasión para interrumpir el diálogo. Bohr era siempre singularmente respetuoso y afable en el trato con los demás. Sin embargo, en esta ocasión se comportó, a mi juicio, como un fanático empedernido, que no estaba dispuesto a hacer concesión alguna a su interlocutor o a permitir la más mínima falta de claridad. Es prácticamente imposible reproducir el apasionamiento de las discusiones por ambas partes y expresar el convencimiento profundamente arraigado que se podía palpar por igual en las argumentaciones de Bohr y de Schrödinger. [...]*

*La discusión se prolongaba muchas horas de día y de noche, pero no pudo llegarse a un acuerdo. A los pocos días, Schrödinger se puso enfermo a consecuencia, tal vez, del enorme esfuerzo; tuvo que guardar cama por un resfriado con fiebre. La señora de Bohr le cuidaba y le llevaba té y pasteles, pero Niels Bohr se sentaba al borde de la cama y retornaba al tema con Schrödinger: «Usted tiene que comprender que...». No pudo llegarse a un auténtico entendimiento entonces, porque ninguna de las dos partes podía ofrecer una interpretación completa y acabada de la mecánica cuántica.»*

El propio Schrödinger recuerda su estancia en Copenhague en una carta a Wien de 1926:

*«La aproximación de Bohr a los problemas atómicos es realmente llamativa. Está completamente convencido de que cualquier comprensión en el sentido habitual de la palabra es imposible. Por consiguiente, la conversación casi inmediatamente se dirige hacia cuestiones filosóficas, y pronto uno no sabe si sostiene realmente la posición que él está atacando o si debe atacar la posición que él está defendiendo.»*

Pero la gota que colmó el vaso no fue la constatación de que ambas teorías eran matemáticamente equivalentes, sino dos descubrimientos que dieron al traste con la forma de entender el mundo que nos rodea por parte de la física clásica. El primero de ellos fue debido a Max Born, quien dio con el significado físico de la función de onda de la ecuación de Schrödinger, que fue definitivamente una bomba en los cimientos de toda la física del momento.

Aunque los físicos de la época confiaban en que la mecánica ondulatoria resolviera el problema de la física cuántica, poco a poco se dieron cuenta de que había un problema de difícil solución: el de los saltos cuánticos. ¿Cómo explicar la emisión de fotones que tan claramente se veía en los espectros atómicos?. La teoría de Schrödinger no daba respuesta a las discontinuidades de las que los saltos cuánticos eran un claro ejemplo. El propio Schrödinger, desesperado ante los muchos argumentos de Bohr en relación a la imposibilidad de eliminar los saltos cuánticos, le espetó:

*«Si por todo eso debemos limitarnos a esta condenada acrobacia de los 'quanta', lamento haber consagrado parte de mi tiempo a la teoría cuántica.»*

Fue en ese momento (mediados de 1926) cuando Max Born se dio cuenta de que una forma de entender lo que ocurría era estudiar las colisiones entre partículas, algo similar a lo que hizo Rutherford cuando descubrió, casi por accidente, el núcleo atómico.

Según la opinión de Schrödinger, las partículas no eran más que paquetes de ondas. Un paquete de ondas se puede desplazar por el espacio sin dispersarse, así que ¿por qué no asumir que en realidad las partículas no eran más que esos paquetes de onda concentrados en una pequeña región del espacio?. Yendo más lejos, intentó convencer a sus colegas de que la función de onda que describía su ecuación podría representar los electrones.

Su intuición resultó falsa. Cuando Born usó la ecuación de Schrödinger para estudiar las colisiones y usó una idea originaria del propio Einstein en uno de sus intentos de explicar la dualidad onda-



partícula para los fotones, descubrió algo muy distinto: durante una colisión, la onda que representaba la partícula (en su caso el electrón) se difuminaba. En su conferencia de aceptación del premio Nobel, Born nos lo cuenta con cierto detalle:

*«Un haz de electrones provenientes del infinito, representado por una onda incidente de intensidad conocida (i.e.  $|\Psi|^2$ ) choca contra un obstáculo, digamos un átomo pesado. De la misma forma que una onda de agua producida por un barco provoca ondas circulares secundarias al chocar contra un poste, la onda de electrones incidente se transforma parcialmente en una onda esférica secundaria cuya amplitud de oscilación  $\Psi$  difiere en diferentes direcciones. El cuadrado de la amplitud de esta onda a una gran distancia del centro de dispersión determina la probabilidad relativa de dispersión en función de la dirección. Además, si el propio átomo de dispersión es capaz de existir en diferentes estados estacionarios, entonces la ecuación de onda de Schrödinger da automáticamente la probabilidad de excitación de estos estados, el electrón se dispersa con pérdida de energía, es decir, de forma inelástica, como se le llama. De esta manera fue posible obtener una base teórica para los supuestos de la teoría de Bohr que habían sido confirmados experimentalmente por Franck y Hertz.»*

Por fin una explicación plausible de los misteriosos saltos cuánticos dentro del átomo de Bohr. Pero Born era consciente de lo que estaba haciendo: introducía la **indeterminación** dentro de la física como nunca antes nadie lo había hecho. Tal es así que en su artículo original "*Zur Quantenmechanik der Stossvorgänge*" (Sobre la mecánica cuántica de los procesos de colisión), escribió:

*«Por tanto, la mecánica cuántica de Schrödinger da una respuesta bastante definida a la cuestión del efecto de la colisión, pero no se trata de una descripción causal. No se obtiene respuesta a la pregunta «¿cuál es el estado después de la colisión?», sino solo a la pregunta «¿qué tan probable es un resultado específico de la colisión?» [...]*

*Aquí surge todo el problema del determinismo. Desde el punto de vista de nuestra mecánica cuántica, no hay ninguna magnitud que en cada caso determine causalmente el resultado de la colisión, pero tampoco experimentalmente por el momento tenemos ninguna razón para creer que existan algunas propiedades internas del átomo que condicionen un resultado definitivo para la colisión. ¿Debemos esperar descubrir más tarde tales propiedades (...) y determinarlas en casos individuales? ¿O deberíamos creer que el acuerdo de la teoría y el experimento es una armonía preestablecida fundada en la inexistencia de tales condiciones?. Yo mismo me inclino a renunciar al determinismo en el mundo de los átomos. Pero esa es una cuestión filosófica para la que los argumentos físicos por sí solos no son decisivos.*

El planteamiento de Born era tan revolucionario que hubo de pasar un tiempo hasta que la comunidad científica lo asumiera. Ni a su colega Heisenberg le gustaba la idea... pero eso estaba por cambiar, cuando poco después el mismo Heisenberg descubriera el principio de incertidumbre que lleva su nombre y que vino a dar la estocada mortal al determinismo en la física.

Como colofón en este punto de la historia vale la pena reproducir los fragmentos de la carta de Einstein a Born fechada el 4 de diciembre de 1926, seguramente un tiempo después de haber leído su atrevida conclusión:

*«La mecánica cuántica es ciertamente imponente. Pero una voz interior me dice que aún no es real. La teoría dice mucho, pero en realidad no nos acerca al secreto del 'viejo'. Yo, en todo caso, estoy convencido de que 'Él' no está jugando a los dados.»*

A partir de ese momento Einstein siempre insistió, a la hora de hablar sobre la mecánica cuántica, de que Dios no juega a los dados. Nada le hizo cambiar de opinión. A lo largo de su vida siempre sostuvo que la mecánica cuántica era incompleta. Así, en otra carta a Born (a quien le unía una gran amistad), fechada casi 20 años después, el 7 de septiembre de 1944, escribió:

*«Nos hemos convertido en antípodas en relación a nuestras expectativas científicas. Tú*

*crees en un Dios que juega a los dados, y yo, en la ley y el orden absolutos en un mundo que existe objetivamente, y el cual, de forma insensatamente especulativa, estoy tratando de comprender [...]. Ni siquiera el gran éxito inicial de la teoría cuántica me hace creer en un juego de dados fundamental, aunque soy consciente de que nuestros jóvenes colegas interpretan esto como un síntoma de vejez. Sin duda llegará el día en que veremos de quién fue la actitud instintiva correcta.»*

Al final Einstein “perdió” su apuesta (otra interesante para contar en el futuro), pues al parecer sí que se necesita de un juego de dados para poder explicar y predecir los fenómenos del mundo microscópico. No obstante, su frase Dios no juega a los dados se ha quedado para siempre en nuestro acervo cultural.

Vemos como, gracias a Max Born, entraba en la física la probabilidad de una manera totalmente nueva. No como ya lo había hecho, por ejemplo, en el caso de la mecánica estadística que, dada la imposibilidad de resolver los millones de ecuaciones de movimiento para los millones de partículas que hay por ejemplo en una habitación, se desarrolló una imponente teoría estadística, donde la probabilidad juega un papel esencial.

Este no era el caso descrito por Born en su artículo donde estudiaba la colisión de únicamente dos partículas: un electrón que colisionaba con un átomo pesado o con otro electrón, donde para poder explicar los resultados de los experimentos de las colisiones Born concluyó que la función de onda  $\Psi$  introducida por Schrödinger tenía que entenderse no como una onda de materia sino como una densidad de probabilidad. Al final del artículo Born concluía que la mecánica cuántica ya sea en la formulación de Schrödinger como en la de Heisenberg no podía responder a la pregunta “¿cuál es el estado después de la colisión?”, sino solo a la pregunta “¿qué tan probable es un resultado específico de la colisión?” y terminaba con una afirmación todavía más rotunda: había que abandonar la causalidad y el determinismo tan intrínsecamente ligado a la física clásica. Así concluía su trabajo de 1926:

*«Aquí surge todo el problema del determinismo. Desde el punto de vista de nuestra mecánica cuántica, no hay ninguna magnitud que en cada caso determine causalmente el resultado de la colisión, pero tampoco experimentalmente por el momento tenemos ninguna razón para creer que existan algunas propiedades internas del átomo que condicionen un resultado definitivo para la colisión. ¿Debemos esperar descubrir más tarde tales propiedades (...) y determinarlas en casos individuales? ¿O deberíamos creer que el acuerdo de la teoría y el experimento es una armonía preestablecida fundada en la inexistencia de tales condiciones? Yo mismo me inclino a renunciar al determinismo en el mundo de los átomos. Pero esa es una cuestión filosófica para la que los argumentos físicos por sí solos no son decisivos.»*

La interpretación de Born fue un mazazo para la física clásica y quizá hubiese pasado desapercibida a no ser por un artículo que publicó Heisenberg muy poco después, en marzo de 1927, titulado “*Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik*” que se podría traducir como “Sobre el contenido perceptual de la cinemática y mecánica teórica cuántica”, donde Heisenberg formula lo que hoy se conoce como el **Principio de incertidumbre (o indeterminación) de Heisenberg**.

Tenemos que las formulaciones de la teoría cuántica de Heisenberg (mecánica matricial) y la de Schrödinger (mecánica ondulatoria) eran matemáticamente equivalentes, significando que ambas describían muy bien los procesos subatómicos pero había algo que las distanciaba: su interpretación física. La mecánica ondulatoria parecía poder conseguir apartar de la física los saltos cuánticos intrínsecos en la mecánica matricial y acabar con esa dualidad continua-discreta (onda-partícula) de una vez, pero no estaba nada claro cuál era el significado físico de la función de onda. Cuando se comprobó que ambas eran equivalentes (matemáticamente), el problema se

agudizó aún más. ¿Cómo era posible que dos teorías aparentemente tan dispares eran capaces de explicar tan bien los mismos fenómenos? ¿Cómo interpretar correctamente la recién descubierta mecánica cuántica? ¿Era solo un ardid matemático o había algo más? Tras la famosa visita de Schrödinger a Copenhague, Born y Heisenberg, que se había desplazado allí como ayudante de Bohr, se dedicaron de lleno a esa tarea. Heisenberg lo contó así en sus memorias:

*«En los meses siguientes, la interpretación física de la mecánica cuántica constituyó el tema central de los coloquios que mantuvimos Bohr y yo. Mi habitación estaba situada entonces en el piso más alto del edificio del Instituto, en un pequeño ático bellamente decorado, con paredes inclinadas, desde el que se podía divisar la arboleda que hay a la entrada del parque Fælled. Bohr venía con frecuencia a mi cuarto ya muy entrada la noche, y discutíamos todos los experimentos mentalmente posibles para ver si en realidad habíamos entendido de manera completa la teoría. Pronto se vio que Bohr y yo buscábamos la solución de las dificultades en direcciones algo distintas. Bohr pretendía yuxtaponer equiparadas las dos representaciones intuitivas, la imagen de partículas y la imagen de ondas, con lo que intentaba formular que estas representaciones se excluyen, sí, recíprocamente, pero que ambas juntas y sólo juntas hacían posible una descripción completa del acontecer atómico. No me agradaba, lo confieso, esta manera de pensar.*

Al mismo tiempo que discutía con Bohr, Heisenberg mantenía una intensa correspondencia con su amigo Pauli sobre los avances de ambos en el entendimiento de la nueva mecánica cuántica. Según Cassidi, el biógrafo de Heisenberg ese intercambio epistolar fue uno de los catalizadores que llevó a Heisenberg a enunciar su principio de incertidumbre.

El 19 de octubre de 1926 Pauli le escribió una carta a Heisenberg donde le explicaba, entre otras cosas, que había extendido la interpretación probabilística de Born no solo a los estados del átomo o del electrón tras una colisión, sino que, en general, el cuadrado de la función de onda de Schrödinger daba la densidad de probabilidad de encontrar al electrón en una determinada posición. Además le contaba algo tremendamente curioso que había descubierto. Cuando intentaba describir el estado de su sistema solo lo podía hacer en términos de las coordenadas (denotadas por la letra  $q$ ), o de los momentos  $p$  ( $p=m \cdot v$ , donde  $v$  es la velocidad). En palabras de Pauli

*«Podemos ver el mundo con el ojo de las “p” y podemos ver el mundo con el ojo de las “q”, pero si abrimos ambos ojos juntos, entonces nos volvemos locos.»*

Heisenberg discutió las ideas de Pauli con Dirac (de visita en Copenhague) y por supuesto con Bohr y descubrió que Dirac se había topado con algo similar: parecía que sólo se podía saber lo que ocurría en el mundo cuántico cuando se consideraban las variables  $p$  o las  $q$ , ¡pero no si se usaban las dos al mismo tiempo!

Mientras ocurría todo este intercambio de ideas Bohr no dejaba de darle vueltas a la interpretación de la Mecánica Cuántica (lo que hoy se conoce como la interpretación de Copenhague) y no paraba de discutir con Heisenberg sobre ello como ya mencionamos antes. Ambos terminaron extenuados tras días y días de discusiones que muchas veces tenían lugar a altas horas de la noche así que Bohr se fue a esquiar y dejó solo a Heisenberg en Copenhague dándole vueltas al problema. Fue durante esos días en soledad [febrero-marzo de 1927] que, como mismo le ocurriera con la mecánica matricial, Heisenberg dio con el argumento definitivo. Para ello se centró en entender un ejemplo muy sencillo pero a la vez revelador: explicar la trayectoria de un electrón en una cámara de niebla. Así lo cuenta en sus memorias:

*«Concentré entonces mis esfuerzos totalmente en la cuestión de cómo en la mecánica cuántica puede representarse matemáticamente la trayectoria de un electrón en la cámara de niebla. Cuando una de las primeras tardes tropecé en mi análisis con dificultades totalmente insuperables, comprendí con claridad meridiana que posiblemente habíamos planteado la cuestión de manera equivocada. Pero ¿qué es lo que podría haber de equivocado en el planteamiento? La trayectoria del electrón en la cámara de*

*niebla era un hecho, ya que se la podía observar. El esquema matemático de la mecánica cuántica era un hecho también, y demasiado convincente, para permitirnos cambios ahora. Por tanto, se podía establecer—contra todas las apariencias exteriores—la conexión. Tal vez fue aquella tarde, hacia la medianoche, cuando súbitamente recordé mi conversación con Einstein, y me acordé de su afirmación: “Sólo la teoría decide sobre lo que puede observarse”.»*

Así que Heisenberg se fue a dar un paseo por el el parque Fälld para poder pensar sobre esta afirmación de Einstein y fue durante ese paseo cuando se le ocurrió la solución. La pregunta que se hizo Heisenberg fue concretamente ¿con cuánta precisión podemos medir la posición y velocidad del electrón? Formalmente dicha precisión podría ser tan alta como se quisiese. Pero era aquí donde comenzaban a aparecer los problemas como le habían comentado Pauli y Dirac, o miras con el ojo  $q$  o con el ojo  $p$  ... En sus propias palabras:

*«Nosotros habíamos dicho siempre con cierta superficialidad: la trayectoria del electrón puede observarse en la cámara de niebla [...] La auténtica pregunta debería, por tanto, formularse así: ¿Se puede representar, dentro de la mecánica cuántica, una situación en la cual aproximadamente—es decir, con una cierta imprecisión—se encuentre un electrón en un lugar dado, y también aproximadamente—es decir, de nuevo con una cierta imprecisión—posea una velocidad dada, y se pueden hacer estas imprecisiones tan pequeñas de forma que no se encuentren dificultades con el experimento?»*

Con todas esas ideas bulléndole en la cabeza Heisenberg se fue a su habitación y armado con el nuevo formalismo matemático (muy elegante y general) para la mecánica cuántica que acababan de desarrollar Dirac por un lado y Jordan (el mismo Jordan que junto a Heisenberg y Born desarrolló la Mecánica matricial) por otro se puso a sacar cuentas ... y descubrió algo que no sólo cambiaría la física cuántica, sino que cambiaría toda la física y tendría implicaciones incluso en la filosofía: descubrió que, efectivamente, no se podía medir con precisión absoluta la velocidad y la posición de una partícula. En sus propias palabras:

*«El producto de las indeterminaciones para la localización y cantidad de movimiento (el momento lineal  $p$ ) no podía ser más pequeño que el ‘quantum’ de acción de Planck.»*

Concretamente comprobó que si  $\Delta x$  era el error (incertidumbre) al medir la posición del electrón (una partícula en general) y  $\Delta p$  era el error al medir la cantidad de movimiento, entonces, siendo  $h$  la constante de Planck, se tenía que:

$$\Delta x \cdot \Delta p \approx h$$

Es decir, si nuestra medición de la posición es muy precisa perderemos precisión en la medición de la velocidad y viceversa.

Para entender lo novedoso del resultado de Heisenberg conviene hacer una pequeña aclaración. Es bien conocido que cuando hacemos cualquier medición, dicha medición siempre tiene asociado cierto error, bien por las limitaciones del instrumento de medida, o por errores procedimentales a la hora de llevar a cabo la medición, o por errores de calibrado en el instrumento de medición empleado. Si depurásemos nuestra técnica, o usáramos un instrumento más preciso podríamos ir disminuyendo ese error hasta hacerlo, en principio, tan pequeño como hiciera falta.

Lo que Heisenberg había descubierto iba mucho más allá pues su relación, escrita en términos de la desviación estándar  $\Delta x$  de la posición y el momento  $\Delta p$ , establecía que para todo sistema mecánico cuántico tenía que cumplirse la siguiente desigualdad:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar = \frac{h}{4\pi}$$

Es decir, si se era capaz de medir con una gran precisión la posición de un objeto, se perdería precisión en la medición del impulso (velocidad). No era una cuestión del instrumento a usar, era

una consecuencia de la propia teoría cuántica «Sólo la teoría decide sobre lo que puede observarse»: o bien la posición o bien la velocidad, pero ambas al mismo tiempo eran imposible medirlas con precisión arbitraria.

Heisenberg envió una carta a Pauli de 14 páginas el 23 de febrero de 1927 contándole lo que había descubierto y como lo había hecho y que le sirvió para escribir su artículo más famoso (más aún si cabe que su primer trabajo sobre la mecánica matricial). Curiosamente cuando Bohr lo leyó descubrió una inexactitud en ciertos comentarios de Heisenberg y le insistió en que debía tenerse en cuenta la dualidad onda-corpúsculo, algo a lo que se resistía Heisenberg. La discusión sobre ese tema fue tan enconada que en algunos momentos Heisenberg llegó a echarse a llorar (hay testigos que lo corroboraron, Pauli entre ellos, pues lo invitaron a mediar en la “pelea” entre el danés y el alemán).

Finalmente Heisenberg cedió pues se dio cuenta que Bohr tenía razón e incluyó un párrafo final de su trabajo, ya en prensa, agradeciéndoselo.

*«Después de completar el presente trabajo, las investigaciones recientes de Bohr han llevado a puntos de vista que requieren una profundización y un refinamiento sustanciales del análisis de las relaciones mecánico-cuánticas que se intentan en este trabajo. En este contexto, Bohr señaló que había pasado por alto puntos importantes en algunas de las discusiones de este trabajo. Sobre todo, que la incertidumbre en la observación no se debe exclusivamente a la ocurrencia de discontinuidades, sino que está directamente relacionado con el requisito de abarcar simultáneamente fenómenos que tienen su origen en la teoría corpuscular por un lado y en la teoría ondulatoria por el otro.»*

Uno de los experimentos mentales en los que se basó Heisenberg para mostrar el funcionamiento del principio de incertidumbre lidiaba con un microscopio imaginario de rayos gamma (fotones de gran energía) y para ello fue fundamental entender el poder de resolución de un microscopio, algo sobre lo que le preguntó Wein durante su examen de doctor y que Heisenberg no supo responder en aquel momento. Resulta curioso como por un lado Einstein y por el otro Wein, ambos contrarios a la mecánica cuántica ayudaron de una forma peculiar a Heisenberg a encontrar el que, sin duda, fue el resultado (y probablemente siga siendo) más controvertido de la Mecánica Cuántica (y probablemente de toda la física) y que terminó echando por tierra con el sueño de la Física Clásica de describir el mundo con una precisión infinita. En palabras del propio Heisenberg

*«En la formulación estricta de la ley causal ‘si conocemos el presente podremos calcular el futuro’ lo que falla no es la conclusión, sino la premisa.»*

A Einstein no le hizo ninguna gracia ni la interpretación probabilística y mucho menos el principio de incertidumbre por lo que se dedicó durante toda la 5ª Conferencia Solvay celebrada en 1927, donde los principales físicos del momento discutieron sobre la recientemente formulada teoría cuántica (la mecánica cuántica, la mecánica matricial, el principio de incertidumbre, entre otras cosas) a proponerle todas las mañanas a Bohr experimentos imaginarios para demostrarle lo errado de esa interpretación, experimentos que por la noche este le desmontaba. Rendido cuentan que Einstein le dijo a Bohr “Dios no juega a los dados”, pero Bohr sin amilanarse le contestó «Einstein, deja de decirle a Dios qué hacer».

Hoy la mecánica cuántica y con ella el principio de incertidumbre son aceptados mayoritariamente, y no solo por el enorme éxito de la teoría cuántica, sino porque no se ha conseguido encontrar un solo experimento que la contradiga. De este tema y de la posición de Einstein en los años posteriores hablaremos en una próxima entrada.

## Interpretación de Copenhague y el “colapso” de la función de onda: El problema de la medida

En la interpretación de Copenhague aparecen ligadas cuestiones epistemológicas y ontológicas, aunque dada la atmósfera neopositivista en que vieron la luz, se las trató de evitar infructuosamente. El núcleo central de la interpretación recoge la tesis de Bohr de que los conceptos clásicos con que la física describía el mundo siguen siendo necesarios para explicar los fenómenos cuánticos tal y como nuestros instrumentos los detectan y miden, pero no son aplicables a los sistemas cuánticos considerados *en sí mismos*, pues dichas características medidas sólo se puede decir que adquieran “realidad” en el conjunto del dispositivo experimental. Así, para Bohr y la Escuela de Copenhague, la realidad física sería el conjunto de fenómenos definidos desde la interacción objeto observado y aparato de observación-observador, sin que sea posible la división del mundo en sistemas parciales o individuales perfectamente definidos y delimitados con respecto al resto e independientes de las condiciones experimentales en las que se dan. Lo real es lo observable, y como la observación no es un proceso ininterrumpido, la descripción sólo puede ser discontinua, sin que el físico sea capaz de responder a la pregunta por lo que sucede «realmente» entre dos observaciones. Según Heisenberg:

*«Si queremos describir lo que sucede en un acontecimiento atómico debemos comprender que el término «sucede» sólo puede aplicarse a la observación, no al estado de cosas entre dos observaciones»*

Más que de propiedades o atributos, el lenguaje de la teoría cuántica habla de procesos e interacciones. En palabras de Bohr:

*«La magnitud finita del cuanto de acción impide hacer una distinción neta entre el fenómeno y el instrumento de observación»*

El fenómeno observado no puede ser descrito como el comportamiento del propio objeto, siendo el resultado de la completa situación experimental, incluyendo el instrumento de medida. Se trata de un punto de vista empirista coherente que rechaza la introducción en física de toda referencia a lo no-observable, actitud a la que necesariamente tenía que oponerse el racionalista Einstein. Por el contrario, Bohr alega:

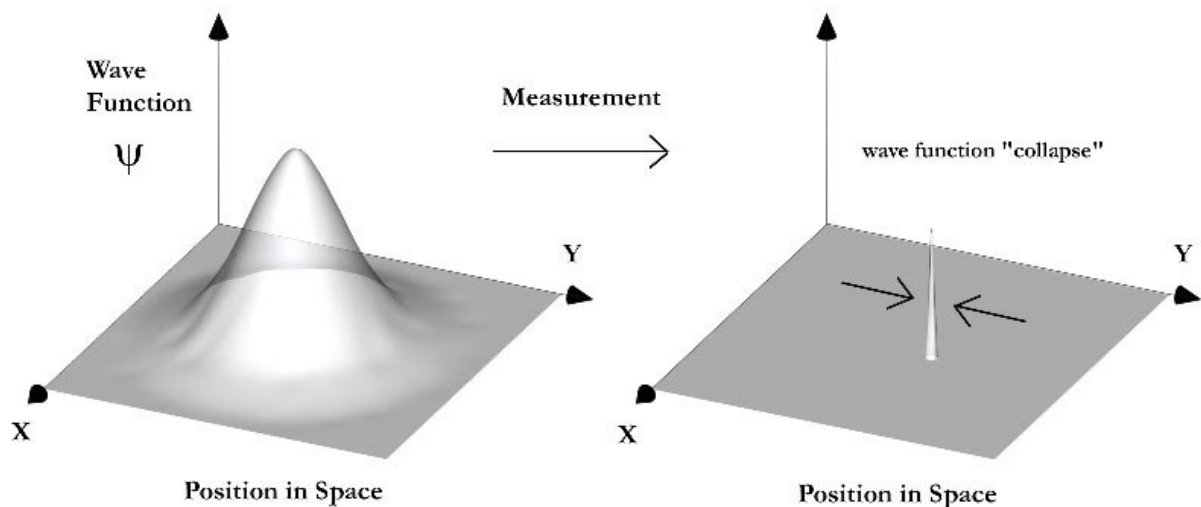
*«Nos encontramos aquí bajo un nuevo aspecto, esa antigua verdad que dice que al describir los fenómenos nuestro propósito no es revelar su esencia misma sino establecer sólo, y en la medida de lo posible, relaciones entre los múltiples aspectos de nuestra experiencia»*

Y que Heisenberg complementa con una conclusión dura de oír en palabras de un físico:

*«Las leyes naturales que se formulan matemáticamente en la teoría cuántica no se refieren ya a las partículas elementales en sí, sino a nuestro conocimiento de dichas partículas»*

Nos encontramos con lo que se conoce como el **problema de la medida** de la mecánica cuántica. Si partimos de la ecuación de Schrödinger lo que tenemos es una distribución de probabilidad que tendremos de encontrarnos con una cierta partícula en un instante y posición dados en cada momento de tiempo, y que no será hasta que efectuemos la medición en sí que podremos determinar dichas variables. Esto es lo que viene a denominarse como colapso de la función de onda, pues es en dicho momento en que se lleva a cabo la observación que dicha distribución probabilística “colapsaría” en los valores concretos obtenidos al medir en un valor concreto.

## The Copenhagen Interpretation:



Este concepto del colapso de la función es la propia de la denominada interpretación de Copenhague (pues son varias y conflictivas las interpretaciones al respecto de la mecánica cuántica) y que establece una serie de reglas al respecto de la función de onda y su colapso:

- Cuando no se hace una medición
  - Los sistemas se describen como funciones de onda.
  - Las funciones de onda están regidas por la ecuación de Schrödinger.
- Cuando se hace una medición
  - La función de onda “colapsa” en un valor concreto.
  - **Regla de Born:** El carácter complejo de la función de onda (componente imaginario  $i$ ) lleva a Born a negar la interpretación realista de la  $\Psi$  de Schrödinger, pero puesto que  $i^2 = -1$  sí que puede atribuir significado real a  $|\Psi^2|$ , ante lo que aplica un razonamiento similar al que hiciera Einstein en relación a la dualidad onda-partícula en relación al fotón y para el que el cuadrado de su amplitud de onda daba cuenta de la densidad de probabilidad de la existencia de protones en un punto dado. Establece así Born un postulado fundamental en la mecánica cuántica que determina la probabilidad de que una medición en un sistema cuántico produzca un resultado dado. En su forma más simple, establece que la densidad de probabilidad de encontrar un sistema en un determinado estado, cuando se mide, es proporcional al cuadrado de la amplitud de la función de onda del sistema en ese estado (no es la probabilidad de que esté, sino la probabilidad de encontrarlo al medir).

$$p(x, y, z, t_0) = |\Psi(x, y, z, t_0)|^2$$

Esta consideración se presenta problemática, en especial si la comparamos con la tradición de la mecánica clásica que sentaba un conjunto de reglas estáticas que siempre se cumplían en tanto que al proceso de medición se refiere, mientras que aquí nos encontramos con dos conjuntos de reglas distintos según en que situación de observación (o no observación) nos encontremos. Esta es la realidad que representa la conocida paradoja del gato de Schrödinger, que si bien fue planteada a modo sarcástico, resultó ser un buen modo de explicar lo que parece que en realidad ocurre en los sistemas cuánticos.



## Consecuencias de la mecánica cuántica: cuestionamiento del realismo e ideal de ciencia sin sujeto de Einstein frente a la postura instrumentalista de Bohr

Aceptar que la física tenga por objeto una realidad que existe independientemente del sujeto, sea observable o no, y que pueda ser conocida en sí misma al margen de toda intervención o aporte de la mente humana, garantizando así la objetividad del conocimiento, siendo así toda desviación del realismo extremadamente peligrosa por cuanto conduciría a consecuencias **subjetivistas** (o peor, solipsistas) según las que, en último término, el mundo sería una «invención» del sujeto y la física se convertiría en un híbrido de física y psicología que debería incluir referencia a los propios estados mentales y anímicos del observador. Esta confusión sujeto-objeto haría perder la objetividad científica. Aún así no faltan defensores del realismo ante los planteamientos cuánticos:

Según Bunge:

*«Algunos físicos (...) han creído que la refutación experimental de las desigualdades de Bell conlleva la refutación del realismo. Esta afirmación es insostenible. (...) El experimentador no crea las cosas con solo imaginarlas, sino que manipula y modifica cosas en sí con la ayuda de teorías que no incluyen referencia alguna a sus propios estados mentales»*

Según Popper:

*«el ataque al realismo, aunque intelectualmente interesante e importante, es bastante inaceptable, sobre todo después de dos guerras mundiales y del sufrimiento real que produjeron inexcusablemente; y me parece que cualquier argumento contra el realismo que se base en la moderna teoría atómica —en la mecánica cuántica— debe ser silenciado por el recuerdo de la realidad de los acontecimientos de Hiroshima y Nagasaki»*

Sean o no adecuadas las defensas anteriores, cabe plantearse cuestiones tales como:

- ¿cuál es el papel que hay que atribuir al sujeto en el establecimiento y conocimiento de la realidad física o incluso si debe atribuírsele alguno?
- ¿en qué medida el sujeto forma parte del proceso de objetivación científica o si por el contrario la objetividad en sentido estricto excluye toda referencia a aquél?
- ¿hasta qué punto es posible fundamentar la existencia continua de una realidad exterior al sujeto e independiente de él o bien si ésta no exige fundamentación alguna?

Está así en juego el ideal de una ciencia sin sujeto, el ideal de un conocimiento objetivo acerca de lo real que no contemple la intervención de éste, siendo esta postura habitualmente asociada a la identificación de una física realista.

Fruto de los debates entre Einstein-Bohr en las conferencias Solvay, puede atenderse a una postura de Einstein que aspiraría a un **ideal de ciencia sin sujeto**, que se caracterizaría por:

- Posición epistemológica abiertamente apriorista donde el papel de la razón no se limita a combinar y enlazar el material sensible dado, sino que éste ha de ser «ordenado» para que pueda ser «comprendido» con elementos que la razón forma por sí misma con independencia de la experiencia.
- Einstein no puede fundamentar la existencia de un mundo exterior real si no es mediante la intervención del sujeto que «crea» el concepto de objeto material y le atribuye una realidad no reductible al conjunto de impresiones sensoriales.
- Las afirmaciones de Einstein. por otro lado muy conocidas, en las que se refiere a una realidad independiente de la experiencia e inaccesible a ella son consecuencia, no de su credo epistemológico, sino de su credo metafísico-religioso, estando éste último en abierta contradicción con el anterior.

- La polémica que Einstein mantuvo con la Escuela de Copenhague estriba fundamentalmente, no en la eliminación del sujeto, sino en el modo de objetivación de la experiencia. Lo que se discute es si la ordenación de lo percibido en la mecánica cuántica puede seguir realizándose desde el concepto de «objeto material» de la física de Newton o de Maxwell, o dicho de otro modo, si los átomos son «objetos» en el mismo sentido que lo son los cuerpos a nivel macro, o bien si exigen un sentido nuevo e incompatible con el anterior que pondría en entredicho nuestras convicciones más arraigadas con respecto a la noción de realidad física.

En consecuencia, es el **concepto de objeto material** el que está en litigio, siendo Einstein el que puede, o desea, garantizar el concepto clásico gracias al papel que atribuye al sujeto en el conocimiento de la realidad física, en tanto que los físicos de Copenhague, cuyo sujeto ha quedado reducido a la condición de mero observador físico, diluyen los objetos físicos en situaciones experimentales que no garantizan su realidad continua y permanente.

### Ciencia natural y epistemología

La cuestión sobre qué es la realidad física depende de cómo se responda a la cuestión sobre qué es el conocimiento; si es relación teoría-experiencia, o entre racional-empírico. Para Einstein,

*«todo conocimiento de la realidad comienza en la experiencia y desemboca en ella»*

*«la experiencia es el alfa y el omega de todo nuestro conocimiento de ella»*

Sin embargo, nada derivaría lógicamente de ella; es tarea de la razón la formación de conceptos y proposiciones, que no se abstraen ni se infieren de lo dado en las sensaciones; sin un camino lógico que lleve de las impresiones sensibles a los conceptos sino que éstos son libre creación de la mente humana, de modo que no sólo los conceptos, sino también las proposiciones generales o leyes y todo cuanto constituye el contenido de una teoría científica sería resultado exclusivo del trabajo de la razón, no derivado en ningún caso de la experiencia.

