

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA, UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA,  
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID, UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA, UNIVERSIDADE  
DA CORUÑA, UNIVERSITAT DE VALÈNCIA (ESTUDI GENERAL) Y CONSEJO  
SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



VNIVERSITAT  
DE VALÈNCIA



# La controversia sobre el determinismo en la física

## Una controversia sobre estilos

Tesis doctoral presentada por

Olga Lucía Varela Machado

dentro del

Programa de Doctorado en Lógica y Filosofía de la Ciencia

Dirigida por

Drs. Jesús Alcolea Banegas, Juan de Dios Bares Partal y

Vicente Manuel Claramonte Sanz

Valencia, junio de 2022





VNIVERSITAT ID VALÈNCIA  
Facultat de Filosofia i Ciències de l'Educació  
Departament de Filosofia

**AUTORIZACIÓN DE DIRECTORES  
DEPÓSITO DE TESIS DOCTORAL**

Nombre Doctoranda	OLGA LUCÍA VARELA MACHADO
NIF/NIE/Pasaporte	X8186810Y
Título de la Tesis	LA CONTROVERSIA SOBRE EL DETERMINISMO EN LA FÍSICA. UNA CONTROVERSIA SOBRE ESTILOS

**AUTORIZACION DEL DIRECTORES DE LA TESIS**

El Dr. JESUS ALCOLEA BANEGAS, como codirector y tutor de la tesis, y los Drs. JUANDE DIOS BARES PARTAL y VICENTE MANUEL CLARAMONTE SANZ, como codirectores de la tesis, en el Programa de Doctorado interuniversitario en Lógica y Filosofía de la Ciencia,

**AUTORIZAN** el depósito y la presentación de la tesis arriba mencionada para su defensa ante el tribunal correspondiente de acuerdo con lo establecido en la Normativa de Estudios de Doctorado de la Universitat de València.

Valencia, a 1 de julio de 2022

Los directores y tutor,

Fdo. Jesús Alcolea Banegas. Fdo. Juan de Dios Bares Partal. Fdo. Vicente M. Claramonte Sanz



## Agradecimientos

La primera línea de mis agradecimientos quiero dedicársela al maestro Alonso Sepúlveda, pues este trabajo no es más que una continuación de nuestras conversaciones. Quiero agradecer también a mis directores, por sus diligentes indicaciones y su incondicional apoyo. A la Dra. Olimpia Lombardi por su dedicación durante mi estancia de investigación de movilidad internacional, financiada por la Universitat de València y llevada a cabo en la Universidad de Buenos Aires, así como a su Grupo de Investigación en Filosofía de la Ciencia por las discusiones y correcciones.

También quiero dar las gracias a Boris Ángel Rodríguez, por su ayuda desinteresada y sus orientaciones. A Guillermo Pineda, Juan Pablo Restrepo, Fabiola Gómez, Jhony Castrillón, y todos los amigos físicos quienes, con generosidad y apertura, siempre estuvieron dispuestos al debate. A Juliana Gutiérrez, para quien todo agradecimiento se queda corto, pues fue mi gran compañera en la recta final de este trabajo. Un agradecimiento muy especial al Grupo Interuniversitario de Controversias Científicas, pues fueron claves en la discusión, corrección y construcción de los diferentes artículos, especialmente a Manuela Fernández Pinto y Álvaro Corral Cuartas, los editores del número especial sobre Controversias Científicas para la revista Ideas y Valores. Adicionalmente, quiero darle las gracias a Johman Carvajal de la Universidad Pontificia Bolivariana, y a mis compañeros Carlos González y Andrés Areiza, con quienes también compartí proyectos y discusiones.

Finalmente quiero agradecer a Juan, mi mejor socio en todo proyecto, porque con su apoyo y paciencia allanó el camino hacia la meta. A mi familia, pues su presencia silenciosa, pero constante, es siempre un motivo para continuar. A todos mis amigos, colegas y estudiantes, que me han dado mucho más de lo que se pueden imaginar.