Con esta concepción **apriorística**, Einstein vierte la responsabilidad sobre la intuición del científico para la elaboración de las teorías, en una suerte de inspiración creativa (influenciado quizá por su propio modo de proceder mediante los experimentos mentales) sin que hubiera en principio ninguna relación entre la actividad racional y la empírica. Para Einstein, esta labor de comprensión de nuestra razón tendría la función de establecer un cierto orden en las impresiones sensoriales, producido por la creación de conceptos (los mínimos posibles) que intuitivamente darían cuenta de dichas experiencias. Así,

*«El objetivo último de la ciencia es una comprensión tan completa como sea posible de la conexión entre las experiencias sensoriales en su totalidad y el logro de ese objetivo mediante el uso de un mínimo de conceptos primarios y de relaciones. Se busca, en la medida de lo posible, una unidad lógica en la imagen del mundo, es decir, parvedad en los elementos lógicos»*

### La noción de realidad física

En palabras de Einstein:

*«La física es un esfuerzo por aprehender conceptualmente la realidad como algo que se considera independiente del ser percibido. En este sentido se habla de lo físicamente real»*

*«La creencia en un mundo exterior e independiente del sujeto que percibe es la base de toda la ciencia natural. No obstante, dado que la percepción sensorial sólo brinda una información indirecta de ese mundo exterior o realidad física, únicamente podemos captar ésta última por medios especulativos»*

Para Einstein, establecer un mundo exterior real necesita formar el concepto de objeto material, que como todo concepto sería libre creación de la mente humana. En contra de lo que defendería un empirista, un objeto material no sería un conjunto de impresiones sensibles dados sino un concepto puesto por la mente que nos permite «*orientarnos en el laberinto de impresiones sensoriales*» (mediante un orden que las haga inteligibles y permita *comprenderlas*). Son los conceptos en definitiva, lógicamente independientes de la experiencia, los que determinan la posibilidad de objetos, e incluso de la experiencia misma, entendiendo por tal un conjunto organizado de impresiones sensibles. Son estos *objetos materiales* los que se convertirán en la realidad externa e independiente del sujeto, mediante la atribución de significación independiente de las impresiones sensoriales al concepto de objeto material que ha nacido como una construcción de la mente para ordenar dichas impresiones, y poder así afirmar que tiene existencia real, o sea, existencia externa.

Desde sus presupuestos epistemológicos, sólo cabría atribuir existencia a las impresiones sensoriales ordenadas bajo la forma de un concepto, el concepto de objeto, pero sin que quepa hablar de un mundo trascendente e independiente de las impresiones mismas.

Esta postura sería innecesaria pues Einstein nunca introduce esa realidad externa independiente como la causa de las sensaciones, con lo que no se ve por qué la ciencia física, que se refiere a un mundo empírico, necesitaría una realidad más allá de la experiencia. ¿Por qué insistía entonces Einstein en esto?; no tiene más fundamento que el que tiene una creencia. Creencia en que «*la naturaleza es la realización de las ideas matemáticas más simples que se pueda concebir*», en que «*lo lógicamente simple es también real*», de modo que con el «*pensamiento puro*» de las construcciones matemáticas es posible captar la realidad «*en toda su profundidad*».

Con marcado carácter pitagórico y neoplatónico, Einstein afirma «*creer*» en un orden independiente de la experiencia e inaccesible a ella, que no es sino la realización de estructuras matemáticas que representan para el físico la posibilidad de conocer cómo es la Naturaleza y «*también alcanzar en lo que sea posible la meta, utópica y aparentemente arrogante, de conocer por qué la Naturaleza es como es y no de otra manera. Siempre se ha encontrado aquí el encanto particular de las consideraciones científicas: o dicho de otra forma, la base religiosa del esfuerzo científico*».

Sin necesidad de señalar las resonancias keplerianas de estas afirmaciones, conviene recordar lo que Einstein llamaba su «*religión cósmica*», no ligada a ningún dios personal y que encuentra su razón de ser en el sentimiento de «*asombro extasiado*» que despierta en el científico la contemplación de la armonía natural (a lo dios de Spinoza). Aspirar a la Verdad justifica el esfuerzo que supone dedicar una vida a la investigación científica, pese a que esa Verdad con mayúsculas no es sino un «*límite ideal del saber al que se aproxima el entendimiento humano*» sin llegar jamás. Se ve por tanto que Einstein habla de una «*realidad exterior*» a dos niveles

- **Nivel «físico-epistemológico»:** como resultado de la labor constructiva de la mente al explicar el material aportado por los sentidos, nos hallamos ante un orden de «*realidad existente*» que no se identifica con la «*realidad experimentada*»
- **Nivel «metafísico-religioso»:** para el que «*el eterno misterio del mundo es su comprensibilidad*» y en el que quizá una asombrosa «*armonía preestablecida*» rige el mundo del pensamiento y el mundo de los fenómenos.

La realidad existente no se identifica con la realidad percibida, pero ello no significa que aquella sea algo «*más allá*» de ésta. La realidad existente no es algo independiente del sujeto sino construida por él en el sentido ya expuesto. Luego, cuando Einstein nos habla de realidad en un sentido trascendente, no lo hace desde sus concepciones epistemológicas sino desde ese otro orden metafísico-religioso que parece imponérsele como una creencia ineludible, como una convicción necesaria desde el punto de vista estético, pero no científico.

## La mecánica cuántica: una nueva forma de objetivar la experiencia

La mecánica cuántica obligó a **revisar la noción de objeto material aplicada al mundo atómico**, la posibilidad de mantener a nivel micro la ordenación de las impresiones sensoriales bajo el concepto de «objeto» acuñado a nivel macro por la física clásica.

Para Einstein todo objeto físico consiste en un sistema individual no reductible a lo que conocemos de él a través de los procesos de observación y medida, que «tiene» magnitudes estrictamente determinadas y que ha de estar localizado en el espacio y en el tiempo, de lo que resulta su separabilidad o independencia de lo alejado espacialmente. La descripción completa de los objetos así definidos es lo que constituye «*el espíritu programático de todo físico*». Lo que convierte a «lo dado en las impresiones sensibles» en «objetos» es la atribución de un principio de unidad y permanencia, fruto del cual son las características mencionadas: posesión de propiedades o magnitudes con independencia de la observación, existencia continuada en el espacio tiempo. separabilidad. etc. Pero no olvidemos que la atribución de dicho principio no tiene fundamento empírico sino que es obra del sujeto que forma libremente conceptos. Unicamente el producto de la razón es capaz de convertir las impresiones sensibles en objetos de conocimiento, sin los que no habría ciencia objetiva. Y esto ha de valer para los átomos o las partículas elementales como vale para los astros. De lo contrario ordenar las observaciones en el ámbito microfísico sería imposible, y con ello la propia teoría cuántica. Lo peculiar e inquietante de la cuántica es que se ha construido sobre la base de tener que negar la validez a todos y cada uno de estos requisitos considerados por Einstein (y demás físicos clásicos) como indispensables a toda objetividad científica:

1. Lo supuestamente real varía según sea observado o no, pues todo acto de medición introduce una modificación en aquello medido, pero:
  - En física clásica esta modificación es despreciable al considerarse como continua o infinitamente reductible sin existir un límite teórico que impida su progresiva disminución
  - En mecánica cuántica, el cuanto de acción implica interacción entre el objeto y el aparato de medida imposible de reducir infinitamente y que puede eliminarse. Ya no es sólo que las leyes de la mecánica cuántica, más que a la realidad exterior, hagan referencia a lo fenoménico, a la totalidad formada por el sistema observado y el dispositivo experimental; es además que todo lo que el físico pueda llamar “realidad” en el nivel cuántico viene determinado por la conciencia humana en el ejercicio.
2. La mecánica cuántica de Heisenberg renuncia a la representación de los fenómenos físicos en un espacio y en un tiempo continuos. El problema arranca de la imposibilidad de considerar el desplazamiento de los electrones dentro de los átomos como una trayectoria continua a partir del modelo atómico cuántico de Bohr.
 

*«Creo haber aprendido de Bohr que no se puede hablar en modo alguno de semejante paso con los conceptos tradicionales y que en todo caso no podemos describirlo como un proceso en el espacio y en el tiempo».*

*«Los de Copenhague reconocíamos cuán difícil resultaría convencer a los mejores físicos de que había que renunciar a una descripción espacio-temporal de los procesos atómicos»*
3. En su principio de indeterminación, Heisenberg estableció la *imposibilidad de fijar con precisión el valor de las magnitudes conjugadas (posición-velocidad, energía-tiempo,...) simultáneamente más allá del límite absoluto que representa la constante de Planck.*

La ubicación exacta que tras la medición es consecuencia de la inevitable operación de medida, que depende no sólo de la verdadera situación de la partícula sino también de la naturaleza del mecanismo de medición. El grado de precisión en la medición presenta un

error irreducible por debajo de la constante de Planck  $h=6,62607015 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$  (lo importante la magnitud:  $6 \cdot 10^{-34}$ ). En un principio, Heisenberg explica la limitación teórica en base a una limitación de tipo práctica dada la perturbación inevitable en que incurre todo instrumento de medida, que en física clásica era calculable y asumible, no así en cuántica.

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar$$

4. Una de las características comunes a buena parte de los teóricos cuánticos es haber renunciado a la Naturaleza como sistema determinista al modo laplaciano. La ley de causalidad no puede ser considerada como una ley necesaria; por el contrario hay fenómenos tales como la emisión de un electrón por parte de un átomo de radio, o el salto de un electrón de un estado estacionario a otro dentro de un átomo expuesto a la radiación, que no parecen obedecer a ley causal alguna. La Naturaleza misma, y no nuestro modo de conocerla, tiene un comportamiento probabilístico. Einstein siempre rechazó la interpretación estadística de Born afirmando que la función no describe el estado real de un sistema individual, sino de un conjunto de sistemas; dando probabilidades de valores individuales, sin que ello quiera decir que estos valores no estén determinados en sí mismos.

## La lucha de Einstein contra la interpretación de la cuántica y la “paradoja” EPR

Pese a ser uno de los precursores de la mecánica cuántica, Einstein siempre fue reacio a la interpretación que desde la escuela de Copenhague daban a los resultados vertidos por la función de onda de Schrödinger. Estaba convencido de que era errónea y trató de derribarla atacando al mismo principio de incertidumbre sobre el que se sostenía. Para ello, planteó un experimento mental donde entraban en consideración la relación energía-tiempo (y por ende, su relación de incertidumbre que habría de venir dada por  $\Delta E \cdot \Delta T \geq \hbar$ ).

Se considera un fotón que se deja escapar de una caja por un obturador abierto durante el tiempo  $\Delta T$ , tan pequeño como deseemos, accionado por un reloj de precisión infinita que se encuentra dentro de la caja. Según el principio de incertidumbre no se podría determinar la energía del fotón con precisión  $\Delta E$  arbitrariamente pequeña. Sin embargo, y partiendo de la relación  $E=mc^2$  (es decir, relación entre masa y energía), Einstein propone que si se pesa el sistema antes y después de la medición, tendríamos por un lado la medición infinitamente precisa del tiempo dada por el reloj, y por el otro el valor de la energía calculado mediante la expresión dada. De ser posible, quedaría violado el principio de indeterminación. Bohr, tras una noche de insomnio intelectual, contraatacó el experimento de Einstein usando a su favor la propia invención del alemán: la teoría de la relatividad general. Ya que, según la relatividad general, el lapso de tiempo medido por un reloj que se halla inmerso en un campo gravitatorio es modificado (igual que se entiende el “corrimiento al rojo”), por lo que ya no tendríamos de esa precisión certera en la medición del tiempo, y que nos devolvería de nuevo la incertidumbre dada por  $\Delta E \cdot \Delta T \geq \hbar$ .

Tras esta derrota parcial, es cuando Einstein, en conjunción con Podolsky y Rosen escriben en 1935 el artículo llamado «*Can Quantum Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete?*» (conocido como paradoja EPR), y partiendo de un concepto de completitud tal que “*todo elemento de la realidad física ha de tener una contrapartida en la teoría física*”, sus autores trataban de mostrar la posibilidad de predecir con certeza el valor de la posición y velocidad de un sistema individual sin perturbar dicho sistema, lo que permitiría considerar a esas magnitudes como «elemento de realidad» en base a la separabilidad de los sistemas o independencia de los sistemas separados espacialmente. de modo que la perturbación originada por la medición sobre uno de ellos no puede transmitirse al otro, de no ser por la existencia de variables ocultas, que supuestamente demostraría la incompletitud de la teoría cuántica (es decir, que no

recogería toda la información relevante sobre el sistema individual). Los elementos y formalización del argumento serían los siguientes:

- **LC** La validez de la lógica clásica
- **FMQ** La corrección del formalismo de la mecánica cuántica (las predicciones hechas se corresponden con lo experimentado)
- **REA** El realismo científico definido como: *si se puede predecir con exactitud el valor de un observable sin modificar de ninguna manera el sistema, entonces existe un elemento de realidad física en el sistema asociado a dicho observable.*
- **COM** La completitud de una teoría tal que, si existe un elemento de la realidad física que la teoría no abarca, entonces ésta es incompleta.
- **SEP** La separabilidad de sistemas, que indica que dos sistemas  $S_1$  y  $S_2$ , que si se encuentran lo suficientemente alejadas se comportarán independientemente el uno del otro.

De modo que  $(LC \wedge FMQ \wedge REA \wedge SEP) \rightarrow \neg COM$ . Si se cumple que tanto la lógica clásica es válida, que es correcto el formalismo de la mecánica cuántica, que se acepta el realismo científico en los términos dados y que existe separabilidad entre sistemas, entonces la mecánica cuántica no es una teoría completa. Se ilustra con el siguiente ejemplo:

Consideremos dos partículas emitidas por una fuente en superposición de dos estados con igual probabilidad, **A** y **B**. Las partículas emitidas en direcciones opuestas se alejan rápidamente. Una vez alejadas la una de la otra una distancia arbitrariamente grande, se mide el estado de una. Como sólo hay dos posibilidades en la medida de una determinada magnitud (que ambas tengan valor **a** o ambas valor **b**, y ambos resultados tienen igual probabilidad, una vez hayamos medido el valor de una partícula, podemos predecir con certeza y sin necesidad de medir el valor de la otra, ya que debe ser el mismo. Y está claro que la medición de la magnitud de la primera partícula no puede traer a la existencia el valor en la segunda (argumentaban Einstein et al.), porque ello se haría a una distancia enorme entre las partículas y ello implicaría viajar a velocidades superiores a la de la luz, lo que violaría la relatividad especial. Por lo tanto, concluían, la segunda partícula ha tenido un valor definido de la magnitud todo el rato, a pesar de que estuviese junto a la primera en una superposición. Por tanto, si tiene un valor definido y la teoría cuántica no es capaz de proporcionarlo, es porque existen “variables ocultas locales” (no conocidas) o, dicho de otro modo, que la mecánica cuántica es incompleta.

La conclusión del artículo de Einstein, Podolsky y Rosen, esto es, que la mecánica cuántica estaba incompleta y existen variables locales ocultas pasó a ser conocida como paradoja EPR. Sin embargo, un comentario de Erwin Schrödinger en una carta a Einstein nos da un término posiblemente más familiar, *Verschränkung*, lo que hoy conocemos como entrelazamiento, “*para describir las correlaciones entre dos partículas que interactúan y entonces se separan, como en el experimento EPR*”. El propio Schrödinger elaboraría su idea publicando un artículo con Max Born en 1935 titulado “*Discusiones sobre las relaciones de probabilidad entre sistemas separados*”, en el que apunta cosas como:

*“Yo no llamaría [al entrelazamiento] sino el rasgo característico de la mecánica cuántica, el que fuerza su separación completa de las líneas clásicas de pensamiento.”*

En ningún lugar es esto más evidente que en el propio artículo EPR. Efectivamente, por primera vez en la historia de la física los autores sienten la necesidad de definir “realidad física”:

*“Si, sin perturbar el sistema de ninguna manera, podemos predecir con certeza el valor de una magnitud física, entonces existe un elemento de realidad física correspondiente a esta magnitud física.”*

Dicho con otras palabras: si una propiedad física de un objeto puede ser conocida sin que éste sea observado, entonces esa propiedad no ha podido ser creada por la observación. Si no fue creada por la observación debe haber existido como realidad física antes de su observación. Citando de nuevo a Einstein:

*“Me gusta pensar que la Luna sigue ahí incluso cuando no la estoy mirando.”*

El realismo local, esto es, la combinación del principio de localidad (un objeto se ve influido solamente por su entorno inmediato) y la asunción realista de que todos los objetos deben objetivamente tener un valor pre-existente de cualquier posible variable objeto de medida antes de que la medida se realice, está en el corazón de la mecánica clásica, de la relatividad general y de la electrodinámica. Es el realismo local lo que Einstein, Podolsky y Rosen usan en su paradoja y lo que entra en contradicción con el entrelazamiento cuántico, y cuya salvaguarda apuntaría a la existencia de variables locales ocultas.

Ante esta situación, y analizando los postulados en los que se basa el experimento EPR, cabría dar respuesta tratando de mostrar falso algunos de dichos pilares:

- Abandonar la lógica clásica: hay lógicas alternativas que consideran que ésta no ha de limitarse a la bivalencia V-F, como las lógicas polivalentes que consideran un valor intermedio de indeterminación (V-F-I), o lógicas difusas que consideran el espectro continuo de valores entre 0 (falso) y 1 (verdadero). Sea cual sea la opción tomada, la mecánica cuántica es relevante a la hora de determinar los valores de verdad para las proposiciones, de modo que la lógica queda subordinada a la mecánica cuántica, contrariamente a la creencia de que la lógica está por encima de todas las ciencias. Tendríamos así una suerte de interrelación entre los formalismos de la lógica y la mecánica cuántica, que obliga a descartar la negación de la validez de la lógica.
- Aceptar que el formalismo de la mecánica cuántica sea falso, sin embargo, todo examen experimental al que se han llevado las predicciones de la cuántica desde que fue postulada se han mostrado correctos con un nivel de precisión elevadísimo, lo que permite descartar esta posibilidad por improbable.
- Negar el realismo. Es la postura principal que adoptó Bohr (y los seguidores de la “Interpretación de Copenhague”). Para Bohr, este realismo débil no es compatible con el formalismo de la cuántica, pues ya que según el principio de complementariedad (que viene a afirmar que, si se quiere captar la naturaleza como un todo, hay que expresarse utilizando modos de descripción contradictorios, pero complementarios, que Bohr ejemplificaba con las teorías ondulatoria y corpuscular, válidos cada uno por sí mismos, aunque (en términos de la física de Newton) incompatibles entre sí) es factible aceptar las contradicciones a las que parece llevarnos el principio de incertidumbre, lo que supondría la necesidad de revisar nuestra idea de realismo, aceptando así el carácter útil e instrumentalista del formalismo cuántico.

Al limitarse a relacionar resultados experimentales y predicciones sin pretender interpretar la realidad, la interpretación de Copenhague no enfrenta los problemas mencionados con la medición ni los relacionados con las interpretaciones ontológicas o gnoseológicas de las probabilidades, de allí su enorme éxito. En ella, la mecánica cuántica es completa, no tiene sentido hablar de separabilidad ni de los elementos de la realidad física. El principio de complementariedad, cuya manifestación en el formalismo se encuentra en el principio de incertidumbre, es lo que permite salvar estas dificultades.

- Negar la completitud, y planteando teorías que incluyan variables ocultas, con el atractivo de poder ser consideradas deterministas. Aunque existan esas variables ocultas para noso-



tros, de conocerlas en algún momento, garantizaría poder seguir en un mundo donde las teorías físicas nos permiten determinar la realidad que postulan. Es decir, preservan el determinismo de la teoría para con los observables, más propio de la mecánica clásica y la realidad en que vive nuestra intuición. En este caso, la probabilidad que presenta el formalismo no sería sino el reflejo del desconocimiento que tenemos de dichas variables ocultas. Por contra, supondría aceptar que existen aspectos relevantes de la realidad que no son conocibles por nosotros.

Von Neumann hizo un planteamiento que demostraba la imposibilidad de que haya teorías con variables ocultas compatibles con el formalismo de la mecánica cuántica. Sin embargo, cuando parecía zanjado el debate, D. Bohm, ignorando la supuesta prohibición, desarrolló una teoría con variables ocultas que era perfectamente coherente. David Bohm había podido elaborar usando variables ocultas un modelo (no local) del electrón que igualaba en capacidad explicativa el modelo mecánico-cuántico, donde, mediante la adición de una ecuación adicional al formalismo de Schrödinger, se podría dar una interpretación no-local en el que una especie de “onda piloto” permitiría determinar las trayectorias de las partículas. Sin embargo, dicha característica de no localidad obligaría a su formalismo a la aceptación de efectos a distancia, que serían usados posteriormente para desarrollos teóricos como el de teleportación cuántica. Esta aparente contradicción creó algo de confusión (ya resuelta), pues lo que el teorema de Von Neumann prohibía es recrear con variables ocultas el formalismo de la cuántica, pero lo que Bohm hizo fue plantear un nuevo formalismo, sin variables ocultas, y que ofreciese las mismas predicciones. Tenemos así una teoría determinista y sin variables ocultas, pero con el sobrecoste de incurrir en complicaciones innecesarias para obtener los mismos resultados que una teoría más simple y elegante como la cuántica ya estaría proporcionando. Esto quizá pueda entenderse atendiendo al caso de la mecánica clásica, donde los formalismos de Newton, Hamilton y Lagrange ofrecen los mismos resultados con herramientas de cálculo radicalmente diferentes (e interpretaciones también diferentes.)

- Negar la localidad (separabilidad). John Bell propuso una forma matemática para poder verificar la paradoja EPR. John Bell presentó en 1964 en su artículo “*Sobre la paradoja EPR*” un teorema que permitía diseñar experimentos para comprobar la existencia o no de estas variables ocultas. Este teorema, habitualmente llamado la **desigualdad de Bell**, ha sido calificado como el “*descubrimiento más profundo de la ciencia*” (no de la física, sino de la ciencia). Los diseños experimentales basados en él apuntan a que el realismo local es violado por la mecánica cuántica. Lo que Bell demostró es que para un grupo de objetos con propiedades fijas A, B y C, el número de objetos que tienen la propiedad A pero no la B más el número de objetos que tienen la propiedad B pero no la C es mayor o igual que el número de objetos que tienen la propiedad A pero no la C. Es decir, se tiene que  $\sum (A \wedge \neg B) + \sum (B \wedge \neg C) \geq \sum (A \wedge \neg C)$ . Bell dedujo las desigualdades asumiendo que el proceso de medición en mecánica cuántica obedece a leyes deterministas, y asumiendo también localidad, es decir, teniendo en cuenta las críticas de EPR. Si Einstein tenía razón, las desigualdades de Bell son ciertas y la teoría cuántica es incompleta (la lógica es válida, existen variables ocultas y éstas son locales). Por tanto, una medida experimental que nos diga que no se cumple la desigualdad de Bell lo que nos está diciendo en realidad es que al menos una de estas condiciones no se cumple.

Hasta este punto no debería haber mayor problema, pero ¿cómo empleamos la desigualdad de Bell para un sistema cuántico?. Si nos fijamos la aplicabilidad de la desigualdad de Bell a sistemas cuánticos presenta la dificultad que suponen las limitaciones que a la medida de variables incompatibles establece el principio de incertidumbre de Heisenberg:

» Imaginemos un caso concreto, por ejemplo que queremos medir una propiedad del fotón, su polarización, a distintos ángulos. Heisenberg nos dice que para un fotón dado no podemos obtener el valor exacto de la polarización en dos ángulos diferentes ( $90^\circ$  y  $45^\circ$ ) a la vez. Si esto es así no podemos aplicar la desigualdad de Bell, salvo que tengamos dos fotones entrelazados. Si la polarización a  $90^\circ$  es nuestra propiedad A y la polarización a  $45^\circ$  es nuestra propiedad B, al medir A en una partícula podríamos medir B en la otra partícula entrelazada con ella. Esto implicaría que hemos “violado” de alguna manera el principio de incertidumbre. Pero si medimos partículas entrelazadas podemos comprobar la existencia de variables locales ocultas, ya que, si existen, la medición de una partícula no afectará al valor de la otra, y se cumplirá la desigualdad y, si no existen, la desigualdad no se cumplirá porque la medición de una afecta al valor de la otra, como si medir la altura de una persona afectase al color de ojos de otra. A efectos prácticos lo que hacemos es dividir nuestro grupo de partículas, fotones, por seguir con nuestro ejemplo, en tres subgrupos y extraer pares de partículas entrelazadas de cada uno. En el primero medimos A y B, en el segundo B y C y en el tercero A y C.

Como no podemos medir las tres propiedades de cada partícula, no podemos decir de forma concluyente si la desigualdad se viola o no. Lo mejor que podemos hacer es hacer la prueba con muchos miles de partículas y comprobar el resultado estadístico. El primer experimento de la desigualdad de Bell publicado fue el de Clauser, Horne, Shimony y Holt en 1969, para el que usaron pares de fotones (las propiedades medidas fueron la polarización a  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $22,5^\circ$  y  $67,5^\circ$ ); los resultados estadísticos sugerían claramente que la desigualdad, efectivamente, era violada.

Desde 1969, muchos otros resultados vienen a confirmar que la desigualdad de Bell no se cumple en mecánica cuántica. Ello no prueba que la mecánica cuántica sea una teoría completa, sino tan sólo que, o no existen variables ocultas, o si existen no son locales o, ya puestos, que la lógica no es una herramienta válida. Esto lo recoge el teorema de Bell:

*Ninguna teoría física de variables ocultas locales puede reproducir todas las predicciones de la mecánica cuántica.*

La desigualdad marca una diferencia cuantitativa susceptible de ser contrastada entre la interpretación de Copenhague y la realista-local de Einstein; mostrando que predicciones obtenidas con las hipótesis de las variables ocultas y la localidad eran fallidas, siendo insostenible el realismo local de Einstein y reforzando la interpretación de Copenhague.

Estos experimentos y la correlación mostrada explica, quizá, por qué la interpretación de Copenhague es la más seguida (y enseñada) por la mayoría de los físicos: mientras no se haga medida, el sistema evoluciona como un todo (aún cuando sus partes puedan estar alejadas y hayan dejado ya de interactuar) siguiendo la ecuación de onda de Schrödinger sin tomar valores definidos para ciertos atributos, y sólo al medir, el sistema adquiere “realidad” en el valor medido, siendo dicho valor referido al sistema como un todo (objeto medido + instrumento de medida). Si bien práctica, esta solución incurre en un alto coste desde el punto de vista epistemológico fenomenista que ha de sacrificar el realismo en ella; así como ontológico, al aceptar la no-localidad a la que nos lleva la supuesta existencia de acciones instantáneas a distancia, campos indetectables sin energía, universos que se multiplican súbita e incesantemente, cuantones sin propiedades ni valores definidos... aunque quizá sólo haya que esperar (e igual que la fuerza a distancia de Newton dio luz verde a aceptar a modo instrumentalista –con cierta consideración ontológica– de la ley de la gravitación universal hasta que Einstein presentó la teoría de la relatividad) hasta que se nos presente una teoría mejor que dé cuenta de estos frentes abiertos).

## La relevancia del observador

Contrario al punto de vista de Einstein, para la Escuela de Copenhague, se tiene que las «situaciones experimentales» fragmentarias han sustituido a los objetos permanentes; la realidad estable de los átomos se ha disuelto en un conjunto de circunstancias que incluyen el aparato de observación y el propio acto de observar como elementos inseparables de los fenómenos, sin que pueda trazarse una línea fronteriza entre la observación y lo observado. De ahí que los objetos físicos concebidos al modo clásico hayan perdido ahora tanto su independencia unos con respecto a otros —al perder su separabilidad—, como su existencia continua o sus propiedades permanentes al margen de toda medición. Según Heisenberg:

*«La teoría cuántica no contiene rasgos genuinamente subjetivos, no introduce la mente del físico como una parte del acontecimiento atómico».*

*«No debe creerse que la introducción del observador implique la aparición de una imagen subjetiva en la descripción de la Naturaleza. Al observador sólo le corresponde más bien la función de registrar decisiones, es decir, procesos en el espacio y en el tiempo, y no tiene importancia el hecho de que el observador pueda ser un aparato o un ser humano»*

Resulta así absolutamente injustificado enfocar la polémica Einstein-Bohr (y en general las posiciones realistas y no-realistas respectivamente) como la contraposición entre dos concepciones que luchan, una por eliminar al sujeto del ámbito del conocimiento objetivo, y otra por sentarle en el centro. Es el apriorismo de Einstein quien precisa un sujeto lógico que fundamente la noción de realidad física y el conocimiento de esa realidad. Al empirismo de la Escuela de Copenhague le basta un observador en sentido físico y, en esa medida, es ella la que no necesita de un sujeto en sentido estricto, o si se prefiere le basta un sujeto empírico que se limita a registrar datos y procesos. En cualquier caso no cabe duda que Einstein hace jugar al sujeto cognoscente un papel mucho más definido y mejor estudiado que Bohr, cuya carencia más notable es haber omitido toda referencia a éste, no en tanto que observador, sino en tanto que agente constructor de conceptos y teorías.

## Un gato y el destino del universo

Cuando se estudia el concepto de vida media de los materiales radioactivos suele haber más problemas con su sentido matemático que con sus implicaciones filosóficas para nuestra visión de la realidad. Quizás porque el que estudia la cuestión ya está acostumbrado a que a nivel atómico ocurren cosas extrañas.

Imaginemos que tenemos una cantidad del isótopo neptunio-231. Este isótopo tiene un período de semidesintegración de 48 minutos, lo que quiere decir que si empezamos con una cantidad dada, 48 minutos después la mitad de esa cantidad se habrá desintegrado, esto es, tendremos la mitad de la cantidad original de neptunio-231 y los productos de descomposición de la otra mitad. Hasta aquí no debería haber mayor problema. Pero, ¿qué ocurre si empezamos con un sólo átomo?. ¿Qué tendremos después de, digamos, una hora?

Aquí nuestra aproximación debe cambiar. Donde antes teníamos la certeza práctica de que obtendríamos la mitad de los átomos de partida sin desintegrar ahora tenemos que hablar de probabilidades. Efectivamente, tenemos una probabilidad de aproximadamente del 50% de que tras una hora nuestro átomo de neptunio-231 se haya desintegrado, pero como está gobernado por la ecuación de Schrödinger, sólo sabremos su estado cuando hayamos medido. Es decir que, mientras no midamos, el átomo se encuentra en un estado de superposición desintegrado/no-desintegrado.

Mientras esta indefinición se mantenga constreñida al ámbito de lo muy pequeño podemos sentirnos cómodos y continuar con nuestro día a día como si tal cosa. Pero no existe nada en la

mecánica cuántica que impida que esta indefinición infecte nuestro mundo macroscópico. El primero que se dio cuenta fue Albert Einstein. Tras la publicación de su artículo con Podolsky y Rosen se intensificó su correspondencia con ciertos físicos, entre ellos Schrödinger, en la que expresaba sus preocupaciones por lo que veía como deficiencias de la teoría cuántica. En una carta a Schrödinger fechada el 8 de agosto de 1935 proponía un “crudo ejemplo macroscópico”:

*“El sistema es una sustancia en un equilibrio inestable, quizás un montón de pólvora que, por medio de fuerzas internas, podría arder espontáneamente, y donde la vida media de todo el montaje sea de un año. En principio esto podría representarse mecano-cuánticamente muy fácilmente. Al comienzo la función  $\psi$  caracteriza un estado macroscópico razonablemente bien definido. Pero, según tu ecuación [de Schrödinger], esto no es así transcurrido un año. Más bien la función  $\psi$  describe entonces una especie de mezcla de sistemas ya-explotado y aún-no-explotado. No hay forma de interpretación que permita que esta función  $\psi$  se convierta en una descripción adecuada del estado real del asunto; [ya que] en realidad no existe intermedio entre ya-explotado y no-explotado.”*

Puede que inspirado por esta idea [no lo sabemos porque Schrödinger no cita a Einstein, algo que terminó por convertirse en costumbre], Schrödinger plantearía en un artículo titulado *“La situación actual de la mecánica cuántica”* publicado el 29 de noviembre de 1935 en *Die Naturwissenschaften* el que probablemente sea uno de los experimentos mentales más famosos de todos los tiempos, en estos términos:

*“Uno puede incluso construir ejemplos ridículos. Un gato está encerrado en una cámara de acero, junto con la siguiente máquina infernal (que uno debe asegurar contra el acceso directo del gato): en el tubo de un contador Geiger hay una pequeña cantidad de material radioactivo, tan pequeña que aunque uno de sus átomos podría desintegrarse en el curso de una hora, es igualmente probable que ninguno lo haga. Si la desintegración tiene lugar, el contador se dispara y por medio de un relé hace que un pequeño martillo se ponga en movimiento y haga añicos una pequeña botella de ácido prúsico [cianuro de hidrógeno]. Cuando el sistema entero se deja sólo una hora, uno diría que el gato está aún vivo si en el intervalo ningún átomo de ha desintegrado. La primera desintegración atómica lo habría envenenado. La función  $\psi$  de todo el sistema daría una expresión para todo esto en la que, en igual medida, el gato vivo y el gato muerto se mezclan o emborronan.*

Hasta aquí como se suele plantear la paradoja del gato de Schrödinger. Pero esta paradoja de la medición cuántica debe ser resuelta y la resolución será diferente en función de la interpretación de la mecánica cuántica que se considere. Si como Einstein y el propio Schrödinger pensamos que la mecánica cuántica está incompleta y tiene variables ocultas (dejando de lado a Bell) podemos afirmar con Schrödinger:

*“La característica de estos ejemplos es que una indefinición originalmente limitada a las dimensiones atómicas se transforma en una gran indefinición macroscópica, que puede entonces ser reducida por observación directa. Esto nos evita seguir inocentemente dando crédito a un “modelo borroso” como imagen de la realidad”*

Pero los que piensen que la mecánica cuántica no contiene variables ocultas tienen complicado dar una explicación satisfactoria a la paradoja. Existen tantas explicaciones como interpretaciones. Algunos dicen que la evolución cuántica se ve de alguna manera suspendida temporalmente de tal forma que una indeseable superposición macroscópica colapsa en uno u otro de sus componentes; otros buscan un mecanismo para este colapso, que sólo actuaría para sistemas suficientemente macroscópicos; unos terceros afirman que el problema no existe a efectos prácticos por la imposibilidad de distinguir en los sistemas macroscópicos los estados colapsados de los que no lo están; finalmente hay quien afirma que el propio observador está superpuesto (o que existe

una superposición de observadores) y que cada una de sus superposiciones se corresponde a una superposición del sistema observado.

La cuestión es que no existe una interpretación que pueda afirmarse que corresponda con la realidad, ni siquiera la canónica de Copenhague. No sólo eso sino, que a la paradoja del gato de Schrödinger se le puede dar una vuelta de tuerca más para poner de manifiesto la importancia que se atribuye al observador: ¿se alteró el destino del universo al observar por primera vez la energía oscura en 1998 con el consiguiente colapso de la función de onda?.

### Decoherencia o el papel de la consciencia

Un físico teórico puede distinguirse de un matemático de varias maneras. Quizás la más inmediata sea que el primero tiene la intención de que sus ecuaciones en última instancia reflejen una parte del funcionamiento del universo, mientras que las del segundo están autocontenidas. Podríamos ir más allá y decir que los físicos necesitan interpretar físicamente sus matemáticas, dotarlas de un sentido físico, racionalizador, que haga al mundo pensable, lo que podría argumentarse que surge de su propia condición de humanos. Y también en esto la física cuántica es extraña.

Esta necesidad de dotar de sentido físico a la mecánica cuántica se traduce en la adopción, consciente o no, de una interpretación de la misma cuando se transmite, ya sea en la enseñanza o en la comunicación de resultados o en los libros de texto. La necesidad de un lenguaje común, la presión de estandarización en un mundo global, hace que una interpretación de la mecánica cuántica sea la predominante, la llamada de Copenhague. El que esta interpretación en concreto tenga esta posición de privilegio por una magnífica campaña de marketing es un tema muy interesante de sociología de la ciencia pero que no corresponde discutir ahora. Lo que quizás si debemos mencionar es que muchos físicos no se salen de ella y llegan a negar cualquier otra interpretación como fantasía (llegando a afirmar que ellos no hacen filosofía, sino física, cuando en realidad lo que hacen es renunciar a pensar, pero esa es otra cuestión).

Lo paradójico y llamativo es que considerar la mecánica cuántica como completa y defender la interpretación de Copenhague como la canónica es una misión de corto recorrido. En cuanto se explora mínimamente nos encontramos con indefiniciones, inexactitudes e incongruencias. Tanto es así, que sin salirnos de Copenhague (término que usaremos como paraguas), podemos hablar de tres grupos de interpretaciones estándar fijándonos tan sólo en dos criterios y usando al gato de Schrödinger como piedra de toque. Esos dos criterios son:

- a) qué consideramos como **ente cuántico** y
- b) qué consideramos **medida**.

Antes de explorar brevemente los tres grupos de interpretaciones conviene recordar un par de cosas que explican esta elección de criterios. Primero, de acuerdo con Copenhague, la razón por la que no podemos decir qué atributos tiene un ente cuántico antes de la medida no es simplemente porque no sepamos cuáles son. Sino que no podemos decir cuáles son porque no existen antes de medir, esto es, no existe una realidad profunda e independiente consistente en objetos con atributos definidos existentes antes de la medición de los mismos (para ser precisos los entes cuánticos sí tienen unos atributos antes de ser medidos, los llamados atributos estáticos, como la masa; pero esto no influye en el razonamiento).

En segundo, esto no significa que Copenhague niegue la existencia de la realidad: existe un electrón por ahí, existen entes cuánticos en general, pero algunas de sus características no las puedo conocer hasta que mida. Dicho esto, veamos cómo interpretan la realidad cada uno de los tres grupos de interpretaciones.

### 1. Realidad ligeramente dependiente de la medida

- Entes cuánticos: las partículas elementales
- Medida: en sentido amplio

Según esta versión los entes cuánticos son sólo las partículas más elementales, como los electrones, neutrones, protones y toda la gama de partículas subatómicas. Es decir, sólo al nivel más elemental se carece de atributos definidos hasta que se mida. En lo que respecta a qué cuenta como medida cualquier objeto que provoque **“decoherencia”**, esto es, que interactúe con el sistema y su función de onda asociada, es una medida: en el caso del gato, el sistema visual de éste, el detector Geiger, incluso los átomos de las moléculas del aire dentro de la caja son instrumentos de medida. En esta versión el gato nunca está en una superposición de estados vivo/muerto.

### 2. Realidad moderadamente dependiente de la medida

- Entes cuánticos: cualquier objeto
- Medida: en sentido amplio

En esta versión cualquier objeto es una entidad cuántica, pero también se toma la medida en sentido amplio. Por tanto, si bien cualquier objeto puede estar en principio en una superposición de estados, las medidas (por el ambiente, en general) son suficientes para colapsar dichas superposiciones mucho antes de que podamos experimentarlas. De nuevo, el gato no está en un estado de superposición; o, al menos, no lo está demasiado tiempo.

### 3. Realidad radicalmente dependiente de la medida (dependiente de la consciencia)

- Entes cuánticos: cualquier objeto
- Medida: en sentido restringido

De las dos versiones anteriores vemos fácilmente que es el hecho de que prácticamente cualquier cosa conste como medida lo que evita la extrañeza cuántica macroscópica, dejándola circunscrita volumétrica y temporalmente a la escala de Planck. Dicho de otra manera, sólo un sentido restrictivo de la medida convierte al gato de Schrödinger en una paradoja. Pero este sentido restrictivo de la medida lleva a otras paradojas en sí mismo. En esta versión, cualquier objeto es un ente cuántico, todo está en superposición. Pero sólo se considera medida un conjunto muy bien definido de actos: en el caso del gato, el hecho de abrir la caja y observar por parte del experimentador. Esto no es más que decir que es la consciencia humana la que constituye realmente una medida. Aquí puede extrañar el que distingamos la consciencia humana como algo especial, diferente de otras realidades físicas; pero es que, de facto, para que el gato de Schrödinger se convierte en una paradoja a efectos prácticos, hay que asignar a la consciencia humana una condición diferente al resto de las realidades físicas. No sólo eso sino que, además, la realidad del mundo se convierte en algo subjetivo, dependiente del individuo. Consideremos el siguiente experimento mental:

En un laboratorio tenemos un experimentador y, en una cámara de acero, un gato, una fuente radiactiva, un detector, una ampolla de veneno y un mecanismo para romper ésta si el detector capta una desintegración; ¿cuándo colapsa la función de onda?. ¿cuando el experimentador abre la cámara o cuando yo vuelvo al laboratorio que es mi ente cuántico y el experimentador me hace sabedor de su observación?.

Este experimento mental se conoce como **«el amigo de Wigner»** ya que lo diseñó Eugene Wigner para ilustrar precisamente que, en su opinión, la consciencia humana es necesaria para la medida. Según él la función de onda colapsa cuando la primera consciencia

humana mide. Pero esto coloca a la consciencia humana, parafraseando a Spinoza, como “un imperio dentro de un imperio”, la hace algo diferente al resto de realidades físicas y abre la puerta al misticismo cuántico.

Vemos pues, que la decoherencia, la medida en sentido amplio, lo que hemos llamado realidad moderadamente dependiente de la medida, es lo que podríamos considerar como aproximación más consistente dentro de la interpretación de Copenhague. Pero resulta que la decoherencia también está en el núcleo de otras interpretaciones de la mecánica cuántica alternativas a la de Copenhague

## Interpretaciones de la mecánica cuántica

*La visión que suele enseñarse de manera preferente en la mayoría de libros de texto (alguna versión de la interpretación de Copenhague) nos da una receta predictiva, pero no una “teoría” (Tim Maudlin).*

Una teoría no sólo debe aportar un aparato matemático para realizar predicciones, sino que debe aportar una ontología (qué cosas hay en el sistema) y una explicación (por qué se comporta el sistema como lo hace). El hecho de que consideremos que antes de la medición hay un comportamiento probabilístico ondulatorio y que tras la medición tengamos un comportamiento corpuscular para valores concretos no nos aporta realmente una explicación del comportamiento del sistema y por qué ocurre así.

Lo que llamamos “interpretaciones” son en realidad las “teorías”. Según Basil Hiley, como consecuencia de la mecánica cuántica, los físicos se vieron en la necesidad de explorar ontologías. Por ejemplo, *la interpretación de Copenhague* no nos informa sobre qué es una medida y qué cosas hay y cómo se relacionan en un sistema. Existe una gran tensión entre el enorme éxito predictivo de la mecánica cuántica y las dificultades para determinar de qué se está hablando (determinar su referente, qué es la función de onda, por qué existe el problema de la medida, cómo determinar la función del observador, etc.). Esto nos lleva al cuestionamiento del papel de la Física como una “representación realista de la Naturaleza”, es decir, de si los físicos hablan del mundo como un fenómeno a explicar o están hablando de constructos matemáticos o teóricos que permiten predicciones o conocimiento del universo aun si hacer una descripción del mismo.

### Interpretaciones realistas

- **La “onda piloto” Bohmiana**: afirma la existencia simultánea de partículas y ondas (ecuación adicional sobre el formalismo de Schrödinger que representaría una especie de “onda-piloto” (inicialmente propuesta por de Broglie) que estarían “surfeando” sobre las ondas que describe la teoría), siendo así una teoría determinista y no-local (con posibilidad de acción a distancia entre diferentes sistemas), para la que las probabilidades e incertezas antes de medir se deben a las limitaciones instrumentales de nuestros aparatos de medida.
  - Problema: no ofrece nuevo conocimiento ni es fácil unirla a la relatividad especial
- **Everettian “Many-worlds”**: niega que haya colapso ni partículas, solo función de onda universal, determinista. El precio a pagar para poder sostener dichos postulados sería el de asumir que ante cada medición en lugar de colapso hay una división de universos que se separan: uno, en el que estamos, y para el que el valor de la medición es la que en efecto hemos obtenido, y otro(s) para los otros posibles valores de dicha medición. En el caso del gato de Schrödinger tendríamos dos universos, uno en el que el gato está vivo y otro en el que el gato está muerto.
  - Problema: no sigue el principio de parsimonia (contradice la Navaja de Ockham, al



generarse como consecuencia de ella demasiados mundos), infalsabilidad (mundos inaccesibles que no pueden conectarse ni relacionarse entre sí de ninguna manera, no pudiendo saber si existen si quiera), no explica por qué ni de dónde surgen las probabilidades

- **Colapso espontáneo:** existe la función de onda y el colapso, pero éste no sería debido al acto de nuestra medición, sino que tendría lugar de manera aleatoria y cuyo resultado sería el que observaríamos.
  - **Problema:** modifica la ecuación de Schrödinger de un modo ad-hoc, cuando dicha función funciona perfectamente en su formulación actual.

### Interpretaciones instrumentalistas o epistémicas

Únicamente pretenden predecir lo que hay en el mundo, sin pretensión de aportar una explicación a lo que hay en el mundo y por qué se comporta de dicha manera.

- **Copenhague** (alguna versión). Sus pretensiones no son realistas y únicamente se centran en la capacidad predictiva de la teoría y las observaciones realizadas.
- **Bayesianismo cuántico (Qbism):** reinterpreta la función de onda hasta convertirla en una abstracción, pretendiendo eliminar o aligerar las paradojas derivadas de la mecánica cuántica. Apela a la necesidad de interpretar la función de onda en términos de creencias subjetivas que se van actualizando de acuerdo con las reglas de la inferencia bayesiana. Así, ese colapso solo reflejaría lo que ocurre cuando un observador actualiza de forma discontinua y repentina, las probabilidades que presupone a los distintos sucesos. De este modo el sistema cuántico no cambia; lo que se modifica es la función de onda elegida por el observador para dar cuenta de sus expectativas. Es decir, las probabilidades surgen como grados de creencia del investigador.
  - **Problema:** solipsismo (parece que sólo el agente fuera el causante del colapso de la función de onda), instrumentalismo (crítica principal desde posturas realistas), no resuelve la no-localidad (al estar centrada en el agente y no lo que ocurre realmente en el sistema..

### **La onda piloto de Bohm**

Una de las extrañezas que caracterizan a la mecánica cuántica es la dualidad onda-corpúsculo. En 1924 Louis-Victor de Broglie formulaba la conocida como hipótesis de de Broglie que viene a decir que toda materia tiene una onda asociada cuya longitud de onda es el resultado de dividir la constante de Planck por su momento ( $h/p = h/(m \cdot c)$ ). Esto no era más que una generalización de la hipótesis que Einstein empleó en 1905 para los fotones a la hora de abordar el problema del efecto fotoeléctrico.

La hipótesis de de Broglie está en el corazón mismo de la mecánica cuántica. Debido a ella el estado de cualquier sistema puede ser descrito por una función de onda dada por la ecuación de Schrödinger. A partir de aquí las matemáticas están claras. No tanto la física y su interpretación. Alguno puede alarmarse al leer que la física no está clara cuando existe tanta evidencia experimental de que sabemos manejar la dualidad onda-corpúsculo. Démonos cuenta, sin embargo, de que este manejo es puramente instrumental y que, si partimos de la hipótesis de que la física describe la realidad, las cosas ya no están tan definidas.

La dualidad onda corpúsculo sería una propiedad fundamental del universo y una manifestación del principio de complementariedad de Bohr que podría expresarse como: los resultados de las

mediciones efectuadas sobre objetos gobernados por la mecánica cuántica dependen del tipo de dispositivo de medida empleado y deben ser descritos necesariamente en términos mecánicos clásicos. O, dicho de otra manera, según la interpretación de Copenhague, de la que el principio de complementariedad es piedra angular, podemos medir el comportamiento de una partícula como corpúsculo o como onda, pero no los dos simultáneamente.

Pero, ¿y si la dualidad onda-corpúsculo fuese una propiedad emergente?. ¿La parte mensurable de una realidad más profunda? A poco que reflexionemos vemos que las matemáticas, los experimentos y las aplicaciones de la mecánica cuántica seguirían estando ahí, inalterados. Sólo cambia la realidad atribuible a corpúsculo y onda, su “física” en el sentido de descripción de la realidad, si se quiere. Ambos serían realidades físicas.

### La onda piloto

A raíz del artículo de Max Born de 1926, en el que se sugería que la función de onda de Schrödinger representa la densidad de probabilidad de encontrar una partícula, de Broglie desarrolló la teoría de la “onda piloto”: un ente cuántico consistiría en una onda física en el espacio real que posee una región esférica singular que no es otra cosa que una partícula.

$$p(x, y, z, t_0) = |\Psi(x, y, z, t_0)|^2$$

Dicho con otras palabras: una partícula es un corpúsculo real acompañado por una onda que lo guía (piloto), también real. De Broglie presentó su teoría en la Conferencia Solvay de 1927 sólo para encontrarse con las críticas ácidas de Pauli (aquí tenemos otro caso interesante de sociología de la ciencia), que de Broglie no supo, o no pudo, contrarrestar. De Broglie, que contaba con el tibio apoyo de Born, abandonó. Veinticinco años después David Bohm, insatisfecho con las interpretaciones de Copenhague, redescubriría la teoría de la onda piloto de de Broglie y la ampliaría para los sistemas de muchas partículas.

La **teoría de de Broglie-Bohm** habría pasado desapercibida si no hubiese sido por John Bell, el de las desigualdades de su nombre. Bell demostró que las objeciones originales de Pauli (y las posteriores de von Neumann) lo único que demostraban era que la teoría de la onda piloto no era local. De hecho, el propio Bell demostró que las teorías mecano-cuánticas capaces de reproducir los fenómenos cuánticos no poseen variables ocultas o, si existen, no son locales. Si nos fijamos, ¡oh, sorpresa!, la teoría de de Broglie-Bohm es precisamente esto último: una interpretación de la mecánica cuántica determinista, con variables ocultas y no local.

Estamos pues ante una interpretación de las matemáticas y los experimentos de la mecánica cuántica que nos dice que, a diferencia de la interpretación de Copenhague, los entes cuánticos tienen posiciones definidas antes de la medida. Nuestro desconocimiento de cuáles son sería del mismo tipo del de no saber cuantas monedas tiene en la mano tu contrincante al jugar a los chinos. Por lo tanto el gato de Schrödinger nunca está en una superposición de estados, simplemente no sabemos en cuál está.

La interpretación de de Broglie-Bohm puede considerarse una alternativa sólida a la estándar de Copenhague, con el añadido de que es determinista o, si lo anterior suena muy drástico, más digerible para el sentido común (se han encontrado, por ejemplo, ondas piloto macroscópicas). Pero, ¿por qué no es la interpretación predominante?

Hay varias respuestas que pueden darse a esta cuestión, algunas relacionadas con temas sociológicos. Pero ciñéndonos a aspectos más técnicos pueden darse dos razones por las que la onda piloto no es la interpretación predominante.

1. La primera es que las modificaciones que hace de las matemáticas estándar no arrojan resultados ni mejores ni diferentes de los existentes; ni hace predicciones nuevas. Así, la

inercia de años de uso, físicos formados y libros de texto juega a favor de Copenhague.

2. La segunda es algo más sólida. La teoría de la onda piloto es no local, además de existir la onda realmente. Pero ello implica la existencia de fenómenos superluminales (más rápidos que la luz) para justificar, por ejemplo, el dato experimental de la existencia del entrelazamiento cuántico. Los fenómenos superluminales violan la relatividad especial de Einstein, y esto hace que, como mínimo, te sientas incómodo. También es cierto que la interpretación estándar no aporta nada mejor, el entrelazamiento existe y punto.

Ambas razones combinadas hacen que no exista ninguna fuerza impulsora, más allá de la filosófica, que lleve a preferir la onda piloto frente a Copenhague. Sólo nuevos datos experimentales podrían suponer un refinamiento suficiente para distinguir qué teoría describe mejor la realidad.

## Los multiversos de Everett (\*)

De las interpretaciones de la mecánica cuántica, unas hablan del colapso de la función de onda, otras de la existencia de variables ocultas, todas teniendo que explicar los mismos hechos experimentales. En relación con esta tensión tenemos la ya mencionada teoría de los **multiversos** (“*many-worlds*”, desarrollada principalmente por Hugh Everett). La interpretación de la superposición de la función de onda es un nudo gordiano. ¿En qué consistiría cortarlo?. Por una parte, en no renunciar al realismo, es decir, no vivir en un mundo de variables desconocidas/inexistentes hasta que se midan (interpretaciones de Copenhague); y, por otra, prescindir de la existencia de variables ocultas (de Broglie-Bohm y similares). Hugh Everett adopta el papel de Alejandro y su teoría de los universos paralelos sería la espada.

Se trata de una hipótesis física en la que se propone que existen diversos universos o realidades relativamente independientes. El desarrollo de la física cuántica, la búsqueda de una teoría unificada (teoría cuántica de la gravedad) y el desarrollo de la teoría de cuerdas, han hecho entrever la posibilidad de la existencia de múltiples dimensiones y universos paralelos conformando un **multiverso**.

De entrada, Everett niega el colapso de la función de onda desde una superposición de estados continua. Es decir, el gato de Schrödinger está en superposición de estados permanente, incluso cuando abrimos la caja y miramos dentro. Pero, si esto es así, ¿cómo es que no observamos esa superposición?. ¿Por qué no vemos el gato vivo y muerto a la vez?

La respuesta es que tanto el experimentador como lo experimentado (y toda la realidad) son parte de uno de los estados que conforman la superposición de estados. Pero, como no existe colapso de la función de onda, los otros estados de la superposición siguen existiendo. Todos los entes tienen sus “homólogos” que son partes de esos estados. Nosotros vemos un gato vivo y una botella de veneno intacta y nuestros homólogos la ven rota y al gato muerto. Démonos cuenta de que nada nos impide considerar al conjunto del universo como ente cuántico. La función de onda que representa al universo en su conjunto evoluciona de acuerdo con la ecuación de Schrödinger y, como todas, será una superposición de estados. La función de onda, por tanto, representa a un universo que consiste en la superposición de un número de estados enorme y que está continuamente creciendo. Es un árbol que se va ramificando furiosamente cada vez que un ente cuántico entra en una situación que pueda llevar a una superposición de estados. Todos los universos paralelos así creados serían reales. Y ninguno es más real que otro.

De este modo, multiverso es un término usado para definir los múltiples universos posibles, incluido nuestro propio universo. Comprende todo lo que existe físicamente: la totalidad del espacio y del tiempo, todas las formas de materia, energía y cantidad de movimiento, y las leyes físicas y constantes que las gobiernan.

En realidad, esto proviene de una necesidad matemática, ya que para ciertos cálculos matemáticos la idea de concebir varios universos hacía que funcionase muy bien y que se hicieran buenas predicciones en mecánica cuántica. La polémica es si es lícito proponer o no esos universos paralelos simplemente para que *“salgan las cuentas”*. Por tanto, la postulación de múltiples universos puede entenderse de un modo realista o pragmatista. La interpretación realista genera muchos problemas, ya que si hablamos de múltiples universos, hay que preguntarse dónde están realmente, cómo accedemos a ellos. Por ello, muchos consideran que esta teoría va en contra de la *“navaja de Ockham”* ya que hace que todo sea mucho más complejo de lo que es.

Así, el físico Paul Davies considera que la idea de proponer nuevos universos se parece más a una cuestión de fe religiosa que a un verdadero razonamiento científico.

*“For a start, how is the existence of the other universes to be tested? To be sure, all cosmologists accept that there are some regions of the universe that lie beyond the reach of our telescopes, but somewhere on the slippery slope between that and the idea that there are an infinite number of universes, credibility reaches a limit. As one slips down that slope, more and more must be accepted on faith, and less and less is open to scientific verification. Extreme multiverse explanations are therefore reminiscent of theological discussions. Indeed, invoking an infinity of unseen universes to explain the unusual features of the one we do see is just as ad hoc as invoking an unseen Creator. The multiverse theory may be dressed up in scientific language, but in essence it requires the same leap of faith.”*

— Paul Davies, *A Brief History of the Multiverse*

Sin embargo, para otros científicos, como George Ellis, aun considerándose escéptico y suponiendo que estas múltiples dimensiones no existen, defiende que tienen un papel pragmático importante ya que permiten mejores cálculos y una estimulación filosófica potente que permite reflexionar sobre por qué estamos aquí, hacia dónde va el mundo, etc.

*“As skeptical as I am, I think the contemplation of the multiverse is an excellent opportunity to reflect on the nature of science and on the ultimate nature of existence: why we are here... In looking at this concept, we need an open mind, though not too open. It is a delicate path to tread. Parallel universes may or may not exist; the case is unproved. We are going to have to live with that uncertainty. Nothing is wrong with scientifically based philosophical speculation, which is what multiverse proposals are. But we should name it for what it is.”*

— George Ellis, *Scientific American, Does the Multiverse Really Exist?*

## Conclusiones sobre la Filosofía de la Física

- La Física ha tenido una gran influencia en la Filosofía de la Ciencia, siendo la disciplina fundamental en la Filosofía de la Ciencia hasta los años 80 del siglo XX.
- Descubrir el mundo (Realismo) como ideal de la ciencia: Mecánica Newtoniana y Relatividad.
- Pese a ser el mejor modelo predictivo que hemos llegado a concebir, la Mecánica Cuántica (algunas versiones de ésta) cuestiona el papel de la Física como *“representación realista de la Naturaleza”*.
- Terreno fértil para la Filosofía de la Ciencia (filósofos y científicos).

## Filosofía de la biología

La filosofía de la biología es la rama de la filosofía de la ciencia que toma a la biología como objeto de análisis, en especial, sus procedimientos metodológicos, sus peculiaridades explicativas y sus problemas conceptuales. Su historia como campo de estudio con cierta autonomía y relevancia académica es relativamente reciente, ya que la filosofía de la ciencia estuvo centrada durante casi todo el siglo XX en el estudio de la física. De esto se quejaba el biólogo Ernst Mayr:

*“Muchos físicos y filósofos suponen ingenuamente que lo que se aplica a la física se aplicará igualmente a cualquier rama de la ciencia. Desafortunadamente, muchas de las generalizaciones realizadas en la filosofía de la física o son irrelevantes o no son verdaderas aplicadas a los fenómenos biológicos”.*

Sin embargo, desde finales de los años 60 y principio de los 70 del pasado siglo, la biología ha despertado una atención creciente entre los filósofos. Las cuestiones dominantes en la filosofía de la ciencia no son ya la de la especificidad del método científico, la de la racionalidad del cambio de teorías, la de las características de las teorías científicas (en especial su estructura formal). La filosofía de la biología se ha interesado por cuestiones más concretas, como por ejemplo, cuál es el estatus científico de la teoría de la evolución; cuál es el papel de las explicaciones funcionales; qué es la vida; qué son las especies; si puede haber leyes en biología, etc.

El propio desarrollo de la biología ha sido muy útil para dismantlar algunos de los tópicos filosóficos previos acerca de la ciencia. En la actualidad, la biología se presenta como una ciencia madura, sin complejos frente a la física o a la química, y, sin embargo, su estructura teórica y sus métodos parecen muy distintos de los de esas ciencias. Sus avances en el siglo XX se resumen en dos de la máxima importancia:

- El desarrollo (años 20-30) de la **Teoría Sintética de la evolución** (que integra genética mendeliana y darwinismo), obra de autores como Dobzhansky, Huxley, Mayr, Haldane,...
- Descubrimiento de la **estructura molecular del ADN** (1953 James Watson y Francis Crick)

Entre las características que más llaman la atención en el modo en que ha venido desarrollándose desde entonces la filosofía de la biología destacan:

- La colaboración que se ha dado entre filósofos y científicos, mucho mayor de la que hubo en décadas pasadas en la filosofía de la ciencia centrada en la física. Hay determinados problemas de la biología que son susceptibles de un enfoque interdisciplinar en el que las herramientas analíticas y conceptuales del filósofo han mostrado ser de utilidad.
- La filosofía de la biología ha proporcionado nuevos y enriquecedores enfoques al estudio de viejas cuestiones filosóficas. Por ejemplo, el determinismo frente al libre albedrío, el papel del azar en la naturaleza, si cabe atribuir a ciertos procesos naturales una dirección hacia un fin (teleología), o de las bases biológicas de la cognición y del comportamiento moral. Así, la filosofía de la biología no se limita a ser una disciplina metacientífica, sino que usa datos y teorías de la biología para obtener nuevas respuestas a preguntas filosóficas de larga data. Procediendo de este modo, la filosofía de la biología se compromete con el enfoque naturalista, que consiste, básicamente, en propiciar el acercamiento entre la ciencia y la filosofía mostrando que los resultados y los métodos de las diversas ciencias son relevantes para el planteamiento de problemas filosóficos, ya que, en última instancia, la ciencia y la filosofía forman un continuo en el que no pueden trazarse fronteras precisas.

- La bioloǵa tambín ha sacado provecho de la filosof́a de la bioloǵa:
  - Se beneficia de ańlisis llevados a cabo en los últimos ańos de conceptos como *gen*, *especie*, *fitness* (*eficacia bioĺgica*), *adaptaci3n*, *individuo*, *funci3n*, *nicho ecol3gico*, *biodiversidad*, *mecanismo*, *complejidad*, *informaci3n*,... Estos ańlisis han ayudado a mostrar ambigüedades y polisemias en el uso de dichos conceptos y algunas formas de evitarlas. Así como contribuir a dilucidar el potencial explicativo de dichos conceptos y a seńalar los prejuicios hist3ricos y filos3ficos que éstos arrastran en ocasiones.
  - Tambín puede beneficiarse de la discusi3n de problemas empírico/conceptuales, como el problema de las unidades de la selecci3n, el de la posibilidad de reducci3n de las explicaciones biol3gicas a explicaciones pertenecientes a la bioloǵa molecular o a la genética, el de la explicaci3n de la conducta altruista, o el de en qú medida las ideas recientes en bioloǵa del desarrollo son integrables o no en la Teoŕa Sintética de la evoluci3n. A esto hay que ańadir el interés que puede tener para el bi3logo profesional la dilucidaci3n de las característicás propias de la bioloǵa y del grado de contrastabilidad de sus teorías, particularmente la teoŕa de la evoluci3n.

### Peculiaridades de la bioloǵa y diferencias con el resto de ciencias (\*)

¿Cuál es la posici3n de la bioloǵa en el conjunto de las ciencias? El inicio de la filosof́a de la bioloǵa se produce cuando los filósofos se empiezan a cuestionar a la bioloǵa como ciencia: si es distinta de la física o si puede reducirse a ella. El profesor Antonio Díéguez, en su obra *“La vida bajo escrutinio”* (2012), seńala cinco peculiaridades de la bioloǵa que la distinguen como ciencia:

- No hay leyes en bioloǵa, en especial no hay leyes de la evoluci3n, que parece no ajustarse al ideal de ley que se tiene de otras disciplinas como la física, ni se le puede aplicar el modelo nomol3gico-deductivo de Hempel..
- En muchas áreás de la bioloǵa (paleontoloǵa, sistemática, etc.) no es posible la experimentaci3n y han de emplearse otros métodos, como el método comparativo o hist3rico, que no parecen tener cabida en la física. Si bien tampoco es posible la experimentaci3n directa en amplias áreás de la geoloǵa, astronomía o cosmoloǵa.
- Los sistemas vivos son sumamente complejos, lo cual dificulta su estudio en funci3n de pocos principios básicos, viéndonos obligados a estudiar y entender los sistemas vivos inmersos en su complejidad.
- El grado de matematizaci3n en las teorías biol3gicas es escaso. Si bien se utilizan las matemáticas y los modelos algorítmicos, en especial en bioloǵa genética y en el estudio de poblaciones ecol3gicas, pero no es algo intrínseco a la disciplina.
- La bioloǵa recurre a explicaciones teleol3gicas e hist3ricas, mientras que éstas ya han sido descartadas en la física y en la química.

En bioloǵa se habla de un *telos*, de una finalidad o historia muy relevante con una capacidad explicativa central para dar cuenta de los fenómenos e identidades que tenemos aquí y ahora, cosa que es impensable cuestionar en física

Nótese la constante comparativa frente a la física, ya que ésta ha sido “la ciencia” por antonomasia empleada históricamente para dar cuenta de la realidad, y de la que se pretendía fuese la madre del resto de ciencias que quedarían reducidas a ésta. Aunque tambín es cierto que las diferencias no son tan extremas y podrían reducirse a diferencias en grado de cualidad. En suma, podemos decir que la bioloǵa es una ciencia peculiar que presenta diferencias con sus hermanas, la física y la química, pero esto no perjudica en absoluto su rigor ni su carácter de ciencia madura desde el punto de vista metodol3gico y epistemol3gico.

## ¿Es reducible la biología a ciencias más básicas?

La discusión fundamental se centra en si la biología y los fenómenos biológicos son reducibles a la física, o si de lo que habla la biología es lo mismo de lo que habla la física. En todo caso, las relaciones entre la biología y la física (o la química) son complejas. Son pocos los biólogos que asumen las dos posturas extremas y simplificadoras:

- La **reduccionista radical**, donde la biología, en última instancia, es reducible a la física y a la química, y las diferencias que puede haber entre ellas serían debidas a una temporal inmadurez de la biología.
- La **antirreduccionista radical**, donde la biología es una ciencia completamente autónoma en sus métodos, teorías y fines con respecto a la física y a la química. Autores antirreduccionistas sostienen que la reducción no es posible en principio, porque los organismos no son meros ensamblajes de átomos y moléculas, ni siquiera de órganos y tejidos que mantienen una simple relación externa de unos con otros. Se afirma que los organismos son «todos» que tienen que ser estudiados como todos y no como la «suma» de sus partes aislables.

Quizás haya que distinguir entre las distintas disciplinas y no considerar a toda la biología como algo homogéneo en metodología y objetivos. La situación difiere bastante si nos situamos en la bioquímica y la biología molecular respecto a la paleontología y la taxonomía. Desde estas ciencias puede trazarse una escala gradual que recorra todas las demás disciplinas biológicas, estando las últimas en una situación muy diferente a las primeras en su relación con la física y la química.

- **Asunción del reduccionismo ontológico**: hoy en día, casi todo el mundo acepta que los seres vivos están constituidos por elementos y reacciones químicas (pudiendo éstas reducirse a su vez a lo físico). Esto nos dice que no hay nada material en los seres vivos que no se halle también en los cuerpos inertes.

Esto último da pie a la idea de superveniencia: y se discute si dos organismos que fueran exactamente iguales en sus aspectos físico-químicos, serían también exactamente iguales en sus aspectos biológicos. Esto parece estar generalmente aceptado.

- **Cuestionamiento del reduccionismo epistemológico o teórico**: en general, se afirma que no se pueden deducir todas las propiedades de los seres vivos (o cómo “construirlos”) a partir de nuestro conocimiento de las propiedades de los elementos químicos de los que están formados (no podemos “inferir la biología a partir de la química”).

Esta deducción no es posible (al menos completamente), pero es cierto que el estudio de propiedades físico-químicas permite explicar muchísimos aspectos concretos de los seres vivos, aunque no haya una “explicación global de la biología en términos meramente físico-químicos”. Hay elementos que parecen estar más allá, es decir, que el todo es más que la suma de las partes (emergentismo), y ese todo está determinado por cuestiones de organización que no son reducibles.

Es decir, si bien se trate de la misma base ontológica que puede ser descrita desde de la física y la química, el nivel epistémico o teórico de los seres vivos se halla en un nivel propio de la biología, atendiendo así al reduccionismo ontológico para con lo físico-químico, pero con un emergentismo epistemológico y teórico en lo biológico.

Se ha de reconocer que la reducción de la biología a la fisicoquímica no se puede efectuar en el estado de desarrollo actual del conocimiento científico. Si será posible la reducción en el futuro es una cuestión empíricamente sin sentido. Una mayoría de los problemas biológicos no puede abordarse por ahora a escala molecular. La investigación biológica debe pues continuar en los diferentes niveles de integración del mundo vivo, según las leyes y teorías desarrolladas para cada orden de complejidad. El estudio de la estructura molecular de los organismos debe continuar de



la mano de las investigaciones de la célula, órgano, individuo, población, especie, comunidad y ecosistema. Estos niveles de integración no están aislados unos de otros. Las leyes formuladas a un nivel iluminan los demás niveles, tanto los de arriba como los de abajo, y sugieren estrategias de investigación adicionales. Quizás valga la pena señalar que, de hecho, las leyes biológicas descubiertas a una escala de organización superior han contribuido más frecuentemente a guiar la investigación de los niveles más bajos, que al contrario. Por mencionar sólo un ejemplo, la teoría mendeliana de la herencia precedió la identificación de la composición química y la estructura del material genético, hizo posible estos descubrimientos y éstos no la han convertido en superflua.