# Contenido

I. Resumen.....	3
1. Preámbulo.....	5
2. Controversias científicas y espacios controversiales .....	8
2.1 Controversias científicas:.....	8
2.2 Espacios controversiales.....	10
3. Estilos de razonamiento y la controversia sobre el estilo estadístico en la física .....	16
3.1 Generalidades sobre los estilos.....	16
3.2 El estilo estadístico:.....	18
4. Bibliografía.....	22
II. Artículos .....	27
ARTÍCULO 1: .....	27
Desbloqueo conceptual de la controversia sobre el determinismo durante la segunda mitad del siglo XIX.....	27
1. Introducción.....	28
2. Marco teórico: espacios controversiales y estilos de razonamiento .....	30
3. El núcleo del espacio controversial: el concepto de determinismo .....	33

4. La controversia sobre el determinismo entre los siglos XVII y XVIII .....	37
5. Bloqueo conceptual de la controversia durante el siglo XIX .	39
6. El desbloqueo conceptual de la controversia: la irrupción de la estadística a finales del siglo XIX.....	42
7. Conclusiones: indeterminismo epistémico en el marco de un determinismo ontológico .....	51
Bibliografía.....	52
<b>ARTÍCULO 2:</b> .....	<b>57</b>
<b>La controversia sobre el determinismo en la física durante la primera mitad del siglo XX.....</b>	<b>57</b>
1. Introducción .....	58
2. Espacios controversiales y estilos de razonamiento .....	60
3. Antecedentes: el determinismo durante la segunda mitad del siglo XIX.....	62
4. La controversia sobre el determinismo en el nacimiento de la mecánica cuántica.....	63
5. La interpretación de Copenhague y el indeterminismo .....	71
6. El lento camino hacia un nuevo desbloqueo .....	80
7. Conclusiones .....	82
Bibliografía.....	83
<b>ARTÍCULO 3:</b> .....	<b>87</b>
<b>Estilos y estratos para el estudio de controversias científicas .....</b>	<b>87</b>
1. Introducción .....	88
2. Controversias sobre estilos.....	91

3. Estilos de razonamiento como condiciones estratificadas de posibilidad .....	96
4. Controversia cuántica: una controversia sobre el estilo estadístico en la física .....	104
5. Conclusiones .....	110
Bibliografía.....	111
<b>III. Conclusiones .....</b>	<b>117</b>
Conclusiones y proyecciones.....	117

# I

## Resumen



---

El determinismo en sus diferentes acepciones fue un tema de recurrente discusión en las diferentes comunidades científicas a lo largo de los siglos XIX y XX. Para la física en particular, esta discusión se introduce con la aparición de las primeras leyes estadísticas durante la segunda mitad del siglo XIX y se prolonga hasta la actualidad. Dada la vigencia de este tema, considero que su análisis desde diferentes perspectivas es importante. Por este motivo, presento a continuación una serie de artículos que proponen una mirada de esta controversia a partir de la articulación de varias herramientas conceptuales: los espacios controversiales de Oscar Nudler, los estilos de razonamiento de Ian Hacking y, finalmente, las controversias sobre estilos que introduzco y desarrollo junto con Juliana Gutierrez. Estos tres elementos fueron útiles para mostrar que la controversia sobre el determinismo en la física se transforma constantemente durante la segunda mitad del siglo XIX y la primera mitad del siglo XX, cambiando los compromisos ontológicos de los actores en relación con el momento histórico y con los diferentes desarrollos introducidos en la disciplina.

El punto de partida común a los tres artículos que aquí presento puede vincularse con dos hipótesis que, aunque no son necesariamente explícitas, atraviesan toda esta investigación. La primera es que existen algunos temas de discusión en la ciencia que son recurrentes, aparecen y desaparecen en diferentes etapas del desarrollo científico, posicionadas en sociedades y contextos tan diversos como distantes en el tiempo. ¿Cómo pueden estudiarse este tipo de recurrencias? Esta pregunta no se resuelve aquí, y no sé si pueda responderse. Sin embargo, encontré algunas pistas –entre ellas los estilos de razonamiento y los espacios controversiales–. Aunque sigue siendo solo una hipótesis, permanece en el trasfondo de este análisis y queda matizada haciendo énfasis en la posibilidad de identificar controversias cuya fuente de conflicto subyace en algunas presuposiciones que están implícitas para la comunidad científica. Hasta que estas presuposiciones no se desvelan, no puede haber un camino a la resolución de estos conflictos; de otro modo, este tipo de discusiones suelen tildarse de filosóficas y son dejadas de lado por la comunidad científica después de un tiempo.