## Teoría de la Evolución de Darwin (\*)

Antes de la aparición de Darwin, la explicación de la complejidad de la vida y su capacidad para desarrollar características exquisitamente adaptadas a las necesidades del organismo, se basaba en el **argumento del diseño**, que aprovechaba la existencia de esa complejidad adaptativa para inferir la existencia de un diseñador, y de ahí, la existencia divina. William Paley (siglo XVIII) elaboró una de sus versiones más conocidas. Según Paley, los seres vivos y sus órganos son muy parecidos a un reloj, ya que parecen haber sido diseñados para cumplir un cierto propósito. Un ojo, por ejemplo, se nos muestra como un mecanismo extremadamente sutil y sofisticado, diseñado para que su poseedor sea capaz de ver. Parece inevitable hablar de diseño cuando nos encontramos ante órganos y organismos complejos, ya que el azar no puede generarlos.

Charles Darwin, en *“El Origen de las Especies”*, se enfrentó al reto de convencer a sus contemporáneos de que las especies no habían sido creadas con sus formas actuales, sino que habían evolucionado en el tiempo. La idea de la evolución no era nueva, enciclopedistas como Diderot o el científico francés Maupertuis ya trabajaron con ella, pero ninguno de ellos dio con una respuesta satisfactoria que explicase por qué las especies cambian.

La primera teoría coherente de la evolución la propuso el naturalista y filósofo francés Lamarck. Lamarck quería explicar lo que le parecía una progresión de la naturaleza desde los organismos más pequeños hasta los animales y plantas más complejos y “casi perfectos”.

Para ello postuló varios principios: la existencia en los organismos de un impulso interno hacia la perfección, la capacidad de los organismos para adaptarse a su entorno, la generación espontánea y la famosa teoría de la herencia de los caracteres adquiridos. Lamarck estaba profundamente interesado en la dimensión “vertical” de la evolución, es decir, la evolución en su dimensión temporal. Darwin, sin embargo, inicialmente centró su interés en el problema de la diversidad, en el origen de las especies a través de su diversificación geográfica, la evolución “horizontal”.

### Principios básicos:

- **Principio de Variación:** los hijos no suelen ser iguales a los padres, ni iguales entre sí; las variaciones suelen ser aleatorias (mutaciones).
- **Principio de Herencia:** muchas de las características que diferencian a los individuos son heredables.
- **Principio de Selección natural:** no todas las variaciones otorgan al individuo que las posee la misma capacidad reproductiva; aquellas variaciones que otorgan una capacidad reproductiva mayor, estarán más presentes en las siguientes generaciones

Dado este punto de partida, el cambio evolutivo será inevitable, ya que, debido a la fuerte competencia, las características menos beneficiosas tenderán a ser eliminadas y las más útiles acabarán fijándose en la población, hasta que aparezcan variantes más aptas o hasta que se produzca un cambio en el entorno.

## Postulados fundamentales

1. **Evolucionismo**: el mundo no es estático, evoluciona. Las especies cambian continuamente, se originan unas y se extinguen otras. El registro fósil muestra que los organismos, cuanto más antiguos son, más diferentes son a los actuales.
2. **Gradualismo**: el proceso evolutivo es gradual y continuo. No consiste en cambios súbitos y saltos discontinuos.
3. **Origen común**: todos los organismos descienden de ancestros comunes por un continuo proceso de ramificación.
4. **Selección natural**: como un proceso que consta de dos fases: producción de variabilidad y la selección a través de la supervivencia en la lucha por la existencia.

## Principio explicativo de la teoría darwinista de la evolución:

*“La razón de que algunas variantes dejen más descendencia que otras es que son más capaces de afrontar los desafíos del entorno, bien sea en la competencia con otros organismos por los recursos en momentos de escasez, bien sea por la presión fisiológica” (Lewontin 1982: 153-154)*

El principio explicativo de la teoría darwinista de la evolución se basa en la idea de que cualquier ventaja, entendida como una mayor eficacia en las relaciones entre el organismo y su entorno, que muestre alguno de sus miembros sobre los otros le dará más probabilidades de sobrevivir y reproducirse. Si además estas diferencias son heredables de alguna forma, es decir, si los descendientes tienden a parecerse más a sus progenitores que a los demás miembros de la población, estas diferencias podrán acumularse, haciendo que los miembros de la población vayan adaptándose más y más a su entorno.

Este mecanismo de la selección natural explicaba el diseño natural sin necesidad de un artífice divino, proporcionando una explicación materialista de la evolución y cambiando la forma de entender a los organismos vivos, la complejidad de la vida.

## Críticas a la teoría darwinista

La teoría darwinista no ha estado exenta de críticas y cuestionamientos desde su origen

### ¿Es el darwinismo una tautología (y por lo tanto, una tesis infalsable)?

- Tesis planteada por Karl Popper entre otros  
*“sobreviven los más aptos / los más aptos son los que sobreviven”*
- No, porque lo importante no es esa tesis, sino que de hecho habrá variaciones dentro de cada especie, y las distintas variantes se reproducirá con distinto grado de éxito, dependiendo de factores causales identificables independientemente y que son de los que la teoría de la evolución da cuenta.

### ¿Es el darwinismo una teoría refutada?

- Esto se ha planteado desde la teoría creacionista del *“Diseño inteligente”*. Supuestamente presenta casos demasiado complejos para alegar que es imposible que hayan evolucionado según defiende Darwin, ya que no existen mecanismos históricos que puedan explicarlos; reflejando así un diseño inteligente de un ser superior.
- El creacionismo viene a ser una versión moderna de la teología natural vigente en el siglo XVIII y XIX es el caso del argumento del relojero de William Paley:

*Si encontramos un reloj tirado en un campo, no podemos suponer de ningún*

*modo que éste ha sido creado y se encuentra allí por simple azar o por la conjunción de meras leyes mecánicas ciegas. Los relojes, al contrario que las piedras o las nubes, exhiben un tipo muy particular de organización, un orden en el cual cada parte está perfectamente dispuesta con respecto a las otras piezas a fin lograr un objetivo global: medir el tiempo. Este intrincado diseño dispuesto para un objetivo concreto tiene necesariamente que haber sido concebido y ejecutado por un diseñador racional. La complejidad del reloj, la disposición de su mecanismo y la adecuación del conjunto de sus partes para lograr un fin específico sólo pueden ser explicadas aludiendo a una intencionalidad racional: "la concordancia, la disposición de las piezas, la presencia de medios sometidos a la consecución de un fin, la relación de los instrumentos para un uso, todo esto implica la presencia de la inteligencia y la mente"*

Sin embargo, las tesis creacionistas han sido refutadas, primero porque todos los ejemplos que propuestos de estructuras que presentan una complejidad irreducible han llevado a los biólogos a siempre encontrar mecanismos evolutivos que den cuenta de tal estructura; y en segundo lugar, dentro del darwinismo hay vertientes que defienden que, aún suponiendo que hay estructuras tan complejas que no han podido ser creadas paso a paso, hay otras muchas formas de crear complejidad a nivel biológico: es el caso de la teoría del "equilibrio puntuado", la de la "endosimbiosis", la "morfogénesis", etc., teorías que complementan al darwinismo introduciendo más factores que influyen en el proceso de selección natural.

- No se han presentado casos que se pueda demostrar que no podrían haber evolucionado mediante un proceso darwinista (aunque en la práctica es casi siempre imposible rastrear todas las variaciones que han conducido a cada caso). Que no lo conozcamos todo no es suficiente para negar la capacidad explicativa de la teoría de Darwin, y en todo caso, el peso de la prueba debería caer en aquellos que afirman esta situación negativa:

*Extraordinary claims require extraordinary evidence (Carl Sagan)*

### ¿Es el darwinismo capaz de explicar todo en biología?

- Pese al triunfo del darwinismo en biología, ejemplificado en la célebre afirmación de que *"nada en biología tiene sentido si no es a la luz de la evolución"*, se ha criticado mucho el *"panglossianismo"* (término que proviene de Panglos, personaje de la novela "Cándido" de Voltaire), donde todo se explica evolutivamente y que todo parece una adaptación, cuando existen otros factores no evolutivos importantes en biología. Es decir, no todo es explicable desde esta teoría.
- *Ejemplo*: Las constricciones (*"sprandels"*) de Gould & Lewontin 1979. Necesidad de un enfoque más "sistémico" que de cuenta de todos aquellos factores no intrínsecamente evolutivos pero que condicionan el desarrollo evolutivo de las especies.

## Conclusión acerca de la teoría de la evolución

El darwinismo no sólo es compatible con todo lo que sabemos sobre los seres vivos (aunque no explique todos sus aspectos), sino que es el marco teórico que mejor permite comprenderlos (aunque no lo explica todo). Sobre todo, es una teoría capaz de explicar en términos científicos de qué manera se pueden generar y modificar las estructuras tan complejas de los seres vivos.

En términos Kuhnianos, no es un paradigma que se agote para dar paso a otro, sino que tenemos un paradigma en proceso de expansión. Es decir, los nuevos descubrimientos y avances dentro del proceso de *"ciencia normal"* aumentan los contenidos del paradigma, y no da pie a ninguna crisis revolucionaria. La síntesis moderna sigue ampliándose y desarrollándose lo que lleva a que el marco teórico de la biología sea más abarcador.

## La Síntesis Moderna y el concepto de gen (\*)

La razón por la que la teoría darwiniana no tuvo más éxito inicialmente en los circuitos científicos fue porque le faltaba el mecanismo de herencia. ¿Cómo se transmiten los rasgos de los padres a los hijos? En tiempos de Darwin el modelo estándar de mecanismo de herencia era el denominado “herencia por mezcla”. Se pensaba que los materiales hereditarios paternos y maternos, contenidos en los fluidos reproductivos se mezclaban originando un nuevo individuo de características propias. La teoría que desarrolló Darwin, la *pangénesis*, está basada fundamentalmente en este modelo. Ocho años después de la aparición de “*El Origen de las Especies*”, Fleming Jenkin señaló la seria incompatibilidad que existe entre el mecanismo de la selección natural y la pangénesis. Jenkin, razonando desde la matemática estadística, mostró que la herencia por mezcla de rasgos, postulada para asegurar la integridad poblacional y de la especie es demasiado fuerte, haría que los nuevos rasgos se perdiesen entre la distribución media de la población.

La solución al problema que planteaba la “herencia por mezcla” se encontraba en la literatura de la época. Gregor Mendel publicó en 1866 un artículo en el que describía los resultados de los experimentos que había realizado con guisantes de jardín durante unos 8 años, resultados que mostraban que ciertos rasgos característicos de la especie eran transmitidos por cada progenitor a la generación siguiente mediante unidades discretas, denominadas “factores” (que ahora denominaríamos genes), unidades no mezclables que se conservan sin cambios y que se recombinan de nuevo en cada generación según unas proporciones determinadas. El artículo pasó desapercibido en ese momento hasta que, de 1900 a 1902, tres biólogos europeos (Hugo de Vries, Carl Correns y Erick von Tschermak) afirmaron haber redescubierto las leyes de Mendel independientemente.

Estos primeros continuadores de Mendel no aceptaban la teoría de la selección natural. La evolución podría ser fácilmente explicada únicamente en términos de herencia genética y mutación. Así pues, durante los primeros años del siglo XX, los científicos tenían ideas diferentes sobre las causas del cambio evolutivo. La mayor parte de naturalistas y paleontólogos pensaban que la evolución era el resultado de la selección natural actuando sobre pequeñas diferencias intraespecíficas, mientras los primeros genetistas enfatizaban el papel de la (macro)mutación.

El debate entre la escuela de la biométrica (defensora de una visión gradualista de la evolución) y Bateson, figura central del mutacionismo mendelista; la acuñación del término gen por parte del botánico holandés William Johansen; el desarrollo de la “genética de poblaciones”, que investigó con herramientas estadístico-matemáticas la dinámica de las frecuencias genéticas en las poblaciones, tratando de solventar problemas sobre temas como qué tipos de cambios evolutivos son posibles, sobre qué condiciones es posible este cambio o su velocidad; todo esta serie de nuevos desarrollos en la teoría evolutiva desde Darwin llevaría a una síntesis, que se comentó ampliamente a lo largo de los años 30 y 40 fundamentalmente a través de las obras de **Dobzhansky**, **Huxley**, Ernst **Mayr**, **Simpson** y Ledyard **Stebbins**, y que serviría para llegar a un acuerdo en la comunidad biológica con respecto a los principios fundamentales de la evolución. La Síntesis Moderna ampliaba la teoría de Darwin a la luz de la teoría cromosómica de la herencia, la genética de poblaciones y el concepto biológico de especie y se caracterizó por un rechazo total de la herencia de los caracteres adquiridos, un énfasis en la condición gradual de la evolución y el reconocimiento de la importancia decisiva de la selección natural.

### Presupuestos de la síntesis moderna

Se llama **Síntesis Moderna** (o neodarwinismo) porque sintetiza en un mismo marco teórico la teoría de la selección natural junto al concepto moderno de “gen”. Tendría cinco presupuestos esenciales:

1. La selección natural es la principal fuerza directora de la evolución (restringida fundamentalmente al nivel individual).
2. Las mutaciones son aleatorias con respecto a las necesidades adaptativas del organismo.
3. Se da una recombinación en poblaciones con reproducción sexual.
4. Aislamiento: prevención del flujo genético debido a un aislamiento geográfico o ecológico, y mecanismos de aislamiento genéticos.
5. Deriva: pérdida aleatoria de genes del acervo genético en poblaciones pequeñas o en poblaciones cuyo tamaño o distribución geográfica cambia rápidamente.

Es éste el paradigma actual de la biología, y que presenta sus principales hitos en

- Descubrimiento estructura del ADN y su posible vinculación a la biología Molecular (Estudio de la estructura, función y composición de las moléculas biológicamente importantes). En este sentido una de las cuestiones que se plantea desde la filosofía de la biología es determinar si el concepto de gen de Mendel se puede reducir o traducir a la genética molecular.
- Las recientes aportaciones de la biología molecular, la biología evolutiva junto con la informática y la ciencia de sistemas ha llevado a subsumir la organización biológica bajo la noción de programa genético, un programa cuya decodificación mediante el proceso de desarrollo produce al organismo, y cuya codificación o diseño depende fundamentalmente de la selección natural. La evolución, desde esta perspectiva, se entiende como el proceso de modificación de este programa, que puede observarse en el cambio de las frecuencias de genes en las poblaciones. Como la variabilidad del sistema genético se considera ilimitada, la evolución puede interpretarse como una exploración aleatoria del espacio de secuencias genéticas, en el que la selección asume el papel de “filtro” funcional externo.
- Parece abocarnos a un determinismo genético: que todo estaría determinado por nuestros genes. Por contra, tenemos otras teorías que cuestionan dicha información, como:
  - Información epigenética: información contenida en los genes que no se corresponde con la tradicionalmente vinculada al concepto clásico de gen. El epigenoma comprende todos los compuestos químicos que se han agregado a la totalidad del ADN (genoma) como una forma de regular la actividad (expresión) de todos los genes dentro del genoma. Estos compuestos químicos no son parte de la secuencia del ADN, pero están en el ADN o unidos a él, y permanecen a medida que las células se dividen y, en algunos casos, pueden heredarse de generación en generación. Las influencias del ambiente, como la dieta de una persona y su exposición a contaminantes, también pueden afectar el epigenoma.
  - EVODEVO: existen constricciones y limitaciones propias de nuestro desarrollo ontogenético (nuestro ser como organismos) y que tienen algo que decir al respecto de cómo somos
  - Determinación ambiental y de nuestro contexto vital que nos hace ser como somos.
- Promesas del Proyecto Genoma Humano: desde su planteamiento se creía que seríamos capaces de desentrañar el manual de instrucciones y entender el más mínimo detalle de aquello que nos hace humanos. El desencanto al respecto es lo que ha derivado en las diferentes teorías que cuestionan el determinismo genético, y con él la síntesis moderna, que quedan un tanto en entredicho (no es que se entiendan como falsas, pero sí que requieren de complementación).

## El gen egoísta, de Richard Dawkins

El pensamiento darwinista tiene una derivación en la que el ser humano es concebido en todas sus dimensiones como un animal más, producto de una lenta evolución en la que no es posible apreciar saltos de ningún tipo. Esta visión que naturaliza al ser humano es apoyada sin ambages por Dawkins estableciéndola como interpretación única e indiscutible del darwinismo y como una verdad incuestionable ante la que cualquier otra postura filosófica, científica o religiosa pasada o presente debe callar. De esa manera puede comprenderse también la opción no solo naturalista sino también atea que asume Dawkins y de la que se ha convertido en un adalid a lo largo de toda su vida intelectual y, muy especialmente, con la publicación de su libro superventas *“El espejismo de Dios”* (2006). Dawkins es, probablemente, uno de los divulgadores de la biología más importantes del siglo XX. *“El gen egoísta”* fue el libro que le dio fama de pensador original y con capacidad de comunicación. Esa fama le ha hecho tanto tener una presencia asidua en los medios de comunicación como recibir un sinnúmero de premios importantes a lo largo de su carrera profesional. No es, por tanto, un académico oscuro de abstruso pensamiento y sin capacidad de influencia. Dawkins es un superventas, ha sido muy leído y, más allá de eso -aunque pueda resultar extraño, forma parte de la condición humana-, ha sido aún más citado.

La tesis principal que da sentido a su interpretación parece muy básica en su enunciado más general, pero tiene tantas derivaciones que el hecho de que se mantenga fuerte en múltiples circunstancias le da solvencia. Esa idea es: *todo ser vivo quiere seguir viviendo y la vida utilizará cualquier medio para triunfar sobre la aniquilación en todas las circunstancias vitales*. Sobre esa idea, de fundamento en toda la interpretación darwinista, realiza Dawkins su aportación más original indicando que, ya que el individuo muere y posiblemente no puede sobrevivir durante mucho tiempo, *la unidad básica de supervivencia no es el cuerpo individual, sino el gen*. Por decirlo de alguna manera, el cuerpo es un receptáculo que alberga a los auténticos supervivientes en el tiempo. La evolución ha diseñado los cuerpos individuales para contener a los genes. Los individuos no son sino medios que transmiten genes, ese es su sentido último. Así como un cuerpo tiene una duración bastante corta, la del gen no lo es, nadie puede ponerle límites de duración a priori. Puede vivir indefinidamente. Esa idea da una visión nueva, curiosa e innovadora, de la bioquímica y de los mecanismos de reproducción, focalizando la atención sobre un objeto diferente del cuerpo individual vivo. Esa idea, sugerente y prometedora, hay que verla como un tanto ganado por Dawkins para su causa.

Una segunda idea es que toda acción y toda estrategia vital estable favorecida por la evolución es egoísta. *No trata de salvar otra cosa más que la supervivencia de los propios genes*. Pero ese egoísmo no es grosero, sabe incorporarse a una estrategia compleja en la que le resulta conveniente dar a cambio, eso sí, de recibir y de recibir siempre más de lo que ha dado. Eso explica las conductas aparentemente altruistas en la naturaleza y que se encuadren en un juego en el que se permite la inversión y el coste a cambio de recibir un mayor beneficio. Tal idea permite encontrar sentido a la cooperación entre diferentes formas de vida. Más que la competencia, o además de la competencia, es una estrategia que tiene ventajas para la supervivencia propia y de la prole o, hablando desde la perspectiva del etólogo británico, de una mayor permanencia de los genes.

Dawkins también señala las dificultades que esta perspectiva tiene para explicar, en concreto, lo específico de la conducta humana: singulares dentro de una especie ella misma singular. Como forma de vida que es, debería explicarse por las ideas consignadas antes, pero los hechos humanos brutos, al menos algunos, suponen toda una cruz interpretativa a una explicación, como la darwinista, que quiere ser estándar y, por tanto, universal y válida en todos los casos. Para ser claros: las tesis darwinistas no explican el hecho posible de ver la vida como un don a entregar a otros. No sólo la visión miserable del avaro que acumula un tesoro para sí, sino a la del magnánimo que

regala a otros muchos. Y estos otros no tienen por qué ser solo la prole, ni siquiera la especie, sino que pueden ser el cuidado de otras especies y la búsqueda del bienestar del planeta entero. La auténtica cruz para el darwinismo es explicar cómo existe una especie que puede ver los asuntos desde una perspectiva ética general que englobe todas las circunstancias y medios ambientes y sacrificar por otros sus legítimos intereses biológicos. El universalismo ético del ser humano contemporáneo, siquiera su posibilidad aunque sea en tendencias mínimas e incluso alternativas, abre una nueva dimensión de ser que tiene que estudiarse e incorporarse a las teorías generales de la vida.

El ser humano, cada singular humano, tiene la posibilidad de contravenir el universo vital fijado por el darwinismo (supervivencia y reproducción) y asumir conscientemente la muerte poniendo término libremente a su vida y renunciar a la reproducción por motivos tan variados como pueden ser no soportar las cargas familiares o hacer una opción por el servicio a muchos renunciando a los afectos familiares que entorpecen la plena dedicación a los otros necesitados. Esos hechos no se le ocultan a Dawkins. Deberá iniciar una nueva estrategia de explicación que los tenga en cuenta y que, de alguna manera, los reconduzca al naturalismo. Es aquí donde aparece uno de los conceptos fundamentales del libro de Dawkins: el meme.

El neologismo meme y su derivado memética son elaborados para dar cuenta de la singularidad humana y contruidos para ofrecer una vía de transmisión de caracteres no solo biológica, como es el caso del gen, sino simbólica y que haga justicia a la *importancia de la cultura en lo humano*. El meme es la unidad básica de transmisión de la cultura. Es aprendido donde se nace y es transmitido de cerebro a cerebro hasta hacerse hegemónico a la larga. Obviamente, Dawkins no tiene el objetivo de explicar detalladamente los mecanismos de transmisión memética, aunque hubiera sido interesante que esbozase algún procedimiento donde se apreciaran las formas conscientes e inconscientes de aprendizaje del sistema de símbolos en los que consiste esa peculiaridad humana.

En lo humano, mucho de lo que se aprende se logra en los primeros años de vida y se hace de forma inconsciente. Esos procesos de aprendizaje “pasivo” o “inconsciente” requieren un análisis complejo que no es el objeto del libro de Dawkins, pero se echa en falta siquiera una mención de ellos en su obra y al aspecto de que la cultura se transmite, en ciertas edades, de forma tan inconsciente como los genes. Ciertamente, al alcanzar el uso de razón, esos procedimientos se tornan conscientes y están abiertos a la intervención expresa de los humanos para su transformación, para lo que podría llamarse su “recreación” en cada generación de cada grupo cultural.

Para Dawkins, cualquier apariencia de trascender el determinismo genético y el determinismo de la memética queda fuera de lugar. Incluso más, tampoco el humano trasciende, a su juicio, el altruismo interesado en un genuino don de sí. Los dos últimos capítulos de la segunda edición concluyen en la afirmación de que todo hecho contrario a la ley general de la supervivencia a toda costa y de la estrategia evolutiva estable que permite invertir en otros a cambio de recibir más a largo plazo podrá justificarse a la larga como un caso más de la propia ley.

Frente a la actividad interesada que atribuye el darwinismo a toda acción de los seres vivos en una economía de intercambio en la que se pretende invertir a mínimo coste para conseguir el máximo beneficio, lo humano tiene la posibilidad de generar una economía del don en la que la justicia y, más allá, la solidaridad y lo que podríamos llamar la amistad social, adquieran una función protagonista.



## Leyes y explicaciones en biología. Las explicaciones funcionales (\*)

Los procesos clásicos de explicación nomológica, regidos por leyes universales que dan cuenta del comportamiento de la realidad (como el modelo nomológico-deductivo de explicación de Hempel y Oppenheim) no aplica a disciplinas como la biología. ¿Cabe considerar pues a la biología como **ciencia idiográfica**, en vez de como nomotética?

- Ciencias nomotéticas: tratancampos descriptibles con leyes universales (física, química...)
- Ciencias idiográficas: investigan fenómenos individuales, irrepetibles (biología)

Los seres vivos son en gran medida fenómenos individuales: aunque hallemos regularidades sobre ellos, tal vez no las posean otros seres vivos. Algunos autores consideran que igual que la historia se encarga de estudiar científicamente los hechos sucedidos a lo largo de la historia, la biología evolucionista hace lo mismo: investiga como han evolucionado los organismos vivos hasta alcanzar el estado actual. Los seres vivos que hay en la Tierra son en gran medida fenómenos individuales, y aunque hay algunas regularidades en los individuos, la generalización se hace compleja y difícil.

De todas formas, por una parte sí que parecen existir algunas **regularidades** muy generales y robustas; no es tan importante que sean “absolutamente universales” como que sean válidas en un ámbito cuanto más general, mejor (pues de hecho, lo que se hace en biología son generalizaciones para el total de una población de individuos únicos en sí mismos)

Por otra parte, en otras ciencias también se ha dejado de dar a las “leyes universales” la importancia que parecían tener hace un siglo: las ciencias buscan tal vez encontrar **modelos o teorías exitosas**, más que “encontrar las leyes de la naturaleza”. (Orientación instrumental y pragmatista)

Finalmente, también hay que tener en cuenta que son precisamente las leyes físicas y químicas las que nos permiten averiguar y explicar muchos fenómenos biológicos. Es decir, si bien la biología no sea reducible como tal a la física o la química, el conocimiento que se tiene desde estas dos disciplinas tiene mucho que decir a la hora de estudiar los fenómenos biológicos

## El concepto de función

Si no explicamos en biología con leyes, ¿cómo explicamos? Una explicación muy extendida es la noción de **función** o **explicación funcional**, explicar la estructura biológica dándole una función:

Ejemplo: La función del corazón es bombear sangre, la función de la cola del pavo real es la de atraer a la pareja,...

Hay que tener en cuenta que cuando se habla de términos funcionales en ciencia parece que se estén incluyen conceptos al discurso que desde un punto de vista naturalista parece problemática:

- Dimensión teleológica: El corazón está para bombear sangre.
- Dimensión normativa: El corazón debe bombear sangre.

### Dimensión teleológica y normativa como procesos definitorios de la función biológica

Que digamos que “*el corazón está ahí para bombear sangre*” es problemática en una ciencia con aspiración naturalista, pues parece que introduzca una especie de intencionalidad en los organismos biológicos, como si el corazón tuviese una voluntad propia de hacer tal cosa, o peor aún, como si un creador lo hubiese insertado allí a tales efectos (como el relojero que inserta un engranaje determinado para cumplir una función concreta en el mecanismo). Esta concepción teleológica es un aspecto constitutivo de la cosmología de pensadores que van desde Platón a los actuales defensores del Creacionismo, como los impulsores de la teoría del Diseño Inteligente.

Las respuestas, variadas y a veces contradictorias, coinciden, sin embargo, en rechazar una finalidad externa (los designios divinos) o fuerzas immanentes (al estilo de los vitalistas) como explicación de los procesos naturales y los organismos vivos. La principal razón de este descrédito es que la noción de teleología se iguala con la creencia en que los eventos futuros (los objetivos o productos finales de los procesos) son agentes activos de su propia realización.

El apartado normativo parece abrirnos la puerta para determinar cómo de bien o cómo de mal está funcionando el corazón en tanto que cumpla mejor o peor su función. Este matiz valorativo no tendría sentido en otras disciplinas (en física no tiene sentido decir que un electrón esté funcionando bien o mal), sin embargo, fruto del discurso cotidiano, la ciencia de los seres vivos parece amoldar estas consideraciones en cuanto al carácter funcional.

Las explicaciones teleológicas requieren que el objeto o proceso contribuya a la existencia de un cierto estado o propiedad del sistema. Además, y esto es el componente esencial del concepto, las explicaciones teleológicas implican que tal contribución es la razón explicativa de la presencia del proceso u objeto en el sistema.

Las explicaciones teleológicas utilizan un lenguaje caracterizado principalmente por los términos “fin”, “propósito”, “función”, etc. Un indicio seguro que nos permite reconocer lenguaje y explicaciones teleológicas es la referencia al futuro: nos remiten siempre, cuando se trata de comprender una cosa o un acontecimiento a un hecho futuro que los explica. En general, es criterio común considerar un lenguaje teleológico tal que

- a) Origina explicaciones que requieren que cierto objeto o conducta de ese objeto, contribuya a la existencia de un estado o propiedad determinada de un sistema y
- b) Esa contribución explique causalmente la presencia del objeto o la conducta en el sistema.

Aunque las explicaciones teleológicas son compatibles con las consideraciones causales, no pueden ser reformuladas en forma no teleológica sin pérdida de contenido explicativo.

Frente a ello, la explicación funcional si bien comparte con la teleológica a) y suele presentar algún sentido finalista, no hace referencia a fines o propósitos. Sin embargo, entre los lenguajes teleológicos y funcionales subsiste cierta ambigüedad: así autores como Beckner, Hull o Nagel no hacen distinción entre este tipo de explicaciones.

**(A) Explicación teleológica desde la Teología Naturalista:** El diseño inteligente, fundamentado en el símil del relojero de Thomas Payne, ha sido (en cierto modo sigue siendo), un modo de explicación teleológica en la biología, desde el propósito de los diferentes entes biológicos así como la justificación de la composición actual de los complejos sistemas biológicos (el ojo humano, el conjunto completo del cuerpo humano...). El determinismo mecanicista surgido a raíz de las leyes del movimiento de Newton, y fuertemente potenciado en la obra de Descartes, parecía fundamentar aún más la idea de una naturaleza totalmente imbricada en los designios del creador artífice de tal diseño complejo, limitándose así el fruto de la actividad intelectual a tratar de desentrañar las instrucciones y los planos de tal diseñador. Sin embargo, la evolución biológica puede explicarse sin recurrir a un Creador o un agente planificador externo a los organismos mismos (que diera pie a la necesidad teleológica de la explicación). No hay ninguna evidencia de ninguna fuerza vital o energía immanente que dirija el proceso evolutivo hacia la producción de tipos especificados de organismos. Los datos del registro fósil van contra cualquier fuerza directora, externa o immanente, que lleve el proceso evolutivo hacia fines especificados. Por tanto, en el sentido expuesto, la teleología es rechazada apropiadamente en biología como una categoría de explicación. Como dice Asa Gray en 1874:

*"la gran contribución de Darwin a la ciencia natural fue reincorporar la teleología a la ciencia natural".*

(B) Naturalización de la teleología en la biología evolucionista. En “*El origen de las especies*” Darwin acumuló un número impresionante de observaciones que apoyaban el origen evolutivo de los organismos. Además, y quizás más importante, dio una explicación causal del proceso evolutivo –la teoría de la selección natural. El principio de la selección natural posibilita una explicación natural para la adaptación de los organismos a sus ambientes. Darwin reconoció, y aceptó sin reservas, que los organismos están adaptados a sus ambientes y que sus partes están adaptadas a la función para la que sirven. Los pingüinos están adaptados a vivir en el frío, las alas de los pájaros están hechas para volar y el ojo está hecho para ver. Darwin aceptó los hechos de la adaptación y luego dio una explicación natural para los hechos. Uno de sus mayores logros fue llevar los aspectos teleológicos al terreno de la ciencia. Sustituyó una teleología teológica por otra científica. La teleología de la naturaleza se podía explicar ahora, al menos en principio, como resultado de leyes naturales que se manifiestan en procesos naturales, sin recurrir a un Creador externo o a fuerzas espirituales o inmateriales. En ese punto la biología maduró como ciencia.

La larga historia evolutiva es la que forma el plan de organización de los seres vivos y es responsable de su forma particular. La diferencia en la capacidad de reproducirse y sobrevivir de distintos organismos es la responsable en último término de la emergencia de determinados patrones organizacionales en las especies. La selección natural es, en palabras de Richard Dawkins, el “**relojero ciego**” que se esconde detrás del sofisticado diseño de los organismos vivos:

*A pesar de que todo indica lo contrario, el único relojero en la naturaleza son las fuerzas ciegas de la Física, aunque implementadas de un modo muy particular. Un verdadero relojero tiene una gran visión: diseña los engranajes y los resortes, y planifica sus interconexiones con el ojo puesto en un propósito futuro. La selección natural es un proceso ciego, inconsciente y automático que descubrió Darwin, y que nosotros ahora sabemos que es la explicación para la existencia y para la forma aparentemente intencional de toda forma de vida. La selección natural no tiene un propósito en mente, pues no tiene mente. No tiene la vista puesta en ningún plan futuro y no es capaz de planear nada para el futuro. Si puede decirse que la selección natural está teniendo el papel de un relojero en la naturaleza, entonces se puede tratar únicamente de un relojero ciego.*

Con la Síntesis Moderna (que añade a la selección natural el estudio del campo genético) la Biología contemporánea ofrece las herramientas conceptuales necesarias para dar cuenta de la teleología de las funciones biológicas desde un enfoque puramente naturalista. Los genes y las combinaciones de éstos están sujetos a la acción de la selección natural. La mayor o menor predominancia de unos genes u otros depende del éxito reproductivo de los organismos que los portan y transmiten. La mutación de estos genes es la fuente definitiva de la variabilidad hereditaria (imprescindible para que haya selección natural) y la selección natural ejercida por la presión de las condiciones ambientales sobre esta variabilidad de organismos da como resultado que las complejas organizaciones vivientes resulten adaptadas a su entorno. La adaptación no es sino el resultado de la presión del mecanismo ciego de la selección natural.

El planteamiento de Darwin es revolucionario por muchos motivos. En lo referente al problema de la teleología natural, Darwin aporta una explicación naturalista acerca del origen y funcionamiento del diseño de los organismos, de sus “propósitos naturales”. A partir de estas ideas, y hasta el momento actual, la forma predominante de entender la teleología y las funciones biológicas se ha basado en apelar a la historia evolutiva y al papel de la adaptación de los rasgos orgánicos.

La selección natural puede decirse que es un proceso teleológico en un sentido causal. La selección natural no es una entidad sino un proceso puramente mecanicista. Pero se puede decir que la selección natural es teleológica en el sentido que produce y mantiene órganos y mecanismos dirigidos hacia un fin, cuando las funciones que ejercen contribuyen a la eficiencia reproductiva del organismo.

En un sentido diferente la selección natural no es teleológica. De ningún modo la selección natural se dirige hacia la producción de tipos específicos de organismos o hacia organismos con ciertas propiedades específicas. El proceso global de la evolución no puede decirse que sea teleológico en el sentido de proceder hacia ciertos objetivos específicos, preconcebidos o no. El único proceso no azaroso de la evolución es la selección natural entendida como reproducción diferencial. La selección natural es un proceso puramente mecanicista y es oportunista. El resultado final de la selección natural para cualquier especie puede ser la extinción, como muestra el registro fósil, si la especie fracasa al enfrentarse a los cambios ambientales.

Además de la connotación de que el sistema considerado está organizado de forma dirigida, las explicaciones teleológicas también dan cuenta de la existencia de funciones específicas en el sistema y, más en general, de la existencia de la organización directora misma. La explicación teleológica da cuenta de la presencia en un organismo de un cierto carácter, por ejemplo las agallas, porque contribuye a la realización o mantenimiento de cierta función, la respiración. Además implica que la función existe porque contribuye al éxito reproductivo del organismo. La explicación teleológica, de hecho, da cuenta de la presencia de la función misma estableciendo, implícita o explícitamente, que la función en cuestión contribuye al éxito reproductivo del organismo que la posee. Finalmente, la explicación teleológica da la razón por la cual el sistema está organizado de forma dirigida. El propósito aparente de la relación entre finalidad y medios presentes en el organismo es un resultado del proceso de selección natural que favorece el desarrollo de cualquier organización que incrementa el éxito reproductivo de los organismos.

Las explicaciones teleológicas son apropiadas para describir y dar cuenta de la existencia de sistemas teleológicos y de estructuras organizadas de forma dirigida, así como mecanismos y patrones de comportamiento que exhiben estos sistemas. Los organismos son los únicos sistemas naturales que muestran teleología; de hecho, son la única clase de sistemas que poseen teleología interna. Las explicaciones teleológicas no son apropiadas en las ciencias físicas, mientras que lo son, y de hecho de forma indispensable, en la biología, que es el estudio científico de los organismos. Las explicaciones teleológicas, por tanto, diferencian a la biología del resto de las ciencias naturales.

### Dos enfoques sobre las funciones:

Para dar respuesta a estos aspectos problemáticos y justificar el que se hable de función en biología se tienen los siguientes enfoques:

- **Evolutivo-etiológico:** Funciones como causas evolutivas de existencia de los rasgos biológicos. En el ejemplo del corazón que tiene la función de bombear sangre, esto es así porque el hecho de bombear sangre es lo que ha hecho al corazón evolucionar históricamente entre los mamíferos y de encontrarse dispuesto en la anatomía animal de esta determinada manera y con dicha morfología concreta. La idea sería por tanto la de identificar función con el rasgo seleccionado que caracteriza el proceso evolutivo de dicho órgano. La tradición etiológica ha buscado de este modo justificar y naturalizar el carácter teleológico de las funciones apelando a una forma de explicación causal científicamente aceptable en términos de causas eficientes.

La selección explicaría así la existencia de los rasgos funcionales actuales a partir de la actividad de las ocurrencias previas del rasgo, ya que estas habrían dado una ventaja selectiva a su portador permitiendo que sus herederos hayan sobrevivido continuamente hasta hoy. La emergencia y preservación de un comportamiento funcional pueden por tanto interpretarse como el resultado de un proceso histórico-adaptativo guiado por la selección natural.

Una función es el efecto de un rasgo que explica (evolutivamente) la existencia de ese rasgo. Un rasgo debe producir un efecto determinado (su función) porque de no haberlo hecho así en pasadas ocurrencias de ese rasgo en organismos ancestros, el rasgo no habría sido seleccionado en el pasado – ya sea este pasado más o menos reciente– y, por lo tanto, no existiría en la actualidad.

- **Sistémico-disposicional:** Funciones como contribuciones de un rasgo del sistema con respecto a una capacidad o meta global. Viene a decir que las funciones son “una forma de hablar” que empleamos al simplificar sobre la función el rasgo o capacidad del órgano dentro de un sistema más grande. Por ejemplo, un rasgo global podría ser el de la capacidad de supervivencia, y las diferentes funciones supeditadas a dicho rasgo serían las que habrían de cumplir los diferentes órganos para contribuir al rasgo en cuestión.

En este enfoque las funciones se fundamentan en las relaciones causales que un conjunto de partes de un sistema establece entre sí mediante una compleja red de interacciones que mantiene y produce esas mismas partes componentes, y permite al conjunto del sistema seguir persistiendo a lo largo del tiempo. A esta red de relaciones causales la denominamos organización auto-mantenida, en tanto que las funciones serían efectos causales específicos de una parte o rasgo que contribuye al mantenimiento de esta organización (y al suyo propio). Por tanto, las atribuciones funcionales, tanto de los rasgos históricos como de los actuales, son explicaciones de la presencia de este rasgo (en tanto en cuanto una función es una contribución a la organización del sistema al cual pertenece). De esta forma, esta contribución a la organización auto-mantenida supone una circularidad causal, pues supone una contribución al mantenimiento del cierre causal que se da entre distintos efectos de las estructuras y procesos de un sistema. Este efecto funcional es condición necesaria para el automantenimiento de una organización que produce y mantiene al rasgo y cuya existencia depende a su vez de la acción diferenciada de sus componentes. Interpretar una función como una contribución a la organización de un sistema auto-mantenido nos ofrece los recursos teóricos para naturalizar la teleología de las funciones.

Esta perspectiva supone una forma de fundamentar en términos naturalistas y científicamente válidos la idea de teleología natural, y está destinada a influir de forma determinante en la investigación y en la enseñanza de la Biología. Comprender y abordar el enfoque organizacional en la enseñanza de las ciencias puede ayudar a que los estudiantes y futuros biólogos comprendan mejor conceptos científicos tan importantes como *función*, *feedback*, *organización*, *control*, *homeostasis*, etc. Además, el enfoque organizacional sirve para ayudar a explicar en qué sentido la Biología es una ciencia autónoma y distinta del resto de disciplinas, en tanto en cuanto aborda una concepción de teleología perfectamente compatible con el marco naturalista y que no es un mero vestigio de una forma pre-científica de ver el mundo. Y, aunque esto es algo que ya está presente en cierto modo en la biología evolucionista contemporánea, la cual constituye el paradigma estándar que se enseña en las escuelas, desde el enfoque organizacional esta dimensión teleológica no se limita a las explicaciones seleccionistas del marco evolucionista sino que constituye un aspecto central en la forma en la que se abordan, interpretan y explican los comportamientos y propiedades de los sistemas biológicos. La teleología natural, comprendida desde este enfoque organizacional, es una noción que recoge el legado de una importante tradición en la reflexión filosófica acerca de los fenómenos biológicos que merece ser reconsiderada a la luz del conocimiento científico actual, y que abre además nuevas vías para la teorización e investigación científica que complementan el marco evolucionista y que sin duda determinan a la Biología como ciencia en sí misma.

» ***Historia del origen de esta idea:*** A diferencia de la finalidad platónica de alcanzar la consecución de un *Bien* último, ya **Aristóteles** identificó el *ergon* de los seres vivos como aquello que es bueno para ellos mismos, donde el *telos* de los organismos naturales corresponde con la consecución de tal *ergon*. Esta forma de ser y comportarse en el mundo es teleológica porque es explicada en términos de fines u objetivos que son una respuesta a la pregunta de “para qué” son cómo son los organismos. Ya sea el florecimiento de las plantas o la capacidad trituradora de la dentadura de los carnívoros, se trata de rasgos biológicos *buenos para el organismo*, que contribuyen a que el organismo acometa su *ergon*. Tendríamos así que el carácter teleológico del orden biológico sería para Aristóteles el resultado de una inferencia abductiva que indica la razón de la existencia de un rasgo biológico determinado por su utilidad para el organismo portador

En líneas similares, **Kant** se aleja de Platón y se acerca a Aristóteles afirmando que la meta última del funcionamiento de los seres vivos responde a fines internos de estos seres. Para Kant es innegable el hecho de que los seres vivos actúan como si estuvieran creados para llevar a cabo ciertos objetivos platónicos, es decir, objetivos racionales y preconcebidos. Pero esto no es lo mismo que decir que la naturaleza es racional sino simplemente que el comportamiento de los seres naturales es, en cierto modo, análogo a un comportamiento racional. El fin interno de los seres vivos, su *ergon* en terminología aristotélica, no es otro sino el de auto-preservarse. Este *ergon* consiste, por lo tanto, en el mantenimiento de las condiciones de posibilidad de la propia existencia. Entender la naturaleza de un modo teleológico es pues para Kant algo *necesario*, pues no es posible comprender lo viviente de otro modo, y *subjetivo*, pues viene impuesto por nuestra propia capacidad de juzgar, aunque hace referencia a propiedades objetivas de los seres que analiza.

Siguiendo la línea trascendental abierta por Kant, **Goethe** deduce a través de la observación de la estructura morfológica de diferentes animales la existencia de un esquema general en la disposición de las partes de todo organismo. Según Goethe, todas las partes de un organismo están distribuidas de tal modo que el funcionamiento global e interconectado de estas partes responde a un mismo plan general universal, esto es, a una misma Idea que trasciende todas las diferencias y particularidades de cada especie e individuo concreto. En el organismo todo responde además a la “ley del equilibrio”: ninguna parte puede ser añadida o sustraída sin alterar al resto ni modificar el comportamiento del todo.

Por otro lado, la misma influencia kantiana puede apreciarse en la obra de quien es, probablemente, el más grande de los anatomistas y paleontólogos del siglo XIX: Georges **Cuvier**. Para Cuvier, al igual que para los *Naturphilosophen* alemanes como Goethe, el plan general de los organismos es visible a través del funcionamiento de cada una de sus partes y de la relación de estas funciones particulares entre sí con respecto al conjunto del organismo. Cada órgano actúa en conjunción con el resto dando lugar a la consecución de una finalidad global, de un fin común. Los organismos no son sino el resultado de las armoniosas combinaciones de las funciones de sus órganos, y estas combinaciones son “a priori”, necesarias “metafísica y matemáticamente” para la existencia de los seres vivos. Siguiendo esta línea de razonamiento, Cuvier consigue fundamentar tanto la dimensión teleológica como la dimensión normativa de la noción de función biológica en su “principio de correlación” (idea muy similar a la “ley del equilibrio” de Goethe o a la de “necesidad hipotética” de Aristóteles) que afirma lo siguiente:

*Todos los órganos de un animal forman un único sistema, cuyas partes encajan unas con otras y actúan y reaccionan conjuntamente. No puede darse una modificación en una de las partes sin provocar modificaciones en todas las demás*

Esto equivale para Cuvier a afirmar que la función y la estructura están íntimamente ligadas y que toda modificación de una función implica necesariamente una modificación de un órgano

En la primera mitad del siglo XX, biólogos teóricos como **Bertalanffy**, **Woodger** o **Waddington** consideran las nociones de organización y organismo como la base de sus planteamientos, defienden defender que la Biología debe desarrollar una perspectiva de corte holista y con un carácter muy diferente a los postulados de la Física y la Química.

*“Prácticamente todos los procesos vitales están tan bien organizados que están dirigidos al mantenimiento, la producción o la restauración de la totalidad del organismo”*

Este enfoque es adoptado por la escuela norteamericana de Harvard. Particularmente, Walter **Cannon** propone el término “*homeostasis*” (de *homeo*, semejante, y *stasis*, estado fijo), para referirse a la capacidad de los organismos de mantener una constancia en su funcionamiento. Desde esta perspectiva se rechaza la distinción entre máquinas y organismos que proponía Kant y se defiende que los organismos pueden ser vistos como mecanismos auto-regulados muy complejos y que es posible diseñar modelos artificiales que nos ayuden a comprenderlos. Tras la segunda guerra mundial se presentaron algunos modelos de sistemas auto-organizados que utilizaron este marco teórico de la cibernética basado en los principios de feedback y circularidad causal.

Aunque las ideas de estos autores tuvo un gran impacto en varias áreas de la Ingeniería, reflejado en el surgimiento de la *Teoría de Control*, no es hasta el surgimiento de la Teoría de *Sistemas Dinámicos No Lineales* en Física y Matemáticas que las ideas relacionadas con la auto-organización y su noción de funcionalidad son retomadas con fuerza. Así, la noción de *auto-organización* es adoptada por Ilya **Prigogine** para explicar la emergencia de “*estructuras disipativas*” en determinadas condiciones alejadas del equilibrio, como es el caso de los huracanes, los remolinos o las células de Bénard.

Estas ideas de la cibernética influyen de manera determinante en algunos de los planteamientos que en la década de los setenta aparecen en el campo de la Biología Teórica. Robert **Rosen** defendió que tanto las máquinas como los organismos deben ser caracterizados mediante *descripciones relacionales*, es decir, deben ser entendidos como conjuntos de partes o componentes interrelacionados. Para llevar a cabo estas descripciones, Rosen desarrolla un tipo de modelos relacionales de máquinas y organismos pero estos modelos son fundamentalmente diferentes cuando se trata de seres vivos o de artefactos. La principal diferencia entre unos y otros es que los organismos no son fraccionables en sus componentes. Los componentes funcionales biológicos son totalmente dependientes del contexto de todo el sistema y no tienen significado fuera de este contexto holista. Reducir un sistema viviente a sus partes materiales conlleva necesariamente una pérdida de información.

Por otro lado, Howard **Pattee** analizó este tipo especial de relaciones de los componentes de un sistema biológico, que se fundamentaría en lo que denominó el *establecimiento autónomo de constricciones* que establece un cierre funcional autónomo. En el fondo de la organización biológica encontramos un “cierre semántico”. En cualquier organismo, por simple que sea, hay una *interdependencia básica y fundamental entre los elementos materiales, funcionales y simbólicos*. De este modo, por ejemplo, los genes se convierten en representaciones simbólicas cuando son directamente reconocidos por las elementos que intervienen en el proceso de traducción (aminoácidos, t-RNA, ribosomas, r-RNA, m-RNA, enzimas, factores proteicos y nucleótidos trifosfato), las cuales llevan acciones biológicas



concretas como la síntesis de proteínas. Este cierre semántico supone una circularidad causal: los genes y los elementos que llevan a cabo la traducción son interdependientes y se necesitan los unos a los otros para seguir siendo producidos por el organismo.

En esta misma están los trabajos de Humberto **Maturana** y Francisco **Varela**. Para ellos, los seres vivos son sistemas autopoieticos, esto es, sistemas que se auto-producen. Tomando como modelo la unidad biológica más básica, la célula, Maturana y Varela argumentan que un ser vivo es una unidad autopoietica que se constituye como un todo sistémico en el que las partes componentes del sistema no tienen sentido si se aíslan de una red global de procesos constructivos íntimamente relacionados entre sí y que continuamente produce y transforma dichos componentes. Esto supone una dinámica de auto-mantenimiento en la cual acción y constitución significa lo mismo para el sistema: es decir, su ser es su hacer, lo cual tiene implicaciones muy profundas para la cuestión de las funciones y de la teleología biológica.

### Explicaciones funcionales VS explicaciones causales (nomológico-deductivas)

Cuando atribuimos una función a un rasgo *biológico* estamos haciendo algo más que describir este rasgo. De hecho, las atribuciones funcionales constituyen por sí mismas una forma de explicación con propiedades muy particulares y muy habituales en Biología. A través de la adscripción de una “función” a un determinado rasgo biológico, se intentan explicar aspectos y características relevantes de este rasgo. Así pues, cuando se afirma que “la función del corazón es bombear sangre”, este enunciado contiene presumiblemente elementos explicativos acerca de la actividad, la morfología o incluso el origen histórico de los corazones. Dicho de otro modo, aspectos relevantes de un rasgo biológico son explicados apelando a una idea de funcionalidad intrínseca a este rasgo.

Las explicaciones funcionales no son en modo alguno explicaciones causales al uso. Un efecto funcional es un tipo de relación causal en el que está envuelto un rasgo de un sistema, pero una función es algo más que lo que hace o causa un rasgo. No todos los efectos ni todas las relaciones causales pueden ser consideradas como funciones. Hay algo más que permite determinar qué efecto es funcional y cuál no lo es. Este “algo más” es una idea de *telos* que las explicaciones que se basan en funciones introducen en el discurso científico, es decir, se postula una especie de “finalidad” o “propósito” que sirve para distinguir las funciones de entre los diferentes efectos de los rasgos de un sistema y que no encaja fácilmente en modelos estándar de explicación científica, tales como el modelo nomológico-deductivo de Hempel y Oppenheim.

Uno de los principales focos de debate es el de ver si las explicaciones funcionales son compatibles con, o traducibles a, las clásicas explicaciones causales. Así lo defendía Hempel (se puede traducir la explicación funcional en términos de causas y efectos, eliminando el *telos*, el para qué). Pero otros consideran que no es posible, ya que hay algo más que lo que hay en física o química que apela sólo a leyes, está la dimensión de la normatividad (que no se da en física) ya que en biología a veces las funciones biológicas no se cumplen y se puede decir que entonces algo funciona mal.

El concepto de función está en el centro de la discusión de considerar si la Biología es una ciencia autónoma, en el sentido de ser una ciencia distinta con sus propias normas, y de ser posible la supuesta traducción, daría pie a supeditar la biología a otras ciencias o explicaciones de carácter causal.

## Concepto(s) de especie (\*)

Las palabras “especie” y “género” traducen a las voces *εἶδος* y *γένος*, que ya Aristóteles utilizó para designar clases hereditarias de organismos. Sólo en la edad moderna surgió la taxonomía científica que caracteriza las clases ínfimas por su género próximo y diferencia específica, ordenándolas en una jerarquía que comprende familias, órdenes, etc., hasta culminar en los grandes “reinos de la naturaleza”. Carl von **Linné** (1707-1778) pasa por ser su fundador, pero tuvo antecesores importantes, como John **Ray** (1627-1705), Joseph Pitton de Tournefort (1656-1708) y, un siglo antes que ellos, Andrea Cesalpino (1519-1603). Significativamente, Linné no definió el concepto de especie, sino que dio una caracterización histórica de su extensión:

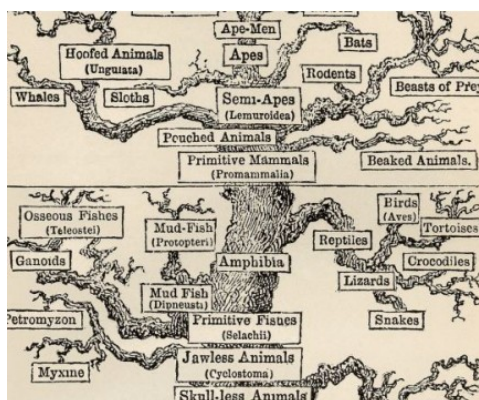
*“Hay tantas especies como formas diversas produjo el Ser Infinito desde el comienzo; las cuales luego, conforme a las leyes ínsitas de la generación, producen muchas formas pero siempre iguales a sí mismas, de modo que ahora no hay más especies para nosotros que las que hubo desde el comienzo” (Linné 1742, Ratio operis, p. II).*

Con este punto de partida, nos preguntamos, ¿qué son realmente las especies biológicas?

- **Idea tradicional** (anterior a Darwin y que ya se encuentra en Linneo): las especies como “formas platónicas”, ideas perfectas a las que los individuos “correspondían” o “tenderían”. *Ejemplo*: el gato es tal porque presenta una gateidad que lo aproxima a la idea de gato. Esto se conoce como **esencialismo**, es decir, los diferentes gatos tienen una esencia o idea común que les hace pertenecer a la especie de gato.

El debate ahora está más bien en si la especies son **clases**. En esta línea, David Hull señala la diferencia entre individuos y clases, donde los primeros pertenecerían a una clase abstracta que tendría existencia en la naturaleza y que es la que demarcaría a qué especie pertenecen tanto ellos como su descendencia. Se trata de una metafísica que redirecciona las ideas abstractas de esencia enfocando el estudio de los organismo en la realidad actual en que nos encontramos.

- **Darwinismo**: las especies como ramas del **árbol de la vida**. En biología clásica predarwinista existía la idea de que se podía distinguir a los distintos individuos como si fueran ramas de un árbol: en cuyo alto estaría el ser humano. El darwinismo da una interpretación nueva de ese Árbol, así una especie evoluciona a partir de otras; las especies cambian y las ramas se acortan o se alargan, dependiendo de si la especies se extinguen o evolucionan. En la biología contemporánea se vuelve a cambiar y se propone el concepto de herencia horizontal que supone que ciertos genes pueden transmitirse horizontalmente, es decir, de un individuo a otro y esto hace que no se genera simplemente un árbol con ramas sino que una rama pueda surgir de otra, describiendo la complejidad de la vida. Así, todas las especies que existen estarían históricamente vinculadas, habiéndose ramificado en las distintas subespecies a lo largo del proceso evolutivo desde la primera especie en la base del tronco.



Si bien esta idea es controvertida, sí que permitió en su día cimentar el concepto de evolución en el desarrollo de la vida por contraposición a una creación inicial tal como las vemos en la actualidad.

## Debate sobre el concepto de Clase Natural: esencialismo VS antiesencialismo

En la biología, “especie” designa, por una parte, una categoría taxonómica, subordinada a género, familia, orden, etc.; y, por otra, cada uno de los taxones pertenecientes a esa categoría, tales como *Homo sapiens*, *Gorilla gorilla*, *Araucaria angustifolia*, *Betula pendula*... La categoría especie es ciertamente una clase, a la que pertenecen dichos taxones; y por eso importa esclarecer el concepto de la misma. En cambio, los taxones referidos son objetos existentes sobre el planeta Tierra durante distintos períodos de su historia. En cuanto ente histórico, una especie es capaz de hacer cosas, de protagonizar procesos, como invadir el nicho ocupado por otra, dividirse en dos partes segregadas por una barrera geográfica, “especiar”. Es difícil imaginar que una clase, definida por condiciones de pertenencia, se involucre en tales lances. Entra aquí en juego la distinción realizada por algunos filósofos (entre ellos Hillary Putnam), de que la teoría causal de la referencia no ha de quedar supeditada al acto de bautismo, pues la evolución en el alcance y definición de cada término a lo largo de la historia es variable, y no debe limitarse a aquellos valores con que contaba en su momento de definición original.

Algunos biólogos rechazan que las especies sean clases naturales que se ajusten a esencias, pues estas clasificaciones no son sino fruto de nuestra observación y que categorizamos, según nuestros criterios, la pertenencia de un individuo en una clase u otra (en un instante concreto de la historia, tanto del individuo como del término).

## Definición de especie de Ernest Mayr → concepto biológico de especie (CBE)

Esta es quizá la definición más famosa para entender el concepto de especie:

*“Defino las especies biológicas como grupos de poblaciones naturales que procrean entre ellas y están reproductivamente aisladas de otros grupos similares. Alternativamente, se puede decir que una especie biológica es una colección (assemblage) reproductivamente cohesiva de poblaciones”*

Que además quedarían “blindados” por una serie de procesos de aislamiento que preservarían el acervo genético (gene-pool) de cada especie, dotándolos de una impermeabilidad que permitiría la supervivencia y prosperidad de cada especie:

*“Cada especie es un sistema genético delicadamente integrado que ha sido seleccionado en el curso de muchas generaciones para calzar con un determinado nicho en su ambiente. La hibridización conduciría a un desarreglo de este sistema y redundaría en la producción de tipos inarmónicos. Los mecanismos aislantes tienen la función de prevenir tal desajuste y proteger la integridad del sistema genético de las especies. Se selecciona contra cualquier atributo de una especie que favorezca la producción de híbridos, porque redundaría en un despilfarro de gametos. Esta selección mantiene la eficiencia de los mecanismos aislantes y puede ciertamente contribuir a su perfección. Los mecanismos aislantes se cuentan entre las propiedades biológicas más importantes de las especies”*

Cabe plantearse algunas preguntas al respecto:

- ¿Cabe restringir el concepto de especie exclusivamente a organismos sexuales?: la definición de Mayr no puede emplearse en la clasificación de los animales y plantas que nacen de un solo progenitor, ni en la de los procariotas, cuyas células, exentas de núcleo, no tienen cromosomas susceptibles de repartirse entre dos gametos por meiosis y reunirse por cariogamia en un núcleo nuevo. Dobzhansky y Mayr aceptaron esta consecuencia con toda naturalidad, pues el concepto mismo de especie se formó para captar un fenómeno observado justamente entre los organismos sexuales, muchísimo antes de que la invención del microscopio nos permitiera enterarnos siquiera de que existen los procariotas.

- Una variante de este modelo es el *concepto cognitivo de especie (CRE)*, propuesto por Hugh **Paterson**, donde además de la característica de los progenitores para la definición de especie planteada por el CBE, aludía a la capacidad entre ellos de reconocerse el uno al otro como miembros de la misma especie compartida con la que poder tener descendencia. Si bien recibió fuertes críticas, en especial por los botánicos, al plantear cómo es posible que dos plantas se reconozcan entre sí, o si recae dicha labor de fecundación entre especies a los insectos que llevan a cabo la polinización entre machos y hembras.

### Concepto de especie en cuanto a cúmulo genético (CECG) de Mallet

La ambigüedad y borrosidad de los caracteres se resuelve si prestamos atención a los genomas, cuya estructura química ahora es posible detectar y describir inequívocamente. Aunque no hay dos individuos que compartan el mismo genoma (salvo que se trate de mellizos idénticos), cabe presumir que los diversos genomas se distribuyan en grupos discretos, como los fenotipos. Esta parece ser la idea subyacente al *concepto de especie en cuanto cúmulo genético (CECG)* propuesto por **Mallet**. Lo explica así:

*Cuando observamos un grupo de individuos dentro de un área, intuitivamente reconocemos especies mediante la morfología si no hay —o hay pocos— casos intermedios entre dos cúmulos morfológicos, y porque los caracteres independientes que distinguen a estos cúmulos están correlacionados entre sí. Añadiendo genética a esta definición, vemos dos especies más bien que una si hay dos cúmulos genotípicos identificables. Tales cúmulos se reconocen por un déficit de casos intermedios, tanto en loci singulares (déficit de heterocigotos) como en loci múltiples (fuertes correlaciones o desequilibrios entre loci divergentes entre cúmulos). Como la variación mendeliana es discreta, esperamos hallar diferencias cuantificables entre individuos. Para poner de manifiesto los cúmulos genotípicos, utilizamos los patrones de las diferencias genéticas discretas, más que su misma discreción. (Mallet 1995, p. 296)*

El principal problema de este planteamiento viene a la hora de determinar cuál es el grado mínimo de diferencia genómica que nos permite discernir entre una especie A y otra B. Es más, para un individuo dado, es posible que tenga un cierto número de propiedades y características genéticas más próximas al promedio estipulado por A, pero que presente otras más próximas a B. Casos como este abocan, en última instancia, a un criterio arbitrario para resolver dicha disputa. Si bien es cierto que toda la información que puedan proveer estos métodos de diferenciación pueden ser útiles a la hora de demarcar las diferentes especies.

### Concepto cohesivo de especie (CCE) de Alan Templeton

El *concepto cohesivo de especie (CCE)* propuesto por Alan **Templeton** apunta a dar una cobertura tan amplia como el CECG, pero fundándose en mecanismos explicativos, tal como el CBE. Las barreras reproductivas en que este reposa y los sistemas de fertilización común a que apela el CRE permitirían entender la distribución en especies de los organismos sexuales. Para extender el concepto de especie a los organismos que no se reproducen sexualmente sería entonces necesario y suficiente determinar qué factores explican que estos también se dejen agrupar en cúmulos discretos de individuos similares entre sí y disímiles de los agrupados en otros cúmulos. En suma, la definición científica de la categoría taxonómica especie ha de apelar a los factores responsables de la cohesión exhibida por los grupos de organismos que llamamos de esta manera. Para Templeton, una especie es

*“la población más inclusiva de individuos que tienen el potencial para la cohesión fenotípica mediante mecanismos cohesivos intrínsecos”.*

Para deslindar una especie, lo fundamental según Templeton es

*“identificar los mecanismos de cohesión que contribuyen a mantener un grupo como linaje evolutivo. [...] El flujo de genes no es la única fuerza microevolutiva que define los límites de un linaje evolutivo. De hecho, la deriva genética y la selección natural desempeñan un rol mucho más poderoso y universal, porque estas dos clases de fuerzas microevolutivas son aplicables a todos los organismos, y no solo a los organismos sexuados exógamos. [...] El flujo de genes requiere intercambiabilidad genética, esto es, la aptitud para intercambiar genes durante la reproducción sexual. Para que la deriva genética y la selección natural operen se requiere [...] intercambiabilidad demográfica”*

Templeton distingue dos grupos de mecanismos de cohesión:

- Mecanismos de intercambio genético, definen los límites de la difusión de nuevas variantes genéticas por el flujo de genes, ya sea promoviendo la identidad genética mediante dicho flujo, ya sea preservándola mediante barreras que impiden el flujo de genes desde otros grupos.
- Mecanismos de intercambio demográfico, que definen el nicho fundamental y los límites de la difusión de nuevas variantes genéticas por deriva genética y selección natural.

### Concepto evolucionista de especie (CEE) de George Gaylord Simpson

Las definiciones clásicas CBE adolecen de una falta de consideración de la dimensión temporal en las especies. Para dar solución a esto Gaylord Simpson fija lo significativo de la especie genética:

*“se relaciona con los procesos evolutivos que dan origen a los grupos clasificados. Sin embargo, por regla general, los criterios genéticos no se relacionan directamente con el cambio evolutivo excepto por implicación. El criterio estrictamente evolutivo implicado sería, al parecer, el siguiente: la unidad básica de la evolución es un linaje filético (esto es, una secuencia genealógica de poblaciones que procrean entre sí) que se desarrolla independientemente de otros, con sus propias tendencias y su rol evolutivo separado y unitario”*

### La tradición “cladista” de Willi Hennig

La biología evolucionista se ha empeñado en construir un nuevo concepto de especie que capte los fenómenos innegables que pretendía comprender el concepto clásico y que permita conservar, hasta donde se pueda, los grandes logros de la sistemática zoológica y botánica anterior a Darwin, los cuales, en buena medida, condujeron a su teoría. Este empeño ha generado un número de propuestas alternativas mayor que lo habitual en la búsqueda de nuevos conceptos científicos en situaciones similares.

De entrada, **Hennig** abraza plenamente la concepción que también anima a los creadores del CBE: una especie es una comunidad reproductiva formada por organismos capaces de procrear hijos entre ellos. En contraste con Mayr, Hennig insiste en que una biología evolucionista no solo exige deslindar a cada especie respecto a las contemporáneas que conviven con ella, sino también demarcar su comienzo y su fin en el tiempo, en cuanto ella es una rama del árbol de la vida, que brotó de otra especie diferente y eventualmente se ramificará o marchitará.

Ya en su tratado de filogenética de 1950, Hennig insistía en que las especies son entes históricos singulares y no clases.

*“Las especies, que existen en la naturaleza como fenómenos reales independientes de los hombres que las perciben, son unidades definidas genética, no morfológicamente. Son comunidades de reproducción, no de semejanza”*

Suele escucharse que, para la biología, los “individuos paradigmáticos” son los organismos, por ser “*los que conocemos mejor*”. Para desactivar este prejuicio, Hennig deconstruye nuestra experiencia de los organismos. No son ellos “las unidades biológicas más fáciles de ver, escrutar, o conceptualizar como ‘individuos’”. Los seres vivos que el zólogo o el botánico ven y a veces cogen son organismos en una fase pasajera de su desarrollo: un pollo recién nacido, una rana adulta, una larva de percebe, una angula, un alerce de 3000 años de edad, una semilla de eucalipto; y no siempre es obvia la identidad de un organismo a través de todas sus fases. A los entes acotados en el espacio y en el tiempo que el biólogo puede designar efectivamente con el dedo diciendo esto, Hennig los llama semaforontes, un término que no ha tenido mucha aceptación, aunque no ha surgido otro que lo sustituya. (En particular, los paleontólogos tienen acceso a semaforontes, nunca a organismos; y generalmente solo a fragmentos de semaforontes). Un organismo es una sucesión de semaforontes ontogénicamente relacionados entre sí. Una especie es una comunidad reproductiva de organismos tocogénicamente relacionados entre sí. Las especies, a su vez, se relacionan filogénicamente entre ellas, formando el árbol —o quizás el manglar— de la vida.

La relación de descendencia define un orden parcial entre los organismos de una especie, constreñido por la condición de que cada organismo tenga dos progenitores, ni más ni menos; pero cualquiera de estos puede procrear más de un descendiente con el otro, o con otro organismo. Otra restricción consiste en que la especie se divide exhaustivamente en dos grupos disjuntos, a los que pertenecen, respectivamente, los dos progenitores de cada organismo. (El hermafroditismo, frecuente entre las plantas, transgrede ambas restricciones). En todo caso, es claro que en el marco de la teoría de la evolución los organismos de una especie no necesariamente satisfacen la condición que cumplían bajo la teoría fijista de Cuvier, a saber, que, exceptuando la pareja original, cualquier par de organismos conespecíficos desciendan uno del otro o ambos de un antepasado común. Por ejemplo, si se trata de una especie fundada en una isla por una bandada de aves inmigrantes, es claro que, después de algún tiempo, todos sus organismos vivos podrían descender de cada una de las aves fundadoras; pero en las primeras generaciones no será así: algunos descenderán de unas y otros de otras.

### Pluralismo de definiciones: ¿no existen las especies?

Los problemas de estos criterios (y otros similares) parecen implicar que no hay “cortes ontológicamente definidos” entre especies distintas, y el que aceptemos que dos individuos forman parte de la misma especie o no, resulta un tanto convencional (como defendía Darwin)

La idea aceptada entre biólogos es que los distintos conceptos de especie tienen su utilidad en un contexto dado, cabiendo usar todos ellos siendo conscientes de sus limitaciones sin que presuponga que las especies no sean reales. El pluralismo sobre el concepto de especie no exige abandonar el realismo al respecto, pero algunos sencillamente han visto en esta diversidad de definiciones un argumento a favor del convencionalismo y niegan que exista la categoría de especie en la realidad. No hay nada real que corresponda a dicha categoría. No se trata de negar que existan perros, gatos o leones; sino que lo que llamamos especie es una cosa muy diferente en cada caso. A veces un linaje interfértil y otra un linaje ecológico; otras un grupo de organismos semejantes y otras un taxón monofilético. Aunque autores como Ghiselin o Mayr defienden el realismo de las especies, presentando casos de tribus nativas de Nueva Guinea, cuya cultura asemejable a la Edad de Piedra distingue especies de aves equivalentes a las de la taxonomía actual, lo que da pie a sostener cierto realismo objetivo entre la teoría y la realidad. Muchos biólogos prefieren el concepto de “clado” o “linaje” (una población de individuos emparentados y todos sus descendientes), “agrupaciones” (población de individuos emparentados y todos sus descendientes), pues la noción de especie posee una carga metafísica que parece alejar a la biología de la realidad.



## Hacia un nuevo esencialismo; teoría HPC de Richard Boyd

La filosofía contemporánea no ha descartado radicalmente la idea del esencialismo, como la de Richard Boyd que entiende las especies como *cúmulo homeostáticas de propiedades* (HPC).

Un mecanismo homeostático puede ser considerado como un sistema que mantiene el estado estable de otro sistema que lo contiene. En la teoría HPC, las clases naturales son un conjunto de individuos que pueden instanciar algunas, no necesariamente todas, características de un cúmulo de propiedades homeostáticas. Sugiere que hay un reconocimiento de la imperfecta similitud entre los miembros de una clase, de allí que su criterio de pertenencia sea en términos de suficiencia más que de necesidad. Por otra parte, el conjunto de propiedades posee cierta estabilidad debido a mecanismos homeostáticos subyacentes, causalmente responsables de mantener su identidad.

Agrupados sobre la base de lo que Boyd llama «*características superficiales*», los individuos de una especie biológica conforman una clase natural. La identidad de la clase está asegurada por mecanismos causales subyacentes como recombinación de genes, transcripción de genes, regímenes de selección similar y restricciones ontogenéticas de inducir la uniformidad observable de una especie biológica. De este modo se introduce una flexibilidad en el concepto de clase natural que permite su aplicación no sólo en la física y la química, sino también en la biología, las ciencias sociales e incluso en el conocimiento ordinario, y hace que la consideración de una clase como natural dependa de puntos de vista y de circunstancias espaciotemporales diferentes.

Aunque la teoría HPC reemplazó la debatible noción metafísica de esencia por el concepto científico de «mecanismo», no por ello ha quedado sin criticar. Los problemas que conlleva el proponer a los mecanismos homeostáticos como factores de individuación para una especie, resultan determinantes para descartar cualquier explicación sobre las características naturales en la línea argumentativa de HPC. Sin embargo, varios autores han mostrado que tanto los mecanismos como las características compartidas por los miembros de una clase son insuficientes para caracterizar una especie, ya que la función que desempeñan algunos mecanismos no siempre deriva en efectos uniformes observables. Esto es un problema para HPC porque las características observables son las que en última instancia determinan la pertenencia a una clase natural. Para enmendar estas deficiencias, propuestas a la HPC proponen las propiedades relacionales como aquellos marcadores que permiten identificar a los miembros de una especie. Según estas propuestas, las relaciones entre individuos, y entre éstos y el ambiente, son determinantes para la pertenencia a un taxón: descender de un ancestro particular, pertenecer a una población determinada, ocupar un nicho particular... son condiciones necesarias para determinar la pertenencia a un taxón.

HPC ha tenido gran aceptación en filosofía de la ciencia por su aparente abandono de supuestos metafísicos y su pretensión de ser consistente con las prácticas científicas. Reconocer las «clases naturales» tiene sentido a la luz de la tesis de la «acomodación» de las inferencias científicas de una matriz disciplinaria, donde individuos clasificados bajo un término de clase natural comparten una estructura causal estable y este hecho explica por qué la referencia a tales clases ayuda a la convergencia de las clasificaciones científicas con la estructura causal del mundo. Es decir, el problema de la justificación del éxito de la explicación e inducción, dada cierta práctica científica, se resuelve analizando la contribución que hacen las clases naturales para lograr el éxito científico.

Sin embargo, esta versión mantiene un enfoque realista de las clases naturales, cuya capacidad inferencial y predictiva resulta de su acomodación a la estructura causal del mundo. Pese a que HPC no ofrece una explicación satisfactoria sobre las clases naturales, contiene otros aspectos rescatables. En tanto que los conceptos de «mecanismo», «propiedad relacional», «causalidad» y «homeostasis» son epistémicamente útiles para la descripción de entidades y procesos naturales, estos deberían de ser situados en una ontología acorde con la naturaleza dinámica de las especies biológicas y con la epistemología de las prácticas científicas taxonómicas actuales.



## Definición de vida (\*)

Este es otro de los conceptos centrales de la biología (si no el más fundamental) que presenta discrepancias a la hora de definirlo. Si bien sabemos mucho sobre cómo son los seres vivos, cómo se comportan, cómo han evolucionado... no tenemos muy claro un modo único de definir “lo vivo”. No sólo hay desacuerdo sobre los rasgos concretos que deberían exigirse para poder hablar de vida, sino que también lo hay acerca del tipo de definición que pueda darse.

La **idea tradicional** (defendida por el vitalismo) plantea la tenencia de ciertas cualidades para así diferenciar a los seres vivos por oposición con los seres inertes (los seres vivos tienen algún tipo de ‘fuerza vital’, ‘entelequia’, ‘impulso’, ‘principio’, ‘alma’..., del que carecen los seres inertes). Esta idea se rechazó al comprobarse que los seres vivos están formados por la misma materia que los entes inorgánicos, según el reduccionismo ontológico aceptado en biología.

Se trata de un problema no resuelto (aún), apoyado por una serie de cuestiones relevantes para el tema como el origen de la vida en la Tierra, o cómo sintetizar completamente organismos vivos.

### La vida artificial como camino para entender la vida

A partir de la década de los 80, las investigaciones realizadas en el campo de la llamada “Vida Artificial”, los estudios sobre el origen de la vida y la posibilidad de encontrar vida en Marte o en otros planetas han traído a primer plano este longevo problema. ¿Qué es lo esencial y qué es lo accidental en un ser vivo? ¿Qué nos permitiría reconocer que estamos ante un ser vivo? o ¿qué características de las que posee un ser vivo del planeta Tierra debe estar presentes en cualquier otro ser extraterrestre para considerarlo como un ser vivo?

Los **estudios sobre Vida Artificial** servirán para perfilar ciertos aspectos del problema. La Vida Artificial es el estudio de la vida mediante la modelización en ordenador y el uso de conceptos informacionales. El objetivo es crear programas informáticos que manifiesten características propias de los seres vivos que servirán para contrastar hipótesis acerca de la vida en general. Una versión débil mantendría que los programas que simulan la vida son útiles para poner a prueba hipótesis biológicas, mientras que la versión fuerte mantendría que algunos de esos programas, más que simular la vida, están vivos realmente. La convicción que está en la base de esta tesis (fuerte) es que las características definitorias de la vida no pueden basarse en los aspectos materiales de los seres vivos, sino en sus aspectos formales.

La vida no es una cuestión de poseer o no determinadas moléculas complejas, sino de cómo se está organizado y qué tipo de procesos estructurales se tienen. Como en el caso de la Vida Artificial, no es la sustancia lo que importa, sino la organización. La vida es la forma (podríamos decir incluso, la forma lógica) que tienen determinados procesos, no la materia que interviene en ellos. Además, consideran que la biología sintética, que debe surgir a partir de este enfoque, estudiaría la vida en sus diversas alternativas teóricas posibles, en lugar de limitarse, como hace la biología analítica, al estudio de la vida tal como es de hecho sobre la Tierra. Sólo así podríamos dotar a la biología de un rango científico comparable al de la física, pues dejaría de estar circunscrita al estudio de un caso particular y se abriría la posibilidad de alcanzar teorías universales.

Como señala Langton,

*“puesto que es bastante improbable que en el futuro se nos presenten por sí mismos para su estudio organismos basados en químicas físicas diferentes [a la de cadenas de carbono], nuestra única alternativa es intentar nosotros sintetizar formas de vida”.*

## Definición del concepto “vida”

No hay una definición de vida unánimemente aceptada, habiendo distintos criterios para ensayar una definición. De hecho, buena parte de los biólogos (salvo los dedicados a la exobiología y que estudian la posibilidad de vida extraterrestre) no ha considerado hasta ahora que proporcionar una definición de vida sea posible o siquiera útil para la biología. A lo sumo admiten la relación de una serie de características que suelen encontrarse en los seres vivos, sin que deban considerarse manifestaciones de una supuesta esencia de la vida, ni propiedades necesarias y suficientes de la misma. En la actualidad, los autores que se han interesado por la cuestión han proporcionado una gran variedad de definiciones de vida, a veces muy distintas unas de otras:

### 1. Requisitos mínimos establecidos por las definiciones más escuetas de vida:

- Capacidad para autorreplicarse.
- Capacidad para evolucionar de forma abierta.

Aunque estas dos condiciones no sólo permitirían considerar a los virus como organismos vivos, sino también a algunas macromoléculas, como el ADN y el ARN, incluso organismos virtuales de la Vida Artificial (por no mencionar a los “memes” o unidades de herencia cultural, postulados por Richard Dawkins), que choca con lo que habitualmente se acepta entre los biólogos. Además, está el hecho de que algunos organismos que consideramos vivos no pueden autorreplicarse ni siquiera con la colaboración de otros organismos, como es el caso de los híbridos estériles o de algunos individuos entre los insectos sociales.

### 2. Lista más larga y matizada de condiciones, donde tenemos varias opciones:

- La proporcionada por Farmer & Belin (1992) o por Hickman, Roberts y Larson (1998). Ambas caracterizaciones coinciden en atribuir a la vida los siguientes rasgos:
  - Poseer una configuración espaciotemporal. Moléculas y células de un organismo se reemplazan constantemente, pero la estructura espaciotemporal se mantiene.
  - Capacidad de autorreproducción (o procedencia de un proceso de reproducción, como en el caso de los híbridos estériles).
  - Almacenamiento de información para la autorrepresentación (programa genético).
  - Posesión de un metabolismo (procesos de intercambio de materia con el entorno sin cambiar por ello sus propiedades generales.).
  - Interacción con el medio ambiente. Adaptación al ambiente, pero también creación y control de ambientes locales.
  - Interdependencia entre las partes, lo que significa que los organismos pueden morir.
  - Estabilidad dinámica frente a las perturbaciones, lo que permite la preservación de la forma y la organización en un medio cambiante.
  - Capacidad de evolucionar a través del linaje.

Ahora los virus (biológicos e informáticos) se excluyen al no poseer metabolismo; mientras que híbridos estériles e insectos sociales que no se reproducen se incluyen por proceder de un proceso reproductivo;

- Por su parte, el conocido “*manual de Zoología*” de Hickman, Roberts & Larson (1998) se decanta por los siguientes rasgos definitorios de los seres vivos:
  - Exclusividad química: poseen una organización molecular exclusiva y compleja.
  - Complejidad y organización jerárquica: macromoléculas, células, organismos, poblaciones y especies. Las propiedades de un nivel no pueden obtenerse a partir del

conocimiento de las partes componentes (propiedades emergentes).

- Capacidad de autorreproducción, junto a fenómenos de herencia y variación.
- Posesión de un programa genético que garantiza la fidelidad de la herencia (código genético).
- Posesión de un metabolismo mediante el que extraen nutrientes de su entorno.
- Posesión de un ciclo de desarrollo característico.
- Interacción con el entorno ambiental.

Es muy significativo que ninguna de las dos haga referencia a la materia de la que está compuesta la vida tal como la conocemos: las macromoléculas formadas por largas cadenas de carbono. Aunque éste es un requisito cada vez más aceptado, no todas las definiciones de vida disponibles omiten, sin embargo, la referencia a los componentes materiales de los que consta la vida en la Tierra.

3. Por influencia de Schrödinger (1944) y Prigogine (1980), también se ha caracterizado a los seres vivos como “sistemas alejados del equilibrio termodinámico”, es decir, sistemas capaces de mantenerse con baja entropía y, por tanto, portadores de gran cantidad de información. Los seres vivos crean orden a partir del desorden, consumiendo para ello energía e intercambiando materia con su entorno. El problema con ella es que –a no ser que se introduzcan ulteriores precisiones– esta propiedad no es exclusiva de los seres vivos. Hay sistemas puramente físicos que se mantienen alejados del equilibrio termodinámico de forma semejante (por ejemplo, una estrella o un tornado). Estas ulteriores precisiones que suelen añadirse van normalmente encaminadas a señalar que el modo en que los seres vivos se mantienen alejados del equilibrio termodinámico es mediante determinados procesos metabólicos. Con ello, sin embargo, el punto de atención se desliza precisamente a estos procesos. Esta caracterización de la vida termina, pues, por ser una modalidad de uno de los dos grandes enfoques: el enfoque autoorganizativo.
4. Uso de la cibernética como instrumental conceptual para la definición de vida: de la mano de Bernard Korzenievski (2001). Por un lado, los seres vivos poseen una gran cantidad de mecanismos regulativos en niveles muy diferentes que tienen como finalidad mantener constante el valor de un parámetro (por ejemplo, la elevada concentración de un aminoácido bloquea su producción, una baja concentración de ATP estimula la producción de más ATP, etc.). Todos ellos (desde un punto de vista cibernético) son mecanismos de feedback negativo que están subordinados a un “propósito” o fin superior: el mantenimiento de la identidad del individuo, el cual a su vez está subordinado al fin de la reproducción. La retroalimentación negativa es un proceso mediante el que un sistema responde a un estímulo al generar un efecto que contrarresta el estímulo original. En esencia, un sistema de autorregulación que busca mantener la estabilidad u homeostasis en un sistema determinado.

Ahora bien, la reproducción es un mecanismo de feedback positivo: cuantos más individuos haya reproduciéndose, mayor será la tasa de reproducción. De ahí que la propuesta de Korzenievski sea la siguiente: un ser vivo es “un sistema de feedbacks negativos inferiores subordinado a un feedback positivo superior”.

Pese al interés de esta propuesta, hay entidades no vivas que pueden encajar en ella (formaciones nubosas, líquidos en el punto de ebullición, el fuego, los remolinos en un fluido, las elevaciones de las placas tectónicas e incluso un robot capaz de autorregular el estado de sus componentes y de construir otros robots igual).

## La vida como enfoque informacional y auto-organizativo

Todas las características que han ido apareciendo en estas definiciones señalan dos aspectos fundamentales de los organismos vivos: el **tratamiento de información** (autorreproducción) y la **autonomía** (autocontrol, autorregulación, autocatálisis, metabolismo). Incluso se podría hablar de dos orientaciones básicas en la caracterización de la vida:

- **El enfoque informacional:** pone el énfasis en la capacidad autorreproductiva o replicativa de los seres vivos y está influido por la teoría de la información y la informática (además de por la tradición darwiniana). Ve como características fundamentales de los seres vivos los mecanismos de variación y herencia, los cuales a su vez posibilitan su evolución proporcionándoles adaptación al medio.
- **El enfoque auto-organizativo:** pone el énfasis en la autonomía de los organismos, en su capacidad para automantenerse, para constituir su propia identidad. (La vida es un proceso continuo de autoconstrucción metabólica). Este segundo enfoque tiene como versión más conocida la teoría de la *autopoiesis* de Maturana y Varela, según la cual los organismos vivos son sistemas autopoieticos, es decir, sistemas capaces de construirse y regenerarse a sí mismos, de producir de forma autónoma sus propios componentes. Varela considera además que la característica en la que pone el énfasis el enfoque alternativo, es decir, la reproducción, es en realidad una característica secundaria de la vida.

El autor que más ha hecho por desarrollar en los últimos años el enfoque auto-organizativo es Stuart Kauffman que considera que la característica que se destaca en los seres vivos es la de la complejidad automantenida y, por tanto, el metabolismo.

Ahora bien, este enfoque deja fuera cualquier referencia a los mecanismos de la herencia que posibilitan la evolución por selección natural, y ello representa su principal limitación.

Por otra parte, y ésta sería una segunda limitación, el concepto de autonomía y de auto-organización es menos claro de lo que parece. La autonomía posee grados: un ser humano no es capaz de sintetizar todos los aminoácidos y vitaminas que necesita, pero muchas bacterias sí pueden. ¿Cuál debe ser el grado de autonomía o de auto-organización necesario para considerar vivo a un ente determinado?. Siendo estrictos, ningún organismo es completamente autónomo. Necesita de otros organismos y de ciertas condiciones ambientales para autoconstruirse. La autopoiesis, en la realidad, es más una red de relaciones constructivas que condicionan y modulan los resultados obtenidos que una labor autónoma de organismos frente a un ambiente. Podríamos decir, por ejemplo, que la unidad autopoietica relativa al ser humano no es el ser humano como tal, sino que incluye a otros organismos, como las bacterias, hongos y protozoos que componen la biota intestinal, sin los cuales no sería posible o se vería muy dificultada su autoconstrucción.

Por tanto, para unos investigadores tenemos vida cuando podemos encontrar estructuras que se autorreplican, para otros cuando encontramos estructuras que se automantienen metabólicamente. Estas dos formas fundamentales de entender la vida se corresponden de forma casi exacta con las dos principales corrientes acerca del origen de la vida:

1. La vida como capacidad de auto-replicación y de evolución (replication-first). Lo primero fueron los genes.
2. La vida como capacidad de construirse a uno mismo manteniéndose fuera del equilibrio termodinámico (*metabolism-first*), siendo así los seres vivos aquellos que tienen metabolismo: una naturaleza capaz de construirse a si misma interactuando en un entorno del que obtiene todo lo que necesitan para sobrevivir.

Los seres vivos que conocemos tienen ambas características. La cuestión es, ¿son ambas esenciales?, ¿es una más importante que la otra?, ¿pueden darse por separado?

Ambos enfoques presentan problemas, y el uno no puede dar cuenta de la aparición de las características de la vida sobre la que se centra el otro. Dadas esas carencias explicativas ha habido intentos de integrarlos en uno más general que muestre alguna conexión más profunda entre ellos. No hay una explicación satisfactoria de cómo moléculas autorreplicadoras pueden surgir y mantenerse a partir de una síntesis química indirecta y dar lugar a cadenas de reacciones metabólicas; más bien, la replicación de dichas moléculas parece exigir la existencia de procesos metabólicos que puedan sustentarla. Está además el problema de cómo un sistema replicador simple puede evitar la acumulación de errores de copia. Pero, en sentido contrario, no hay tampoco una explicación satisfactoria de cómo un conjunto de componentes químicos aislados, capaces de intercambiar energía y materia con el entorno, puede surgir espontáneamente, manteniendo su estabilidad y dar lugar a moléculas que porten una información heredable acerca de cómo recomponer un sistema similar

Freeman Dyson (pese a asociársele a la corriente de pensamiento del “metabolism-first”) ha defendido que la vida tiene un origen doble: metabolismo y replicación, que son lógicamente separables. Esto implica que la vida, o bien surgió de una vez con ambas cosas juntas o tuvo un doble origen: hubo una primera entidad replicadora y una primera entidad metabolizadora y ambas se unieron para formar la vida. Según su modelo, las primeras entidades vivas, las primeras células, estarían formadas fundamentalmente por proteínas capaces de mantenimiento homeostático y, por tanto, de metabolismo, que serían después parasitadas por ácidos nucleicos (surgidos probablemente como un subproducto del exceso de ATP) que terminarían en una asociación simbiótica con sus hospedadores.

La referencia al metabolismo como característica central de la vida ha ido acentuándose con el tiempo, particularmente debido al influjo del enfoque auto-organizativo. Esto requiere, a su vez, una definición clara de qué se entiende por metabolismo:

- Si se entiende como “uso y administración de la energía para el mantenimiento del cuerpo y para la conducta”, entonces un robot podría utilizar la electricidad para tales cosas, con lo que tendríamos que concluir que un robot metaboliza y, por tanto, está vivo.
- Los manuales de biología definen el metabolismo como la “síntesis o degradación química de moléculas complejas catalizada fundamentalmente por enzimas (e incidentalmente por moléculas de ARN)”. Diríamos así que los seres vivos se caracterizan porque sus procesos de intercambio de materia y energía con el medio se realizan mediante reacciones químicas catalizadas por enzimas y a este tipo particular de procesos de intercambio de materia y energía es a lo que llamamos metabolismo. Lo que haría, por tanto, especiales a los seres vivos no sería el mero intercambio de materia y energía con el medio para mantener la estabilidad, sino el que son sistemas que usan la catalisis enzimática en esos intercambios. Aunque quizá esta definición de metabolismo para identificar la vida sea demasiado restrictiva para con lo objetivo más generalistas que podrían resultar de interés al respecto.

Estamos, pues, ante lo que parece un dilema irresoluble. Si buscamos una definición puramente formalista de vida, terminamos teniendo que incluir en ella entidades que, en principio, no consideraríamos como vivas. Si, por el contrario, damos una definición que apele a elementos materiales de la vida tal como la conocemos, estaremos presuponiendo de forma injustificada que toda vida posible ha de basarse en esos elementos materiales.

## ¿La vida como género natural?

No sólo no tenemos una definición universalmente aceptada de vida, ni siquiera los especialistas coinciden en los criterios a seguir para obtener una definición rigurosa (si la definición debiera ser puramente formal o inevitablemente debe incluir alguna referencia a los componentes materiales).

Aunque el número de propuestas para definir el concepto de vida crece de forma sustancial sin que se llegue a acotar una definición precisa, si bien podrían agruparse en tres tipos:

1. Los seres vivos como sistemas autosostenidos, autorregulativos o metabólicos.
2. Los organismos biológicos son un tipo concreto de sistemas físicos (termodinámicos)
3. Los seres vivos caracterizados esencialmente por su carácter evolutivo y autorreplicativo.

Hay autores que además consideran que los componentes materiales resultan consustanciales a lo vivo, mientras que hay propuestas que ensalzan las propiedades informacionales independientes de su implementación material. Tales discrepancias lleva a algunos autores a desechar la posibilidad de terminar por alcanzar una definición satisfactoria de “vida”.

Ante estas diatribas, algunos autores como Cleland, Chyba y Machery han desarrollado la idea de considerar la vida como un **género natural**<sup>2</sup>, es decir, como una categoría real determinada por la naturaleza más que como una categoría definitoria establecida por el ser humano. Sin embargo, las dificultades surgen al intentar ofrecer una caracterización más extensa y precisa de lo que significa y se entiende por *género natural*. No es una mera cuestión terminológica, y el hecho de afirmar que la vida sea un género natural arrastra consigo la asunción de una serie de ideas vinculadas a la idea de género natural, que en la mayoría de sus definiciones se realiza desde una *perspectiva esencialista*. Bich y Green identifican las siguientes problemáticas de dicho enfoque:

- El concepto de género natural supone aceptar la dicotomía natural-convencional así como la aceptación de cierta concepción metafísica de la naturalidad.
- Entender *vida* como género natural en sentido esencialista limita nuestra visión acerca de cómo definirla, al fijarnos como única meta busca definiciones “definitivas” que hagan referencia a propiedades necesarias y suficientes, cuya dificultad terminaría por abocarnos hacia un escepticismo en cuanto a la posibilidad de definir lo vivo.

Por contra, Bich y Green sostienen el entender la vida como *género natural en sentido instrumental* en vez de esencialista. En vez de centrarse en las excepciones y dificultades resultantes de la búsqueda de propiedades suficientes y necesarias para estipular cada caso, las definiciones operacionales han de ser evaluadas según su contribución a los propósitos epistémicos determinado dentro del programa de investigación del cual formen parte, que estarían relacionados con el diseño de experimentos, interpretación de resultados o desarrollo de nuevas líneas de investigación y formas de teorizar que ayuden a entender mejor la naturaleza de lo vivo.

---

2 Putnam concibe los términos de género natural como términos generales e identifica su referencia con su extensión (el conjunto de individuos a los que se aplica el término). Las extensiones de los términos de género natural son precisamente géneros naturales. Aunque los géneros naturales sean conjuntos de individuos, no todo conjunto de individuos constituirá un género natural. Primero, un género natural incluye un subconjunto de individuos a los que se atribuye el carácter de miembros paradigmáticos del género; segundo: la atribución de este rasgo a dichos individuos se debe a que comparten una serie de propiedades que consideramos como “características distintivas normales” del género —en sentido estricto, de los miembros del género— ; en tercer lugar, suponemos que dichos individuos comparten propiedades subyacentes que estarán involucradas en la explicación de las propiedades distintivas normales. Dado este marco, la tesis fundamental de Putnam es que la extensión de un término de género natural viene determinada por la posesión de tales propiedades subyacentes o, dicho de manera más precisa, por la relación de identidad de género con los miembros paradigmáticos del género, la cual viene constituida por la posesión de dichas propiedades subyacentes

Quizás la conclusión que habría que obtener de la situación descrita es que la vida no parece ser un género natural; es decir, no es el tipo de cosa que pueda caracterizarse mediante un conjunto de propiedades necesarias y suficientes.

Si no es un género o clase natural, entonces debemos elegir entre tres alternativas:

1. La vida es un género convencional: decidir qué se considera como vivo y qué no dependería exclusivamente de los seres humanos, en función de sus intereses, no habiendo base objetiva en la naturaleza que sustentara tal separación. Pero mover las fronteras de lo que está vivo y lo que no está vivo sólo por simple convención y no en función de un mayor conocimiento del funcionamiento y de las posibilidades de la vida no parece que sea una estrategia ni interesante ni útil para ciencia. Al igual que con la aceptación del género natural esencialista, acarrea la aceptación de la distinción natural-convencional.
2. La vida designa a un individuo (en sentido lógico) y no a una clase de entidades: la idea puede parecer extraña, pero también lo pareció en un primer momento la propuesta análoga, realizada por Michael Ghiselin (1974) y David Hull (1976), de que las especies biológicas son realmente individuos y no clases. Aportaría, además una buena explicación de ciertas peculiaridades de la biología como ciencia frente a la física y a la química, como, por ejemplo, la ausencia de leyes universales biológicas. Los individuos poseen tres características principales que les diferencian de las clases:
  - Tienen existencia espacio-temporal; tienen un comienzo y un final. Es decir, los individuos son entidades concretas e históricas; las clases son abstractas y atemporales.
  - Son susceptibles de cambios. Pueden evolucionar a lo largo del tiempo.
  - Poseen cohesividad interna. Sus elementos mantienen una estrecha red de relaciones reales, no meramente conceptuales; no están simplemente unidos por compartir ciertas propiedades. Por otra parte, la relación de un individuo con sus elementos integrantes es una relación de todo-parte, mientras que la relación de un elemento de una clase con la clase es la de pertenencia.

No resulta difícil de aceptar que la vida presenta las dos primeras características propias de los individuos y que no tienen las clases. En cuanto a la tercera, la cuestión es más compleja. La ecología y la teoría de la evolución nos enseñan que la única vida que conocemos, la vida en la Tierra, cumple también, al menos en algún grado, esa característica; pero, ¿qué pasaría si encontráramos alguna vez vida extraterrestre?

3. La vida es un género natural pero no caracterizable mediante un conjunto de propiedades necesarias y suficientes (Boyd, Diéguez): ésta es una posibilidad que también ha sido ensayada en el debate sobre las especies y que podría ser extrapolada al problema de la definición de vida. Lo característico de esta forma de entender la vida se centra en la agrupación homeostática de propiedades, que se aleja de la concepción esencialista del género natural, y acepta la coexistencia de distintos enfoques definitorios que, sin ser contradictorios *per se*, presentarían un matiz complementario: autoorganizativos-informacionales, formales-materiales,... lo que además da cuenta de la complejidad del problema.

Lo que esto significa es que las especies presentan propiedades que tienden a darse juntas porque hay mecanismos causales subyacentes que hacen que se refuercen unas a otras, aunque estos mecanismos no son estrictamente necesarios y dan cabida a la existencia de excepciones. Es decir, la posesión de alguna de ellas hace más probable la posesión del resto, si bien pueden darse casos de individuos en los que falten algunas de tales propiedades. En tales casos, es una cuestión teórica, para a posteriori, y no meramente conceptual, determinar si estamos ante un individuo que cae bajo este género natural o no.



Incluso podrían darse casos racionalmente indecidibles. Esta forma de ver los géneros naturales no exige que haya alguna propiedad presente en todos los miembros de una especie y sólo en ellos (no exige una esencia en el sentido tradicional) y, por otra parte, permite su variación en el tiempo, ya que la agrupación homeostática de propiedades puede preservar su identidad a través de ciertos cambios.

Algunas de las principales ventajas de este enfoque son:

- Permite salvar dificultades derivadas de un excesivo compromiso metafísico (necesidad de establecer unas propiedades necesarias y suficientes que requería el enfoque esencialista para acomodar la vida como género natural).
- Es compatible con el carácter histórico de la vida, en la medida que permite inclusión de cambios y variaciones temporales.
- Los límites se entienden de manera difusa, no unívoca.
- Permite que diferentes disciplinas empleen distintas definiciones de vida, sin caer por ello en el convencionalismo.

Desde este enfoque, definiciones de “vida” al uso que suelen listar unas características que, sin embargo, no son condición necesaria y suficiente para la vida serían aceptables como definiciones no esenciales de un género natural. Se aleja tanto del esencialismo tradicional como del escepticismo que no ve posible más que un conjunto vago, arbitrario, contextual y variado de características usualmente (no necesariamente) presentes en los seres vivos.

Esta agrupación, además, tendría cierta capacidad explicativa, ya que estaría abierta al esclarecimiento de las causas que hacen que tales rasgos se mantengan homeostáticamente, cosa que no sucedería con una mera agrupación arbitraria. Con esto se renuncia a una definición esencial de vida en el sentido tradicional, pero no a una definición descriptiva fundamentada y con poder explicativo. Esto explicaría por qué no han tenido éxito los intentos de proporcionar una definición unificada de vida que la cifre en un solo proceso o que la reduzca al despliegue de una única función. La enumeración de propiedades a las que recurren la mayoría de las definiciones dadas no es un signo de fracaso, sino una consecuencia de la propia naturaleza de la vida. La vida es un género natural, pero se conforma como tal por medio de una agrupación de propiedades que no constituyen juntas una “esencia” de la vida. Por otra parte, a diferencia del convencionalismo, esta postura deja abierta a la investigación empírica una cada vez más ajustada determinación de las características que pueden servir mejor para caracterizar la vida (además de dejar abierta la puerta a la revisión en la medida que el conocimiento siga avanzando, o incluso se encuentre vida extraterrestre, sea como sea ésta).

No obstante, persiste un problema (aunque menor) con esta caracterización, y es que también haría de un individuo aislado un género natural, pues también éste podría considerarse como una agrupación de propiedades mantenida homeostáticamente. Algunos autores tratan de dar respuesta a este problema replanteando el papel de los mecanismos causales y entendiendo un género como agrupación de propiedades caracterizado por:

- Ser una agrupación de propiedades que tiende a darse de manera conjunta
- Estas propiedades muestran un grado de estabilidad relevante (dentro de una serie de condiciones contrafácticas) → aquí es donde se sustituye el concepto de mecanismo por el de estabilidad.
- Esta agrupación desempeña cierto rol (epistémico o heurístico) en la práctica científica

Entender la vida como género natural esencialista, limita el análisis filosófico del problema del concepto de vida. Se trata de una simplificación inadecuada. Sin embargo, son varios los autores que asumen esta limitación al marco esencialista cuando en realidad se aplica a todo tipo de propuesta de género natural.

El análisis (y la importancia) de los factores epistémicos y axiológicos queda excluido al asumir que se trata de un género natural (“lo dado”), en donde se entiende que este tipo de factores no juegan un papel relevante en su determinación. A su vez, la idea de género natural no nos ayuda a entender el debate sobre por qué definir vida resulta tan problemático y suscita tanta discusión, y a qué se debe la dificultad para llegar a un consenso. Bich y Green no contemplan definiciones de vida entendidas como géneros naturales no-esencialistas aunque los problemas señalados para el marco esencialista surgen también en estas últimas maneras de entender vida. Bich y Green identifican estas limitaciones aunque no su causa; la idea de naturalidad que subyace a cada una de las propuestas de género natural.

Cuando surgen dificultades para categorizar o conceptualizar el fenómeno a estudiar —puesto que nuestros esfuerzos por acomodar teórica y conceptualmente la fenomenología del objeto de estudio no resultan lo suficientemente satisfactorios— la interpretación que sitúa a esa categoría en el ámbito de lo estipulado/convencional surge con fuerza. Cuando esto ocurre, se podría pensar que una categoría que no es considerada un género natural pierde su estatus ontológico (pues la naturaleza ya no lo determinaría) y quedaría por ello fácilmente descartada. O dicho con otras palabras, en filosofía de la ciencia, cuando la categorización de un fenómeno resulta problemática surgen las dudas acerca de la naturalidad de esa categoría. Sin embargo, ¿por qué no se considera que se trata simplemente de un fenómeno más complejo de categorizar? ¿por qué la dificultad asociada con la categorización de un fenómeno (como en el caso de vida) se explica aludiendo a la artificialidad o la convención? Esta es una de las implicaciones que conlleva plantear el debate en estos términos al introducir la distinción entre género natural y convencional. La complejidad y dificultad que pueda surgir en el proceso de categorización se confunde con artificialidad y estipulación, sin mayor alternativa.

Plantear el debate de los géneros naturales, tal y como hace la literatura reciente, supone aceptar la dicotomía entre lo natural-convencional, identificando y justificando filosóficamente lo “natural” con alguna formulación más o menos concreta de tipo metafísico. Se asume que lo natural está separado de y es excluyente respecto a lo convencional. Dicha dicotomía es lo que no parece que sea útil ni pertinente, al menos en conceptos complejos como el de vida. En la medida que los distintos modos de entender los géneros naturales —que no hacen sino oscilar desde las posiciones más metafísicas a las más convencionales— aceptan dicho marco de referencia.

Afirmar que vida es un género natural es cuestionable, sin embargo decir que se trata de una categoría científica (o, al menos, una categoría de interés científico, presente en ciencia) parece menos controvertido teniendo en cuenta su desarrollo histórico en las ciencias naturales —desde Lamarck y Schrödinger entre otros— y su actual presencia en disciplinas como la biología molecular, la biología sintética, la vida artificial, los estudios sobre los orígenes de vida y la astrobiología. Sin duda, la determinación de esta categoría está sujeta al estudio empírico e investigación científica aunque resulta conveniente, por los motivos expuestos, plantear la cuestión de la definición de vida en términos que no refieran a la “naturalidad” de lo vivo.

Estas cuestiones son importantes porque ayudan a encaminar la cuestión acerca de lo que es la vida, y que pudiera llegar a usarse más allá de los seres vivos que conocemos (posible utilidad en astrobiología, búsqueda de vida inteligente, biología sintética...). No deja de ser irónico que estemos tratando de buscar vida en otros planetas, o de crear vida en el laboratorio, pero que no seamos capaces de dar una definición concisa y precisa de qué es la vida.

## Biología y Naturaleza Humana

A parte de los problemas anteriores que son considerados básicos (carácter ontológico de la selección natural, el problema de especie y esencia, el problema del concepto de vida), la biología investiga otros múltiples problemas y aspectos controvertidos al respecto de lo que nos dice la biología de nosotros mismos:

- Sociobiología (explicar cuestiones sociales y de comportamiento en términos biológicos) y Psicología Evolucionista (corriente de la psicología que explica nuestros conceptos apelando a la historia evolutiva), que, desde diferentes enfoques, tratan de explicar aspectos sociales o cognitivos de los humanos apelando a explicaciones evolutivas (selección natural).
- Ética naturalizada: estudia hasta qué punto podemos fundamentar nuestros principios o valores o nuestra forma de establecer juicios morales apelando al soporte biológico (por qué nos parece que es peor matar a un niño que a un adulto, etc.).
- Problemas concretos:
  - Diferencia humano/animal no-humano. Hay algo que desde la biología diferencia al ser humano del resto de animales no-humanos: algunos consideran que no hay diferencias, que todo es una cuestión de grado; otros dicen que tenemos propiedades que nos diferencian (capacidad para el lenguaje, la forma del raciocinio, etc.).
  - Raza / género
  - Retos morales y políticos de la biotecnología,

La biología es una rama de la ciencia con especial relevancia para la filosofía en general, y las disciplinas propias del ser humano en particular, pues da lugar a discusiones sobre el cambio, la lucha, el sexo y la muerte; siendo una ciencia en constante transformación y cuyo avances y aplicaciones tecnológicas tienen una gran repercusión en lo moral y lo social, y en el modo que nos vemos y entendemos a nosotros mismos.

# Filosofía de la psicología comparada

## Contextualización de la psicología comparada

Análogo al desarrollo de los temas anteriores, los estudios en las distintas disciplinas vistas se han ido sucediendo en la misma secuencia, siendo la psicología comparada una de las de más reciente desarrollo (de hecho, es en los últimos 20 años donde mayores avances ha habido en dicha disciplina en comparación con la evolución de todos los estudios relativos a la psicología animal).

A diferencia que en las otras disciplinas, con la psicología comparada no encontramos una obsesión por la búsqueda de una ciencia ideal, sino que surgen (y se abrazan) ideas filosóficas mucho más relacionadas con la metodología y el modo en que las prácticas científicas se han llevado a cabo.

## Psicología comparada

Es una rama de las **ciencias cognitivas** que se centra en el estudio comparativo de las mentes de las especies animales (no exclusivamente la humana), Su objetivo sería el de llegar a un mapa de cómo se distribuyen las capacidades cognitivas y psicológicas en el reino animal.

Un rasgo característico es que su objeto de estudio no es directamente observable (si bien hay filósofos de la mente que defienden la teoría de la percepción directa, para la que algunos estados mentales sí que serían directamente observables, como la vergüenza de alguien en su sonrojo), sino que ha de deducirse a partir del comportamiento del animal, que no incluye lenguaje a la hora de poder analizar el estado mental, pues incluso en el caso del ser humano podría llegar a ser engañoso en caso de mentiras, razón por la cual se generaliza el estudio a la deducción de dichos estados mentales. Esto genera muchos problemas filosóficos que tienen que ver con la práctica científica, lo que la convierte en una rama de gran aplicación para la ciencia, sobre todo en comparación con otras disciplinas que suelen incluirse dentro del rango de estudio de la filosofía de la ciencia.

Durante décadas, fue un lugar común pensar que sólo el ser humano era consciente de sí mismo, podía representarse el pasado y el futuro o tenía la capacidad de crear y emplear herramientas. Sin embargo, hace tiempo que los etólogos, y en especial destacados primatólogos como Frans de Waal, están cuestionando estos prejuicios, centrando el estudio de la cognición como producto de la evolución. ¿Qué tenemos que decirles a los escépticos que sostienen que los animales, por definición, están atrapados en el presente, y que sólo los seres humanos tienen visión de futuro? ¿Es razonable este supuesto, o simplemente están ciegos a las capacidades de los animales? ¿Y por qué nuestra especie es tan proclive a infravalorar la inteligencia animal? De manera sistemática les negamos aptitudes que damos por sentadas en nosotros mismos. ¿Qué hay detrás de este proceder? A la hora de averiguar a qué nivel mental operan otras especies, el auténtico desafío no reside en los propios animales, sino en nosotros mismos.

## Sobre la cognición

Debemos contemplar la cognición humana como una variante de la cognición animal. Ni siquiera está claro que nuestra cognición sea tan especial si se compara con una cognición distribuida entre ocho brazos con movimiento independiente, cada uno con su propia dotación neural, o una cognición que permite a un organismo volador atrapar presas móviles en el aire mediante los ecos

de sus propios chillidos. Obviamente, concedemos una importancia inmensa al pensamiento abstracto y al lenguaje pero, en un esquema más amplio de las cosas, ésta es sólo una manera de afrontar el problema de la supervivencia. En términos de número y biomasa, las hormigas y las termitas quizá lo hayan hecho mejor que nosotros, centrándose en la coordinación estrecha entre los miembros de la colonia más que en el pensamiento individual. Vale la pena reflexionar sobre cómo y por qué nos hemos vuelto menos antropocéntricos y nos hemos sacudido nuestros prejuicios, sin dejar de considerar todo lo que hemos aprendido por el camino.

La cognición es la transformación mental de la información sensorial en conocimiento del entorno, y la aplicación flexible del mismo. Mientras que la cognición se centra en el proceso de adquirir dicho conocimiento, la inteligencia se refiere más a la capacidad de aplicarlo con éxito. Es mejor hablar de inteligencias y cogniciones, en plural. Esto nos ayudará a evitar hacer comparaciones según una escala única inspirada en la *Scala Naturae* de Aristóteles, que va desde Dios, los ángeles y los seres humanos en lo alto hasta los otros mamíferos, las aves, los peces, los insectos y los moluscos por orden descendente. Las comparaciones a lo largo de esta extensa escalera han sido un pasatiempo popular en la ciencia cognitiva, pero no existe ninguna intuición profunda que hayan aportado. A lo único que ha contribuido esto es a medir las capacidades de los animales según estándares humanos, ignorando la inmensa variación de sus ecosistemas. Parece muy injusto preguntar si una ardilla es capaz de contar hasta diez cuando contar no forma parte de la vida de una ardilla. En cambio, las ardillas son muy buenas a la hora de recuperar nueces escondidas, y algunas aves son absolutas expertas. El cascanueces de Clark almacena más de 20.000 piñones durante el otoño, escondiéndolos en cientos de localizaciones diferentes repartidas entre muchos kilómetros cuadrados (y luego sabe encontrar esos lugares).

Hay un montón de adaptaciones cognitivas maravillosas que no tenemos ni necesitamos. Por eso la cognición en una sola dimensión es un ejercicio fútil. La evolución cognitiva viene marcada por numerosos picos de especialización, y la ecología de cada especie es un factor clave.

## **Ramas en el estudio de la mente animal**

Existen tres grandes ramas en el estudio de la mente animal, que en cierto modo sirven para dar cuenta de la evolución temporal de esta área del conocimiento.

1. Método anecdótico
2. Método experimental
3. Etología y los estudios de campo

### **Método anecdótico**

#### **Antropomorfismo anecdótico de Romanes**

El primer método anecdótico fue el antropomorfismo de George Romanes, que fue discípulo de Darwin y recoge de alguna manera el interés de éste en la continuidad existente entre la mente humana y la mente animal. Con él comienza la ciencia de la cognición comparada (s. XIX).

Su objeto de estudio eran anécdotas acerca del comportamiento animal, mediante la recopilación de anécdotas vistas por él mismo u otros. Por anécdotas nos referimos a comportamientos observados al menos una vez, y que después se interpretan en términos humanos.

El método, no muy científico, consta de dos pasos:

1. Observar el comportamiento de un animal (o aceptar una anécdota observada por otro). Por ejemplo, observar una ardilla que en una pradera desentierra una avellana del suelo.
2. Utilizar la introspección para categorizar el comportamiento y determinar los estados mentales subyacentes. Por ejemplo, se intenta racionalizar por qué yo rascaría en el suelo, pensando que allí pudiera haber o no una avellana

Este método, presenta una serie de problemas evidentes:

- Problemas del paso de observación y elección de anécdotas:
  - La anécdota de partida puede ser falsa (caso de que nos haya sido relatada por otros) o estar plagada de sesgos que nos hagan ver algo ya condicionados por la interpretación que posiblemente haremos a posteriori de ellos.
  - Una única anécdota no da suficiente contexto ni información sobre el comportamiento 'normal' del animal como para interpretarla. No podemos generalizar el comportamiento de todos los perros tras ver la agresividad manifiesta en un perro rabioso.
  - Sesgo selectivo: los humanos tendemos a ignorar lo que nos parece poco interesante o llamativo. Las anécdotas que se consideran son sólo aquellas que resultan interesantes o llamativas para quienes realizan dicha selección, dejando fuera todas aquellas otras observaciones que su sesgo no consideró lo suficientemente relevantes o interesantes. Esto nos lleva a alcanzar una visión global que no se ajusta con la realidad.
- Problemas del paso interpretativo y de categorización:
  - Muchas explicaciones distintas pueden ser compatibles con un mismo comportamiento. El que una ardilla desentierre una avellana bien podría ser porque tiene un gran olfato que le haya permitido encontrarla en ese preciso lugar, o simplemente que recuerde que fue ahí donde la enterró previamente ella misma.
  - La introspección es poco fiable y a menudo nos atribuimos de más a nosotros mismos. Cuando relatamos historias o anécdotas propias tendemos a exagerar y rodear de ficción aquellas anécdotas que nos conciernen y que no se corresponden con lo que realmente ocurrió, lo que hace que sean poco fiables las introspecciones respecto a nosotros mismos a la hora de interpretar el comportamiento de otros animales.
  - Utilizar el comportamiento humano como analogía supone ignorar que en otras especies los mismos comportamientos pueden obedecer a razones muy distintas. Por ejemplo, la cara del delfín que parece mostrar una cara alegre o sonriente está, en realidad, en una postura agresiva y de amenaza.

Una historia relevante a tales efectos, y que suele contarse de manera general en los estudios de psicología comparada es la del caballo Hans "el listo" (*Hans der Kluge*), que se hizo famoso por sus aparentes habilidades matemáticas, y cuya fama traspasó fronteras a principios del siglo XX.

Ante las dudas de los científicos sobre la supuesta inteligencia animal se creó una comisión especial encabezada por el psicólogo Oskar Pfungst en 1907. La investigación formal demostró que el caballo en realidad no realizaba estas tareas mentales, pero miraba la reacción de sus observadores humanos. Pfungst descubrió en su metodología de investigación, que el caballo respondía directamente a señales involuntarias en el lenguaje corporal del entrenador humano, que tenía las facultades para solucionar cada problema. El entrenador era completamente inconsciente de que él proporcionaba tales señales. En honor a Pfungst la anomalía descubierta fue bautizada como el '*efecto Clever Hans*' y ha seguido siendo importante en el conocimiento del efecto de la expectativa, la observación participante y posteriormente estudios en la cognición animal. Lo que no hay que negarle al caballo era su capacidad para leer a sus interlocutores humanos.

### El método anecdótico hoy en día (generalizado en el método observacional)

Pese a lo acientífico del método de Romanes, su fundamento no está descartado del todo hoy en día, de hecho, los psicólogos Lucy Bates y Richard Byrne en un artículo de 2007 defienden que hay tres reglas que han de ser seguidas para garantizar la correcta aplicación del método anecdótico (cuando las observaciones son puntuales o aisladas es cuando hablamos de anécdotas, refiriéndonos a lo observacional cuando se da una sistematización del estudio a lo largo del tiempo):

1. Los observadores han de estar familiarizados con la especie. No es lo mismo una anécdota sobre chimpancés si es contada por Jane Goodall que si lo cuenta alguien que ha visto un chimpancé una vez que fue al zoo (en este caso, la “falacia de autoridad” sí que sería relevante y de aplicación).
2. Las anécdotas han de reportarse tal y como se anotaron originalmente, dada la volatilidad y poca fiabilidad de la memoria humana. El uso de grabaciones de video y fotografía es incluso más favorable, para poder contar con la observación en el mayor detalle posible.
3. Han de buscarse observaciones independientes del mismo fenómeno. Como en la mayoría de disciplinas científicas, la replicabilidad y confirmabilidad de la observación es deseable.

De este modo, mediante la monitorización y estudio sistemático y prolongado en el tiempo de una población animal que vive libremente (preferiblemente en su propio entorno natural), lo que nos permite acumular datos sobre la presencia de determinados comportamientos, así como la frecuencia y forma en que se dan, permitiendo así obtener una gran **validez ecológica** (de la que adolecen otros métodos, como el *método experimental*)

### Ventajas del método anecdótico/observacional:

Aunque muy problemático si se practica mal, este método, bien practicado, permite:

- Cuanto mayor sea la población del estudio y mayores sean las observaciones efectuadas, mejores serán los resultados y conclusiones obtenidas.
- Este método también permite reportar comportamientos atípicos o anómalos dados de forma aislada. Esto puede permitirnos abrir nuevas líneas de investigación para casos no cotidianos.
- También permite cuestionarnos presupuestos sobre la cognición de otras especies o teorías bien establecidas. Por ejemplo, cuando Jane Goodall marchó a África para acometer el estudio de los primates, se pensaba que el ser humano era el único que empleaba herramientas, lo cual ella pudo desmentir con sus observaciones de los chimpancés.
- Abrir nuevos caminos para la investigación. Por ejemplo, el haber descubierto que los chimpancés hacen uso de herramientas ha permitido abrir líneas de investigación acerca de la evolución de las diferentes etapas de hominización hasta alcanzar nuestra realidad actual como *homo sapiens* (aunque ha de tenerse en cuenta que con esto sólo podemos hacer conjeturas, pues el ser humano y las distintas especies antropoides compartimos una línea evolutiva común diferenciada en algún punto, habiendo evolucionado de manera independiente a partir de entonces, por lo que ha de serse precavido a la hora de extrapolar conclusiones a partir de dichas observaciones).

Aún así hay que ser conscientes de sus limitaciones intrínsecas, pues al tenerse poco control sobre el entorno y sus variables existe una mayor probabilidad de que factores desconocidos influyan en la conducta de los animales, razón por la cual suele complementarse con la integración de experimentos llevados a cabo en la propia naturaleza → *los estudios de campo*



## La tanatología comparada como práctica de aplicación del método anecdótico/observacional

Al centrarse en la reacciones de los animales a la muerte, este subcampo es necesariamente oportunista, pues las muertes de los animales en la naturaleza no se pueden predecir, y es obvio el componente ético involucrado en lo que a plantear un estudio experimental del mismo supondría. Es por esto que la mayoría de estudios publicados en este campo son crónicas de casos anecdóticos observados por casualidad, ya sea un individuo concreto que cae de un árbol y muere, o cómo una ballena es vista arrastrando a su cría muerta por los mares de medio mundo.

Dada la escasez de datos observacionales y la subjetividad implícita en la interpretación de éstos, el método anecdótico es más propenso al antropomorfismo; además de existir pocos expertos que se deciden íntegramente a esta disciplina, lo que también potencia el acometer este sesgo al interpretar las observaciones. No es menor el peso que para nosotros los humanos supone la muerte, por lo que no es raro proyectar sobre estos casos de estudio nuestros propios sentimientos, y ver en las acciones de los animales emociones propias de los seres humanos.

## Método experimental

### Los orígenes del método experimental

El método anecdótico de Romanes no fue aceptado de manera general, dando pie a una contraposición, en particular por parte de los conductistas, que rechazaron la introspección por ser un método poco fiable.

Los principales autores del conductismo fueron **Thorndike, Pavlov, Skinner** o **Watson**, que consideraban que la ciencia del comportamiento animal ha de ceñirse a lo que puede ser observado y descrito objetivamente de manera experimental. No se postulan ni se mencionan estados mentales, limitándose a describir el comportamiento observable.

A pesar de que el conductismo se encuentre abandonado hoy día, descubrieron varias formas de aprendizaje, como el condicionamiento clásico.

### El método conductista

Se conforma de tres pasos principales:

1. Se describe un comportamiento y el entorno en el que se produce de manera aséptica y no mentalista, es decir, dado un animal en una situación concreta, se hace una descripción de cómo son tanto el entorno como el comportamiento observado en el animal.
2. Se postula una asociación entre el comportamiento y ciertos aspectos del entorno, a modo de relación entre estímulos y respuestas.
3. Esta hipótesis se pone a prueba modificando variables del entorno para ver si el comportamiento se mantiene.

### Postulados del método conductista

- El comportamiento es meramente una función de los estímulos del entorno y puede dársele forma mediante recompensas y castigos.
- No hay propiedades intrínsecas al organismo que interactúen con el estímulo para producir el comportamiento. Sería como una *tabula rasa* que queda supeditado a toda interacción para con el entorno.
- Skinner: “*Dadme a un niño y le transformaré en cualquier cosa*”.

## El método experimental hoy en día

Si bien el conductismo ha quedado desfasado y abandonado en psicología, el método experimental que iniciaron tuvo su continuación y desarrollo gracias a la **revolución cognitivista** de finales del siglo XX, donde los psicólogos se dieron cuenta de la necesidad de postular estados mentales en muchos casos para poder hacer una interpretación que vaya más allá de la mera observación conductista. El método experimental consiste en someter a un animal a unas condiciones concretas, normalmente en un laboratorio donde se pueda poner a prueba la respuesta ante diferentes situaciones. Este método es considerado como el más fiable ya que:

- el entorno está controlado
- las condiciones son repetibles
- se puede testar a más de un individuo
- se pueden realizar análisis estadísticos

Esto deviene en una serie de ventajas, dado que nos otorga bastante control sobre los distintos factores que pueden influenciar el comportamiento de una animal, pudiendo así testar diferentes hipótesis acerca de su mente y su comportamiento.

Sin embargo, el método experimental presenta su principal **problema en la validez ecológica**. Dada su vocación de querer controlar las variables del entorno, esto lleva a exponer a los animales en observación a una disposición en exceso artificial y que se aleja mucho del ecosistema en que se encontrarían normalmente en libertad en la naturaleza, lo que puede darnos una visión desvirtuada de los aspectos psicológicos reales del animal.

Considerando esto, se trata de ajustar las condiciones experimentales a la ecología y capacidades de la especie, pudiendo aún así fallar el test por diversas razones para nada relacionadas con lo listo o tonto que sea el animal:

- Puede que el sujeto no haya entendido lo que se requiere de él en el experimento.
- Puede que la situación no genere en el animal interés suficiente como para acometer lo que se espera que haga (no tiene por qué saber que de sus acciones esté colaborando con la ciencia, o puede que sí lo sepa pero le importe tres pimientos).
- Las condiciones pueden no ser óptimas para que el animal pase la prueba. Por ejemplo:
  - La especie de simios Gibones se han considerado tradicionalmente como “retrasados”, pues tests fácilmente superados por chimpancés fallaban estrepitosamente en este tipo de monos. Ahora bien, cuando el test se adapta a su hábitat (son “*braquiadores*”: que se desenvuelven en las ramas) ofrece los mismos resultados que el resto de simios.
  - En test donde se facilita al animal una rama para poder alcanzar la comida, se vio que los elefantes no hacían uso de los palos para tal fin, pese a contar con una trompa que les permitiría poder hacerlo. Esto se debe a que al hacerlo se bloqueaba su capacidad olfativa, lo que afectaba su orientación hacia el alimento. Tras replantear el test colgando el alimento lejos de su alcance, lo conseguían resolver apilando cajas y piedras para poder encaramarse y tener acceso al alimento (incluso cuando les complicaban la prueba alejando y escondiendo los recursos de la comida objetivo)
  - Estudiar el reconocimiento de rostros con chimpancés dándoles caras humanas y asumiendo que hay más diferencias entre nosotros que dentro de su propia especie, al final dio mejores resultados ofrecerles retratos de distintos congéneres chimpancés, entre los cuales eran capaces de distinguir una cantidad considerable de rostros de individuos diferentes.

## El Canon de Morgan

A diferencia de la meticulosidad científica de Darwin, la mitad de los informes sobre conducta animal recopilados por Romanes parece bastante plausibles, pero muchos otros están adornados o son palmariamente improbables. Romanes afirmaba que conocía las operaciones mentales que requerían tales comportamientos por extrapolación de las suyas propias. Obviamente, la debilidad de este enfoque introspectivo es que se basaba en casos anecdóticos y experiencias subjetivas propias. No han de desdeñarse las anécdotas, pero han de considerarse más como un punto de partida para la investigación que como un punto final. Las anécdotas apuntan una posibilidad, y plantean un desafío a nuestro pensamiento. (no es el “*eureka*”, sino el “*qué curioso*”<sup>3</sup>). Siempre es posible que un suceso anecdótico fuera producto de una casualidad irrepetible, o que se pasara por alto algún aspecto decisivo. También puede ser que el observador haya rellenado los huecos de manera inconsciente conforme a sus prejuicios. Estas cuestiones no se resuelven simplemente recopilando más anécdotas. El plural de «anécdota» no es «datos», como reza el dicho. Por eso resulta irónico que, cuando le tocó a él elegir un protegido y sucesor, Romanes escogiera al psicólogo británico Lloyd Morgan, quien iba a poner fin a toda aquella especulación desbocada.

Dentro de la corriente experimental motivada con dejar de lado el método de Romanes, su sucesor, Lloyd Morgan publicó ‘*Emergent evolution*’, donde postula “el Canon de Morgan” y formuló la que quizá sea la recomendación más citada en psicología:

*“No debemos interpretar el comportamiento de un animal en términos de procesos psicológicos altos, si puede ser razonablemente interpretado en términos de procesos que se sitúen más abajo en la escala de la evolución y el desarrollo psicológicos.”*

A la que añadió:

*“Pero, sin duda, la simplicidad de una explicación no necesariamente es un criterio de veracidad”*

Es decir, si un comportamiento puede entenderse en términos de un proceso más simple o más abajo en la escala evolutiva, ésta ha de preferirse ante otras posibles explicaciones equivalentes en términos más avanzados.

- Es una versión de la navaja de Ockham.
- Es utilizado hoy en día para defender un principio de parsimonia: las explicaciones más simples del comportamiento animal han de preferirse.
- Esto a menudo se traduce en que si una explicación de un comportamiento animal es posible en términos de mecanismos “de bajo nivel”, como el aprendizaje asociativo, ésta se considera preferible

## Problemas del Canon de Morgan

Toda la sencillez y simplicidad que por un lado presenta el Canon de Morgan, nos ofrece por otro lado toda una serie de problemáticas desde el punto de vista filosófico que no se sostienen tan fácilmente:

- El comportamiento animal es el resultado de la selección natural, no de un proceso de diseño inteligente, por lo que no tiene por qué haber dado con las soluciones más simples (Mikhalevich et al. 2017). La selección natural es “el relojero ciego”, y los resultados de la misma son los que son, no necesariamente las más simples ni las más eficientes, al no existir un patrón que la dirija ni un creador con un objetivo concreto en mente.

3 Se le atribuye a Isaac Asimov la siguiente frase:

*“La frase más emocionante que se puede oír en ciencia, la que sin duda ha llevado a más descubrimientos, no es «¡Eureka!» sino «¡Andá, qué curioso!»”*

- Además, ¿qué significa que una explicación sea más simple? No está claro, y hay distintas maneras de responder ante esta duda, con distintos niveles de explicación en psicología.
- Se han dado casos en los que el Canon de Morgan puede llevarnos a dos interpretaciones incompatibles entre sí pese a ser compatibles con los datos. Por ejemplo, el debate sobre teoría de la mente en chimpancés.

Morgan añadió una cláusula a su canon, según la cual no hay inconveniente en aceptar interpretaciones más complejas desde el punto de vista cognitivo si la especie en cuestión ya ha dado muestras de una inteligencia elevada. En el caso de animales como los chimpancés, los elefantes o los cuervos, para los que existe una amplia evidencia de cognición compleja, no necesitamos empezar de cero cada vez que nos llama la atención un comportamiento aparentemente inteligente. No tenemos por qué intentar explicar su comportamiento como lo haríamos si se tratara de una rata, por ejemplo. E incluso en el caso de la pobre y subestimada rata, es improbable que el cero sea el mejor punto de partida.

### La teoría de la mente

La **teoría de la mente** consiste en la capacidad de atribuir estados mentales a otros. Como al dar cuenta del comportamiento de un individuo en base a sus propios estados mentales en términos de creencias, ideología, sensaciones...

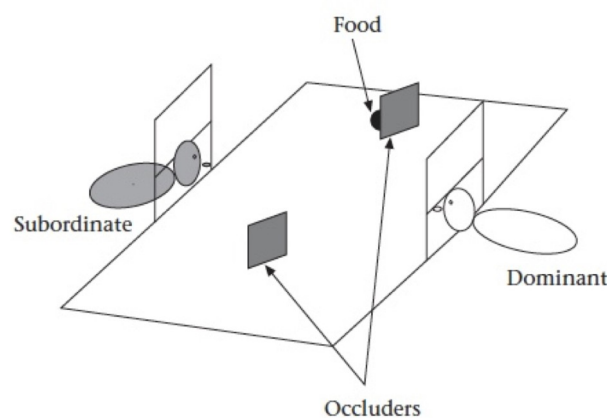
A comienzos del siglo XXI surge una controversia muy grande entre dos grupos de primatólogos, liderados por Povinelli y Tomasello, en torno a los estudios sobre teoría de la mente en chimpancés. Ambos grupos defendían interpretaciones opuestas de los estudios y ambos apelaban al Canon de Morgan para defender su propuesta.

- Uno de estos experimentos trataba de dar respuesta a: *¿Pueden los chimpancés atribuir percepciones visuales a otros?* Se presentaba a los chimpancés ante dos colaboradores, de los cuales podía interactuar con él y se observaba hacia cuál de ellos se dirigía el chimpancé para pedirle comida. Daniel Povinelli y Timothy Eddy (1996) utilizaron un paradigma cooperativo (que el chimpancé busque la cooperación del humano) para responder a esta pregunta y su conclusión fue negativa, donde los chimpancés pedían comida a ambos colaboradores, independientemente de que pudieran o no interactuar con ellos. Este caso es un ejemplo del problema de la validez ecológica, donde algunos elementos empleados para condicionar la interacción (cubos, antifaces), al no ser propios del hábitat ecológico del animal, no se consideran como elementos que condicionen su comportamiento.



Sin embargo, este comportamiento puede entenderse también cuando se atiende al propio modo de comportarse de los chimpancés a la hora de compartir comida, donde no es que sean precisamente colaborativos entre sí.

- El panorama cambió cuando Tomasello y sus colaboradores introdujeron un paradigma competitivo, con mayor validez ecológica, que sí pasan los chimpancés. Por ejemplo, en Hare et al. (2001) se plantea este experimento donde un chimpancé dominante y otro subordinado se encuentran en jaulas separadas que les permite entrar a un terreno común donde la comida está oculta para el dominante, pero no para el subordinado. El comportamiento de éste, ante la presencia del dominante es la de no comerse el plátano, evitando la situación violenta hacia él que tendría lugar por parte del individuo dominante. Lo que se vio es que el subordinado era capaz de comprender si el dominante tenía o no esa información acerca de la comida, y así actuar en consecuencia en beneficio propio (el no ser apalizados por el otro en caso de información disponible para el agresivo, o la de alcanzar la comida en caso de verse protegido por los elementos de ocultación), yendo únicamente a por la comida cuando se daba la situación de la ocultación de la comida respecto al dominante, encontrando así la posibilidad de comer libre de palizas.



### El 'problema lógico' de Povinelli

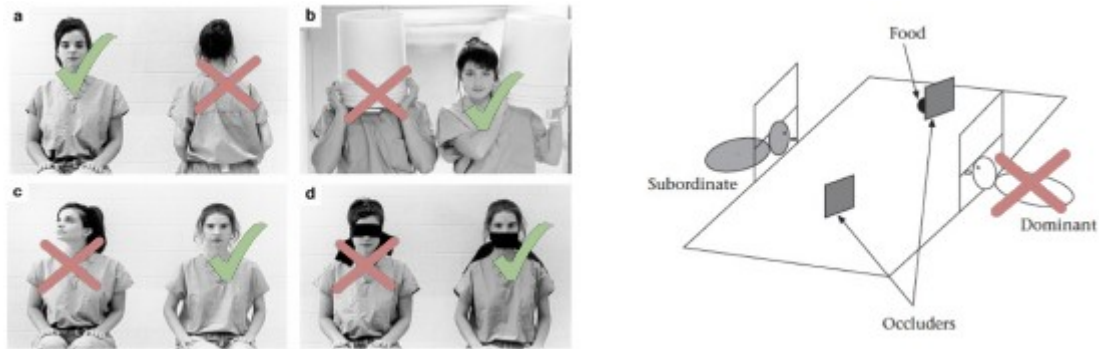
A partir de los resultados del paradigma competitivo de Tomasello, Povinelli et al. han defendido que el comportamiento de los chimpancés en estos tests puede explicarse asumiendo que están llevando a cabo una lectura de comportamiento, en vez de una lectura de mentes.

La lectura de comportamiento consiste en la predicción y explicación del comportamiento de otros basada exclusivamente en **razonamientos acerca de su comportamiento**, sin la atribución de estados mentales subyacentes. Análogo a cómo actuaba Hans el Listo, consistiría en darse cuenta de los cambios sutiles en el comportamiento de los demás, y así actuar en consecuencia a dichos patrones.

### Estructura del argumento básico (defendido también Heyes y Lurz):

- P1: Los estados mentales de otros no se pueden percibir directamente. Toda atribución de estados mentales debe basarse en señales comportamentales o medioambientales.
- P2: La lectura de comportamiento se basa también en señales comportamentales o medioambientales.
- P3: Para pasar las pruebas existentes, los chimpancés deben basarse en señales comportamentales o medioambientales.
- P4: Las pruebas existentes no establecen si, además, razonan acerca de estados mentales.
- C: No hay evidencia a favor de la hipótesis de que los chimpancés pueden atribuir estados mentales a otros.

¿Hay una línea de visión no obstruida? Povinelli alega que para pasar estos tests no se requiere atribuir estados mentales al otro.



Por ejemplo, se puede aprender que cuando la línea de visión entre el chimpancé y el colaborador no está obstruida, el último es más propenso a responder ante el ruego de comida del primate.

Igualmente, puede aprenderse que si no existen objetos entre el campo de visión del dominante y la comida es mejor mantenerse al margen para evitar la violencia, pero sí puede tratar de alcanzarla en caso de estar protegidos por elementos ocultadores.

### ¿Qué explicación es más parsimoniosa?

Ambas posturas defienden que su planteamiento es más parsimonioso que el otro:

- Según Tomasello et al., lo es la teoría de la mente, pues no requiere postular que los chimpancés procesan infinidad de reglas de conducta.
- Según Povinelli et al., lo sería la lectura de comportamiento, porque toda lectura de mentes parte de una lectura de comportamiento pero añade un paso extra, por lo que solo leer el comportamiento requiere menos computación.

Ante la complicación existente a la hora de comprender qué se entiende por “simple”, Fitzpatrick (2010) distingue cinco nociones de simplicidad que se utilizan en la literatura:

1. Unificar varios fenómenos bajo un único mecanismo cognitivo.
2. Postular menos representaciones mentales.
3. Atribuir mecanismos cognitivos menos sofisticados.
4. Postular los mismos mecanismos para explicar comportamientos similares entre distintas especies.
5. Postular mecanismos heredados de un ancestro en común.

A la vista de lo expuesto, choca ver cómo el Canon de Morgan, a priori tan conciso y directo, se encuentra inmerso en unas complejidades y problemas que no son tan sencillos de ser solventados.

## **La etología y los estudios de campo**

Los etólogos desarrollaron el estudio de la mente animal en su entorno natural. En lugar de llevar a cabo el estudio de los animales en laboratorio, al considerar su poca validez ecológica, lo que hacen es llevar el estudio al propio entorno natural. Dos de los etólogos más destacados son Konrad **Lorenz** y Nikolaas **Tinbergen**.

Konrad Lorenz, el maestro de la observación, pensaba que uno no podía investigar eficazmente a los animales sin una comprensión intuitiva asentada en el amor y el respeto. Para Lorenz, esta visión intuitiva se aparta bastante de la metodología de las ciencias naturales. Conciliarla de manera fructífera con la investigación sistemática es el reto y el gozo del estudio de los animales. Lorenz abogó por la contemplación holística y nos exhortó a captar la totalidad del animal antes

de concentrarnos en sus diversas partes:

*“Uno no puede dominar las tareas de investigación prescritas si convierte una única parte en el foco de interés. En vez de eso, hay que saltar continuamente de una parte a otra (de un modo que algunos pensadores que sólo valoran las secuencias estrictamente lógicas encuentran extremadamente veleidoso y acientífico) y el conocimiento propio de cada una de las partes debe avanzar al mismo ritmo”*

La lección es que antes de someter a cualquier animal a alguna prueba, hay que conocer su comportamiento típico. Nadie duda del poder del condicionamiento conductista, pero los primeros investigadores ignoraron por completo una información crucial. En contra de la recomendación de Lorenz, no habían considerado el organismo en su totalidad. Los animales exhiben muchas respuestas no condicionadas, comportamientos que son propios de su especie. El premio y el castigo pueden afectar a tales comportamientos, pero no los crean.

El campo de la evolución cognitiva requiere que consideremos cada especie en su totalidad. Ya se trate de la anatomía de la mano, de la funcionalidad múltiple de la trompa, de la percepción de las caras o de los rituales de saludo, tenemos que familiarizarnos con todas las facetas del animal y su historia natural antes de intentar evaluar su nivel mental. Y en vez de estudiar en los animales habilidades en las que nosotros destacamos (atributos característicos de nuestra especie, como el lenguaje), ¿por qué no examinar las habilidades en las que están especializados?. No basta con aplanar la escala natural de Aristóteles: hay que transformarla en un árbol con muchas ramas. Este cambio de perspectiva está ya impulsando el reconocimiento tardío de que la vida inteligente no es algo que haya que buscar en los confines del espacio, con una gran inversión, sino que es algo que abunda aquí en nuestro planeta, y la tenemos delante de nuestras narices no prensiles

» Frente al antropomorfismo anecdótico, utilizaban las observaciones metódicas y sistemáticas, combinándolas con experimentos en el entorno natural. Es pues, un modo más científico y sistemático del estudio de los animales en el entorno natural.

» Frente a los conductistas, enfatizaban las diferencias entre especies y el hecho de que sus mentes evolucionan en respuesta a presiones específicas del entorno. Esto da lugar a distintos comportamientos y habilidades ecológicas que en muchos casos son innatos y no requieren de un aprendizaje. El conductismo se llamaba así por su fijación en la conducta y nada más, Los animales eran presentados como entes pasivos, mientras que lo que yo veía eran seres que perseguían objetivos y se esforzaban por lograrlos. Es verdad que modificaban su comportamiento en función de sus consecuencias, pero nunca actuaban de manera aleatoria o accidental de inicio. Un conductista radical podría afirmar las siguientes expresiones sin cavilar ante un perro que deja caer una pelota de su boca ante nosotros:

*“¿No pensaríamos que quiere jugar? ¡Qué ingenuidad! ¿Quién dice que los perros tienen deseos e intenciones?. Su comportamiento es producto de la ley del efecto, porque debe haber sido recompensado en el pasado. La mente del perro, si es que existe, sigue siendo una caja negra.”*

Sin embargo, si arrojamus una pelota a un cachorro, la perseguirá como un predador ansioso. Cuanto más aprende de su presa y sus tácticas de escape —o de su dueño y sus lanzamientos amagados—, mejor cazador o buscador se vuelve. Pero en la raíz de todo sigue estando su inmenso entusiasmo por la búsqueda, que lo lleva a meterse en los matorrales, en el agua y en ocasiones a atravesar una puerta de vidrio. Este entusiasmo se manifiesta antes de cualquier adiestramiento. Compárese ahora un perro con un conejo. No importa cuántas pelotas le lancemos, el conejo nunca aprenderá a ir a buscarlas. En ausencia de instinto depredador, aquí no hay nada que adquirir. Los conductistas despreciaban del todo estas proclividades naturales, olvi-

dando que cada especie establece sus propias oportunidades de aprendizaje, ya sea batiendo las alas, cavando agujeros, manipulando ramas, masticando comida, trepando a los árboles, etcétera. A menudo la recompensa tiene una importancia secundaria. El conductismo ignora la ecología, y apenas tiene sitio para el aprendizaje adaptado a las necesidades específicas de cada organismo. Y menos aún para la ausencia de aprendizaje.

La diferencia entre el conductismo y la etología siempre ha sido que el primero se interesaba por el comportamiento controlado y la segunda por el comportamiento natural. Los conductistas perseguían dictar el comportamiento colocando a los animales en entornos estériles donde apenas podían hacer otra cosa que no fuera lo que quería el experimentador. Las desviaciones se clasificaban como «*mal comportamiento*». Skinner empleaba un lenguaje de control y dominación. Hablaba de ingeniería y manipulación comportamental, y no se refería sólo a los animales. En un momento posterior de su vida se propuso convertir a la gente en ciudadanos felices, productivos y «*máximamente eficaces*». El condicionamiento operativo —que es un poderoso modificador del comportamiento— no tiene nada de malo, salvo si se considera que lo demás no cuenta. Los etólogos, por su parte, estaban más interesados en el comportamiento espontáneo. La palabra «*etología*», derivada del griego *ethos* (hábito), introducida por científicos franceses en el s. XVIII para referirse al estudio del comportamiento típico de las especies. En 1902, el gran naturalista norteamericano William Morton Wheeler popularizó el término aplicándolo al estudio de los «*hábitos e instintos*». Los etólogos hacían experimentos y no rechazaban el trabajo con animales cautivos, pero hay un mundo de diferencia entre Lorenz llamando a sus grajillas o seguido por una fila de patitos y Skinner frente a hileras de jaulas con una paloma en cada una, apretando su mano en torno a las alas de una de sus aves.

La etología adquirió su propio lenguaje especializado de instintos, pautas de acción fija, desencadenadores innatos, actividades de desplazamiento, etcétera. Sin entrar en los detalles de su marco clásico, se centraba en el comportamiento que se manifiesta de manera natural en todos los miembros de una especie dada. Una cuestión central era el propósito de dicho comportamiento. El primer gran arquitecto de la etología fue Lorenz, pero tras su encuentro con Tinbergen en 1936, fue este último quien pulió las ideas y concibió pruebas críticas. Tinbergen, que era más analítico y empírico, y tenía un ojo excelente para lo que había detrás del comportamiento observable, llevó a cabo experimentos de campo con las avispas excavadoras, los espinosos y las gaviotas para precisar las funciones del comportamiento

Lorenz argumentó que, en la medida en que las pautas de comportamiento son innatas, deben estar sujetas a las mismas leyes de selección natural que los rasgos físicos, y su afinidad debe poder trazarse de una especie a otra a través del árbol filogenético. Esto vale tanto para la costumbre de guardar los huevos en la boca de algunos peces como para las expresiones faciales de los primates. Dado que la musculatura facial de los chimpancés es casi idéntica a la humana, las carcajadas y sonrisas de ambas especies probablemente derivan de un ancestro común. El reconocimiento de este paralelismo entre anatomía y comportamiento, que hoy se da por sentado, fue un gran salto adelante. Ahora todos creemos en la evolución del comportamiento, lo que nos convierte a todos en lorenzianos. El papel de Tinbergen era, como dijo él mismo, ser la «*conciencia*» de la nueva disciplina, exigiendo formulaciones más precisas de sus teorías y concibiendo maneras de comprobarlas. Fue enormemente modesto al decir esto, porque en definitiva fue Tinbergen quien mejor formuló el programa de la etología y la convirtió en una ciencia respetable.



### Las cuatro preguntas de Tinbergen

A Tinbergen se le conoce hoy principalmente por sus cuatro porqués: cuatro preguntas obligadas diferentes, pero complementarias, acerca de cualquier comportamiento.

1. Mecanismo: ¿Cuáles son las causas del comportamiento?
2. Ontogenia: ¿Cómo se desarrolla el comportamiento con la edad?
3. Valor adaptativo: ¿Cuál es la función reproductiva y de supervivencia del comportamiento?
4. Filogenia: ¿Cómo evolucionó el comportamiento? ¿Qué otras especies lo comparten?

Pero ninguno de estos porqués menciona explícitamente la inteligencia o la cognición. Evitar cualquier mención de los estados internos quizá fuera esencial para una ciencia objetiva en ciernes, pero la consecuencia de esta omisión fue que la etología cerró temporalmente el libro de la cognición, y se centró en el valor de supervivencia del comportamiento, plantando así las semillas de la sociobiología, la psicología evolucionista y la ecología del comportamiento. Este enfoque sorteaba convenientemente la cognición. Tan pronto como se planteaban preguntas sobre la inteligencia o las emociones, los etólogos las reformulaban en términos funcionales. Por ejemplo, si un bonobo reacciona a los gritos de un congénere apresurándose a darle un fuerte abrazo, los etólogos clásicos se interrogarían antes que nada sobre la función de dicho comportamiento. Debatirían sobre a quién beneficia más, si al que abraza o al abrazado, sin preguntarse hasta qué punto los bonobos entienden las situaciones ajenas, o por qué las emociones de uno deberían afectar a las de otro. ¿Pueden mostrar empatía los antropoides? ¿Pueden los bonobos evaluar las necesidades mutuas? Las cuestiones cognitivas de esta clase incomodaban (y aún lo hacen) a muchos etólogos.

### Los estudios de campo hoy en día

- Tienen mayor validez ecológica que los estudios de laboratorio.
- Pueden combinar la observación con la experimentación
  - Ejemplo: para estudiar el comportamiento de monos vervet, se propuso esconder un altavoz en un arbusto, posibilitando la adaptación artificial del entorno natural a fin de posibilitar una experimentación concreta, como la de emitir llamadas de alerta sin que realmente existiera la amenaza de un depredador, y que derivó en la rápida escalada de los monos a las copas de los árboles cuando se emitía el grito de alerta por leopardo, o esconderse en arbustos bajos cuando se emitía el de alerta por águilas. Esto permitió inferir que existe cierta semántica en las llamadas de estos animales, sin que se trate de una mera expresión de un estado emocional.
- No obstante, los estudios de campo son muy costosos y difíciles de llevar a cabo. Además de la peligrosidad que pueden acarrear, bien por la propia peligrosidad del entorno natural, de las especies que allí viven, o de los riesgos sociopolíticos que puedan encontrarse en dicha ubicación (países en conflicto, restricciones de acceso e investigación,...)
- También es difícil interpretar sus resultados debido a la multitud de variables del entorno. A diferencia del laboratorio, no se puede tener mayor control sobre el modelo de estudio y sus variables, así como la dificultad de replicar un estudio en las mismas condiciones).

## A vueltas con la simplicidad y el Canon de Morgan

Uno de los primeros estudios de razonamiento inferencial fue llevado a cabo por los psicólogos norteamericanos David y Ann Premack. A una chimpancé llamada Sadie le presentaron dos cajas, una con una manzana y otra con un plátano. Tras unos minutos de distracción, Sadie veía a uno de los experimentadores comiendo un plátano. Luego el experimentador se iba y dejaban que Sadie inspeccionara las cajas. El animal se enfrentaba a un interesante dilema, ya que no había visto de dónde sacó el experimentador su plátano. Pues bien, Sadie siempre iba hacia la caja que contenía la manzana. Según los Premack esta preferencia no era reflejo ni de una preferencia alimentaria ni de un aprendizaje gradual. Sadie elegía la caja de la manzana a la primera, lo que sugiere que había sacado dos conclusiones: primero, que el experimentador sacó el plátano de la caja, aunque no lo hubiera visto, y segundo, que eso significaba que la otra caja aún contenía una manzana. Los Premack señalaron que la mayoría de los animales no hace tales suposiciones: simplemente ven a un experimentador comiendo un plátano, y nada más. Los chimpancés, en cambio, intentan averiguar el orden de los sucesos, buscando una lógica y llenando los vacíos.

Años más tarde, el primatólogo catalán Josep Call presentó a sus chimpancés dos botes tapados. Habían aprendido que sólo uno contendría uvas. Si Call quitaba las tapas y les dejaba mirar dentro, los animales escogían el bote con uvas. Luego dejaba los botes tapados y agitaba primero uno y luego el otro. Sólo el bote con uvas hacía ruido, y es el que elegían los chimpancés. Esto no era demasiado sorprendente, pero, para complicar las cosas Call agitaba sólo el bote vacío, que no hacía ruido. En este caso los animales elegían el otro, razonando por exclusión. De la ausencia de sonido inferían dónde debían estar las uvas. Puede que esto tampoco nos impresione, porque damos por sentadas tales inferencias, pero no son en absoluto obvias. Los perros, por ejemplo, suspenden esta prueba. Los antropoides se diferencian en que buscan conexiones lógicas basadas en cómo creen que funciona el mundo.

Aquí la cosa se pone interesante, porque, ¿no se suponía que debíamos buscar la explicación más simple posible? Si los animales de cerebro grande como los antropoides intentan captar la lógica detrás de los sucesos, ¿podría ser éste el nivel más simple en el que operan? Esto recuerda la cláusula del canon de Morgan que permite premisas más complejas con especies más inteligentes. Podemos aplicar esta regla a nosotros mismos: intentamos entender las cosas aplicando nuestro poder de razonamiento a todo lo que nos rodea. Incluso inventamos causas si no encontramos ninguna, lo que conduce a creencias sobrenaturales y supersticiones estrafalarias, como llevar la misma camiseta una y otra vez porque da suerte, o cuando se atribuye un desastre a la mano de Dios. Somos tan lógicos que no podemos soportar la ausencia de causalidad.

Evidentemente, el concepto «simple» no es tan simple como suena. Tiene un significado diferente según la especie, lo que complica la eterna batalla entre escépticos y cognitivistas. Por añadidura, a menudo nos enredamos en discusiones semánticas que no merecen el acaloramiento que generan. Un científico argumenta que los monos entienden el peligro que representa un leopardo, mientras que otro dirá que los monos simplemente han aprendido de la experiencia de que los leopardos a veces matan a miembros de su especie. En realidad, ambos enunciados no son tan diferentes, aunque el primero emplea el lenguaje de la comprensión y el segundo el del aprendizaje. Por fortuna, con el declive del conductismo, los debates sobre estas cuestiones han perdido ferocidad. Al atribuir todo el comportamiento a un único mecanismo de aprendizaje, el conductismo preparó su propia caída. Su excesivo dogmatismo lo convirtió en algo más parecido a una religión que a un enfoque científico. A los etólogos les encantaba vapulearlo, diciendo que en vez de domesticar ratas para amoldarlas a un paradigma experimental particular, los conductistas deberían haber hecho justo lo contrario. Deberían haber ideado paradigmas que se adecuaran a animales «reales».

## Unificando la disciplina

El contragolpe de esta crítica vino en 1953, cuando Daniel Lehrman, un psicólogo comparativo norteamericano, atacó duramente la etología. Lehrman objetaba que las definiciones de «innato» eran demasiado simplistas, y que incluso el comportamiento típico de una especie se desarrolla a través de una historia de interacción con el entorno. Los etólogos se sintieron escocidos y consternados por esta crítica inesperada, pero una vez recuperados de su «ataque de adrenalina» (en palabras de Tinbergen) descubrieron que Lehrman apenas encajaba en el estereotipo del coco conductista (conocía y respetaba a los animales).

La acerba crítica de Lehrman y el subsiguiente encuentro entre psicólogos comparativos y etólogos puso en marcha un proceso de entendimiento y respeto mutuo. Tinbergen en particular reconoció la influencia de Lehrman en su pensamiento posterior. Por lo visto, necesitaron una trifulca para iniciar un acercamiento que se vio acelerado por la crítica interna creciente en ambos bandos. Dentro de la etología, la generación más joven recelaba de la rigidez de los conceptos lorenzianos de impulso e instinto, mientras que la psicología comparada tenía una tradición aún más larga de contestación a su propio paradigma dominante. Ya en los años treinta se propusieron enfoques cognitivos. Pero, irónicamente, el golpe más duro contra el conductismo vino desde dentro. Todo empezó con un experimento de aprendizaje simple en ratas. el psicólogo norteamericano John García afirmó que había encontrado un caso que quebrantaba todas las reglas: a las ratas les basta con una mala experiencia para rehusar la comida envenenada, aunque pasen horas entre la ingestión del veneno y la consiguiente náusea. Además, la secuela negativa tenía que ser la náusea (una descarga eléctrica no tenía el mismo efecto). Puesto que la nutrición tóxica hace efecto lentamente y nos pone enfermos, nada de esto era especialmente sorprendente desde el punto de vista biológico. Parece un mecanismo altamente adaptativo para evitar la comida tóxica. Para la teoría del aprendizaje estándar, sin embargo, este hallazgo cayó como un jarro de agua fría, porque siempre se había dado por sentado que el intervalo de tiempo debía ser corto, y que el tipo de castigo era irrelevante. Aquella revelación era tan devastadora que García tuvo muchos problemas para publicar sus nada bienvenidas conclusiones. Un imaginativo revisor objetó que sus datos eran menos probables que encontrar caca de pájaro en un reloj de cuco. Ahora el «efecto García» es algo aceptado. Quién no recuerda un alimento que le ha intoxicado tanto que le dan náuseas sólo de pensarlo, o ha hecho que no vuelva a pisar cierto restaurante.

Conviene tener presente que el comportamiento humano solía verse (y sigue viéndose) como el producto de la reflexión, como puede ser un análisis de causa y efecto, mientras que el comportamiento animal se suponía libre de tales procesos, y los científicos no estaban dispuestos a equipararlos. Pero la reflexión humana siempre ha estado sobredimensionada, y ahora sospechamos que nuestra reacción a las intoxicaciones alimentarias es de hecho muy similar a la de las ratas. La psicología comparada se vio forzada a admitir que la evolución adapta los mecanismos cognitivos a las necesidades del organismo, lo que a veces se conoce como «aprendizaje biológicamente preparado». Obviamente, esta constatación contribuyó al acercamiento entre la psicología comparada y la etología.

En la actualidad, el campo de la evolución cognitiva es una fusión de dos escuelas que toma lo mejor de cada cual. Aplica la metodología de los experimentos controlados de la psicología comparada, combinada con las pruebas a ciegas que tan bien funcionaron con Hans el Listo, a la vez que adopta el rico marco evolutivo y las técnicas de observación de la etología. A muchos científicos jóvenes les trae sin cuidado si los llamamos psicólogos comparativos o etólogos, ya que su especialidad integra conceptos y técnicas de ambos campos.

La animosidad inicial entre enfoques divergentes puede superarse si nos damos cuenta de que cada uno tiene algo que ofrecer que le falta al otro. Podemos entretejerlos en una nueva totalidad

que es más poderosa que la suma de las partes. La fusión de enfoques complementarios es lo que convierte la evolución cognitiva en el prometedor campo que es hoy. Pero, lamentablemente, llegar hasta aquí nos ha llevado un siglo de malentendidos y colisiones de egos.

## Nuevos métodos en el estudio de la mente animal

Existen nuevos métodos de estudio de la mente animal:

- Uso de técnicas de neuroimagen.
- Uso de modelos matemáticos.
- Colaboraciones a gran escala entre distintos grupos de investigación.



## Sesgos y problemas en el estudio de la mente animal

El estudio de la mente animal da lugar a una serie de sesgos, que son consecuencia principal de la tentación que existe de interpretar la mente animal en términos de la psicología popular:

**Psicología popular:** La práctica de sentido común de describir el comportamiento de otros en términos de estados mentales subyacentes (creencias, deseos...), así como por la influencia de estados de ánimo, personalidad, situación personal, etc.

Se trata de una práctica poco metódica y científica, pues al tratar de explicar el comportamiento de los animales utilizando los términos de nuestra psicología popular (la que llevamos a cabo en el día a día), nos encontramos en un caso de traducción radical (Quine 1960).

*Ejemplo:* si nos encontramos frente a una persona de otra cultura y que, señalando a un conejo, pronuncia la palabra “gavagai”, nuestra primera interpretación probablemente sea asociar a “gavagai” el significado de la palabra conejo. Pero a lo mejor (y lo más probable) significa “conejo corriendo” o “partes de conejo juntas”, o cualquier otra cosa que no necesariamente ha de hacer referencia a la asociación de ideas que hemos llevado a cabo.

La traducción radical como consecuencia de uso de la psicología popular al analizar el estudio de la mente animal da lugar una serie de problemas:

### Niveles de explicación (Marr 1982)

Cuando estamos tratando de explicar el comportamiento de algo, existen distintos niveles de explicación. Por ejemplo, en biología, incluso el materialista más acérrimo acepta que existe algo relevante que decir a nivel celular, de organismos o de especies, que no puede ser reducido de modo radical al nivel de átomos y fuerzas nucleares; a la vez que no dudamos que en cierto modo el estudio de la física y la química proporciona los ingredientes que necesita la biología para dar cuenta de sus estudios y resultados. Es decir, existen distintos niveles de explicación.

En relación al estudio de la conducta podemos referirnos a los siguientes niveles:

- **Nivel computacional:** ¿cuál es el objetivo del sistema?
- **Nivel algorítmico:** ¿qué función logra el objetivo del sistema?
- **Nivel de la implementación:** ¿cuál es la organización física del sistema?

A modo de ejemplo, cuando alguien retira la mano de una sartén caliente podemos tener las siguientes explicaciones posibles:



Nivel computacional:  
Previene el daño de los tejidos.

Nivel algorítmico:  
Retira el brazo porque le duele.

Nivel de la implementación:  
Neurofisiología del dolor.

Estos tres niveles darían cuenta del comportamiento, lo que demuestra que no siempre nos estamos moviendo en el mismo nivel, lo que ocurre en ocasiones cuando distintos investigadores dan explicaciones distintas que no es que sean contradictorias, sino que operan a distinto nivel.

### ¿Explicaciones pseudocientíficas?

Churchland (1981) defendió que debemos abandonar por completo la psicología popular, al ser un conjunto de conceptos no científicos.

Fodor (1987) y muchos otros han defendido que la psicología popular es ineliminable.

- Los conceptos de la psicología popular han permitido realizar grandes avances en las ciencias cognitivas y la neurociencia.
- Si consideramos estos conceptos como pseudocientíficos, ¿dónde ponemos la raya?. ¿Son el hambre o el miedo también conceptos pseudocientíficos?

### Antropomorfismo

Consiste en la atribución (errónea) de propiedades típicamente humanas a los animales (propiedades que éstos no tienen). Así, podemos hablar de que el dios cristiano es un dios antropomórfico, o las famosas caras de Bélmez son figuras antropomórficas (o así al menos han querido ser interpretadas).

Algunos escépticos categóricos quieren eliminar por completo el uso de la psicología popular en la descripción del comportamiento de los animales para no caer en el antropomorfismo (como en el caso del antropomorfismo anecdótico de Romanes).

Otros son escépticos situacionales (solo algunas atribuciones son problemáticas).

La preocupación por el antropomorfismo revela un miedo a un sesgo que nos lleva a atribuir erróneamente estados mentales a los animales. Del mismo modo que los humanos tendemos a ver caras donde no las hay (y además ofrecer explicaciones implausibles de ello), tenemos también la tendencia de explicar todo en términos mentales (como cuando se estropea algo y aludimos que “vaya, hoy no quiere arrancar”, como si tuviese una capacidad volitiva de hacer o no tal cosa).

Pero algunos humanos parecen tener el sesgo opuesto, negándose categóricamente a aceptar que el resto de animales presenten este tipo de atribuciones propias de los estados mentales o de la psicología popular.

## Otros sesgos a evitar fruto de nuestra condición de humanos

Además del antropomorfismo que acabamos de ver, tenemos otra serie de sesgos que podríamos decir se derivan del **principio antrópico**, según el cual el universo es una creación deliberada para albergar la vida inteligente, o sea nosotros. A veces el discurso suena como si el mundo estuviera hecho a nuestra medida y no al revés: la Tierra se sitúa a la distancia justa del Sol para estar a la temperatura adecuada para la vida humana, y su atmósfera tiene la concentración de oxígeno ideal. ¡Qué conveniente!. En vez de querer ver un propósito en esto, cualquier biólogo invertiría la flecha causal. Nuestra especie está primorosamente adaptada a las circunstancias planetarias, lo que explica por qué son perfectas para nosotros.

Tendría más sentido trasladar el peso de la prueba a la otra parte, y que sean los que quieren evitar la terminología antropomórfica los que demuestren que un mono riéndose hasta casi ahogarse con sus jadeos está en un estado mental diferente del de un niño humano al hacerle cosquillas. A falta de pruebas en contra, “risa” es la etiqueta obvia para ambos comportamientos.

Estos sesgos son frecuentemente recogidos dentro de la literatura filosófica concerniente a la psicología comparada, pero en ocasiones ignorados o no contemplados por parte de esta última:

- La **antropectomía** (o antroponegación): consiste en negar erróneamente que los animales tengan una propiedad típicamente humana. Por ejemplo, el afirmar que sólo los humanos poseen habilidades lingüísticas cuando otras especies también las poseen.

Se ha considerado tradicionalmente un error menos grave. Pero consiste también en una descripción errónea de la realidad, por lo que ha de ser evitado. Sería como el otro lado de la moneda del antropomorfismo.

La relación entre antropomorfismo y antropectomía es la siguiente: cuanto más cercana a nosotros sea una especie, más contribuirá el antropomorfismo a su comprensión y mayor será el perjuicio de la antropectomía. Y viceversa, cuanto mayor sea la distancia entre una especie y nosotros, mayor será el riesgo de que el antropomorfismo sugiera similitudes que tienen un origen independiente. Por ejemplo, cuando decimos que las hormigas tienen «reinas», «soldados» y «esclavas» estamos empleando etiquetas antropomórficas que no tienen más significado que ponerle un nombre de persona a un huracán o maldecir a nuestro ordenador como si tuviera vida propia.

Antropoides y humanos no han tenido tiempo evolutivo de adquirir comportamientos tan llamativamente similares como tocar con los labios a otro al saludarse o jadear ruidosamente en respuesta al cosquilleo. Deberíamos reconocer la conexión evolutiva obvia entre estos comportamientos.

- El **antropocentrismo**: consiste en tomar al ser humano como medida de todas las cosas (el ombligo del mundo). Por ejemplo, afirmar que solo los animales con una estructura neurológica similar a la nuestra sienten dolor. Hay quien niega que los peces e insectos, al carecer de neocórtex (que es donde en los mamíferos se implementa el dolor a nivel neurológico), tengan la capacidad de sentir dolor.

Constituye una petición de principio (presuponiendo aquello que queremos investigar) e ignora que distintas capacidades pueden manifestarse de distintas maneras y surgir de estructuras neurofisiológicas dispares (por ejemplo, el desarrollo evolutivo del pulpo -al cual se le atribuyen capacidades cognitivas bastante avanzadas- y el nuestro presenta claras diferencias, cuando en ambos casos se puede trazar dicho desarrollo hasta la estrella de mar, el cual presenta una configuración muy simple, mostrando desarrollos psicológicos muy diferentes pero asimilables.

-

Una forma de ilustrar cómo se manifiesta este antropocentrismo es la **prueba del autorreconocimiento en espejos**. Este “test del espejo” se usa para tratar de determinar si los animales tienen la capacidad de reconocerse a sí mismos, lo que supuestamente evidenciaría una forma de autoconsciencia.

- Desarrollada originalmente por Gallup (1970)
- Metodología:
  1. Se habitúa a un animal a un espejo.
  2. Se anestesia al animal y se le coloca una mancha con pintura inodora en una parte del cuerpo solo accesible visualmente con el espejo (por ejemplo la frente).
  3. Se estudia el comportamiento del animal.
- Resultados:
  - Algunas especies no sorprendentes pasan el test: delfines, elefantes, chimpancés.
  - Algunas especies sorprendentes lo fallan: perros, gorilas.
  - Algunas especies sorprendentes lo superan: mantas raya, pez limpiador, caballos
- Este test, que inicialmente se consideraba muy ingenioso, presenta unos problemas metodológicos considerables:
  - Problema de la motivación: no a todos los animales les importa su aspecto visual.
  - Problema de los sentidos: los perros pasan un test análogo basado en el olfato.
  - Problema del cuerpo: algunos animales carecen de miembros para tocar la marca
  - Problema social: para los gorilas es aversivo mantener contacto visual, pudiendo no sentirse a gusto mirando su propia imagen por demasiado tiempo.

Pese a todo esto, se sigue considerando este test como la prueba de oro en el estudio de la autoconsciencia animal, por lo que el problema principal del test del espejo se encuentra en plantear el mismo desde un punto de vista antropocéntrico, asumiendo que el comportamiento de los animales ante la anomalía reflejada hubiera de ser análogo al que experimentaría un ser humano.

- La **antropofabulación**: consiste en utilizar una visión exagerada o errónea del comportamiento o la cognición humanos como medida para estudiar la mente animal (una mezcla de antropocentrismo y confabulación). Por ejemplo, afirmar que un animal tiene memoria episódica solo si, como los humanos, es capaz de revivir fiablemente episodios de su vida en su cabeza. (Exagerado porque nuestra memoria no es así de fiable).

La vara de medir, además de antropocéntrica, es injusta, pues le exigimos al animal mucho más de lo que nos exigiríamos a nosotros mismos.

## **Conclusiones**

- Hay tres grandes métodos de estudio de la mente animal y todos tienen sus ventajas y desventajas.
- El Canon de Morgan, que a menudo se utiliza como un principio dogmático, genera muchos problemas filosóficos.
- La psicología comparada pone énfasis en evitar el antropomorfismo, pero la antropectomía, el antropocentrismo y la antropofabulación son igualmente problemáticos.



# Referencias bibliográficas

## Tema 1: El naturalismo científico y la "Filosofía de las ciencias"

ARMERO, Julio:

- (1999) "*Naturalización y relativismo epistemológicos*". Éndoxa: series filosóficas, núm. 11, pp. 81-100. UNED, Madrid
  - [http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:Endoxa-19998AFD4824-2A85-945F-95AE-4D853DC1CCF5/naturalizacion\\_relativismo.pdf](http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:Endoxa-19998AFD4824-2A85-945F-95AE-4D853DC1CCF5/naturalizacion_relativismo.pdf)

DELGADO, Mónica; VALLVERDÚ, Jordi:

- (2007) "*Valores en controversias: la investigación con células madre*". Revista iberoamericana de ciencia, tecnología y sociedad, Vol. 3, núm. 9, pp. 9-31
  - <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2378613.pdf>

DIÉGUEZ, Antonio:

- (2021) "*Naturalismo: ciencia y filosofía*" (Conferencia)
  - <https://www.youtube.com/watch?v=fNJESUKifHU>

MONSÓ, Susana

- (2024) "*El naturalismo científico y la "Filosofía de las Ciencias"*"
  - [https://www.intecca.uned.es/portal/grabacion?ID\\_Sala=402778&ID\\_Grabacion=765622&hashData=f541abacbbb143122ba9-d6424278e6ad&paramsToCheck=SURfR3JhYmFjaW9uLEIEX1NhbGEs](https://www.intecca.uned.es/portal/grabacion?ID_Sala=402778&ID_Grabacion=765622&hashData=f541abacbbb143122ba9-d6424278e6ad&paramsToCheck=SURfR3JhYmFjaW9uLEIEX1NhbGEs)

GUILLAUMIN, Godfrey:

- (2008) "*El naturalismo normativo y sus problemas (normativos)*"
  - <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=34311599005>

OLIVÉ, León:

- (2004) "*Normas y valores en la ciencia bajo un enfoque naturalizado*". Revista de filosofía, vol 29, núm. 2, pp. 43-58
  - <https://revistas.ucm.es/index.php/RESF/article/view/RESF0404220043A/9594>

SOBER, Elliott:

- (2011) "*Why Methodological Naturalism?*" In G. Auletta, M. LeClerc, and R. Martinez (eds.), Biological Evolution: Facts and Theories: A Critical Appraisal 150 Years after The Origin of Species, Rome: Gregorian Biblical Press, pp. 359-378.
  - [https://drive.google.com/file/d/1H8glv0AHcoR-6C27WtUZ3mv7Uzb\\_elUt/view?usp=share\\_link](https://drive.google.com/file/d/1H8glv0AHcoR-6C27WtUZ3mv7Uzb_elUt/view?usp=share_link)

ZAMORA Bonilla, Jesús:

- (2000) "*El naturalismo científico de Ronald Giere y Philip Kitcher – Un ensayo de comparación crítica*". Revista de filosofía, 3ª época, vol XIII, núm. 24, pp. 169-190. Servicio de Publicaciones, Universidad Complutense. Madrid
  - <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=19735&orden=1&info=link>

## Tema 2: Filosofía de la Física

DIÉGUEZ, Antonio:

- (1996) *"Realismo y teoría cuántica"*. Contrastes: Revista Interdisciplinar de Filosofía vol 1. pp 75-105
  - <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=190405>

EINSTEIN, Albert; PODOLSKY, B; ROSEN, N.

- (1935) *"Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?"*. Physical Review, VOL 47
  - <https://journals.aps.org/pr/pdf/10.1103/PhysRev.47.777>

MARTÍNEZ, Sergio

- (1991) *"El azar en la mecánica cuántica"*. CRITICA, revista hispanoamericana de filosofía, VOL XXIII núm 69. pp 137-154
  - <https://www.filosoficas.unam.mx/~sfmar/publicaciones/Martinez%201991%20El%20azar%20en%20la%20mecanica%20cuantica%20de%20Bohr%20a%20Bell.pdf>
- (1992) *"¿Qué es una ley irreductiblemente estadística?"*. Theoria – segunda época. VOL VII.B, pp 715-728
  - <https://www.filosoficas.unam.mx/~sfmar/publicaciones/Ley%20irreductiblemente%20estadistica%20Theoria%20Vol%207%201992.pdf>

MONSÓ, Susana

- (2024) *"Filosofía de la Física"*
  - [https://www.intecca.uned.es/portal/grabacion?ID\\_Sala=358033&ID\\_Grabacion=648635&hashData=6158f0dd812f1d53-f29419189507f5cf&paramsToCheck=SURfR3JhYmFjaW9uLEIEX1NhbGEs](https://www.intecca.uned.es/portal/grabacion?ID_Sala=358033&ID_Grabacion=648635&hashData=6158f0dd812f1d53-f29419189507f5cf&paramsToCheck=SURfR3JhYmFjaW9uLEIEX1NhbGEs)

RIOJA, Ana

- (1989) *"Einstein: el ideal de una ciencia sin sujeto"*. Revista de filosofía, ISSN-e 1988-284X, ISSN 0034-8244, Nº 2, 1989, págs. 87-108
  - <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=900141&orden=1&info=link>
- (1995) *"Los orígenes del principio de indeterminación"*. Theoria: An International Journal for Theory, History and Foundations of Science, 2ª época, Vol. 10, No. 22, pp. 117-143. : University of the Basque Country (UPV/EHU)
  - <http://www.jstor.org/stable/23915474>

TOMÉ, César

- (2013) *"Incompletitud y medida en física cuántica"*. Cuaderno de Cultura Científica de la Universidad del País Vasco
  - <https://culturacientifica.com/series/incompletitud-y-medida-en-fisica-cuantica/>

VICENTE, Agustín

- (2001) *"El principio del cierre causal del mundo físico"*. Crítica: revista hispanoamericana de filosofía, ISSN 0011-1503, Vol. 33, Nº. 99, 2001, pp. 3-17
  - <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=307772>

## Tema 3: Filosofía de la Biología

AYALA, Francisco J.

- (2006) *“La biología como una ciencia autónoma”*. (“La evolución de un evolucionista” - Cap 1)

DAWKINS, Richard

- (1989) *“El gen egoísta”*

DIÉGUEZ, Antonio

- (2008) *“¿Es la vida un género natural? Dificultades para lograr una definición del concepto de vida”*, ArtefaCToS, vol. 1, n.º 1, noviembre 2008
  - <https://revistas.usal.es/cinco/index.php/artefactos/article/view/17>

MONSÓ, Susana

- (2024) *“Filosofía de la Biología”*
  - [https://www.intecca.uned.es/portal/grabacion?ID\\_Sala=358033&ID\\_Grabacion=648652&hashData=c3d203f4ee577485e4f50d6-fdb316bf6&paramsToCheck=SURfR3JhYmFjaW9uLElEX1NhGEs](https://www.intecca.uned.es/portal/grabacion?ID_Sala=358033&ID_Grabacion=648652&hashData=c3d203f4ee577485e4f50d6-fdb316bf6&paramsToCheck=SURfR3JhYmFjaW9uLElEX1NhGEs)

TORRETI, Roberto

- (2010) *“La proliferación de los conceptos de especie en la biología evolucionista”*. THEORIA 69 (2010): 325-377
  - <https://ojs.ehu.eus/index.php/THEORIA/article/view/787/702>

## Tema 4: Filosofía de la Psicología Comparada

DE WAAL, FRANS

- (2016) *“¿Tenemos suficiente inteligencia para entender la inteligencia de los animales?”*

MONSÓ, Susana

- (2022) *“La zarigüeya de Schrödinger”*
- (2024) *“Filosofía de la Psicología Comparada”*
  - [https://www.intecca.uned.es/portal/grabacion?ID\\_Sala=358033&ID\\_Grabacion=648652&hashData=c3d203f4ee577485e4f50d6-fdb316bf6&paramsToCheck=SURfR3JhYmFjaW9uLElEX1NhGEs](https://www.intecca.uned.es/portal/grabacion?ID_Sala=358033&ID_Grabacion=648652&hashData=c3d203f4ee577485e4f50d6-fdb316bf6&paramsToCheck=SURfR3JhYmFjaW9uLElEX1NhGEs)

## Bibliografía general

DIÉGUEZ, Antonio:

- (2020) *“Filosofía de la ciencia”*

DÍEZ, José A.; MOULINES, C. Ulises:

- (1997) *“Fundamentos de Filosofía de la Ciencia”*