La segunda hipótesis de fondo es que la controversia cuántica es un conglomerado de discusiones. Estas discusiones pueden diferenciarse hasta cierto

punto, pero la evolución de cada tema influye en el desarrollo de los demás desacuerdos, por lo que deben estudiarse de forma sistemática. Esta hipótesis es más explícita que la anterior y pude sostenerla gracias al modelo de los espacios controversiales de Nudler. Sin embargo, desarrollar cabalmente un espacio controversial requeriría la participación de muchos expertos que puedan hacer la cartografía completa de cada una de las discusiones presentes. En su defecto, me centro solamente en el tema de interés –el determinismo– e intento mostrar las relaciones e influencias con los demás temas presentes. Esto es positivo desde otro punto de vista porque deja muchos temas abiertos con los cuales se pueden desarrollar nuevas investigaciones.

Esta tesis está estructurada en tres apartados: I. Resumen, II. Anexos y III. Conclusiones y proyecciones. Con esto en mente, presentaré como parte de este resumen un breve preámbulo a modo de biografía, en el que muestro un poco el “detrás de escena” del desarrollo de los artículos de esta tesis. Estas reflexiones previas me permitirán mostrar algunas cosas que no son visibles en los artículos y que facilitarán a los lectores conocer un poco mejor el proceso de construcción de las publicaciones. Luego haré una presentación de las herramientas conceptuales que articulan esta tesis, haciendo énfasis en los elementos que no fueron desarrollados en profundidad en los artículos, pero que considero pueden aportar a una lectura más completa. En la segunda parte (Artículos) recojo tres publicaciones:

1. "Desbloqueo conceptual de la controversia sobre el determinismo durante la segunda mitad del siglo XIX." *Crítica. Revista Hispanoamericana de Filosofía* 52.156 (2020): 87-114.
2. "La controversia sobre el determinismo en la física durante la primera mitad del siglo XX." Aprobado para publicación en: *Ideas y Valores*, Volumen 71, Número Especial 8: "Controversias Científicas". Programado para el 15 de noviembre del año 2022.
3. "Estilos y estratos para el estudio de controversias científicas." *Ideas y Valores* Aprobado para publicación en: *Ideas y Valores*, Volumen 71, Número Especial 8: "Controversias Científicas". Programado para el 15 de noviembre del año 2022.

Finalmente, presento de forma muy global algunas conclusiones y proyecciones que pretenden dar un poco de perspectiva a las reflexiones aquí presentadas.

# 1. Preámbulo

Quiero presentar a continuación parte del proceso de construcción de los artículos que sirven de respaldo a mi proceso doctoral. Para hacerlo, voy a mostrar algunos de los presupuestos de los que partí y que, por diversas razones, fueron cambiando. También quiero presentar algunas hipótesis que no son explícitas en los artículos, pero que, de alguna forma, orientaron mi trabajo. Algunos de los conceptos más relevantes para su desarrollo ya están suficientemente presentados en los artículos, por lo que voy a usar esta presentación para concentrarme en los puntos que considero más influyentes. Adicionalmente, quiero aprovechar este espacio para contar algunos detalles de la forma en cómo fui construyendo y descubriendo algunas claves para la interpretación de los problemas que me ocuparon durante el desarrollo de los artículos. Se trata entonces de una especie de “biografía inédita” de lo que subyace a esta investigación.

Las primeras preguntas que guiaron el desarrollo de este trabajo estuvieron inspiradas por la lectura de algunos de los artículos del profesor Olival Freire, contenidos en su libro *The Quantum Dissidents* (2015). En ellos encontré la convicción de que el análisis histórico y filosófico del periodo de desarrollo de la mecánica cuántica debía ser leído como una larga y compleja controversia. Sin embargo, los métodos que brinda la historia para este tipo de análisis en periodos de tiempo tan largos son siempre limitados y difíciles. Fue así cómo, en la búsqueda de las herramientas necesarias para este análisis, encontré, por un lado, los estilos de razonamiento de Ian Hacking y, por otro lado, los espacios controversiales de Oscar Nudler (2002, 2004, 2009). Pero encontrar las herramientas de análisis no significa saber cómo usarlas. El proceso que me llevó a comprender y aplicar los espacios controversiales de Nudler al estudio de estas controversias no fue sencillo, por lo que busqué la guía de la profesora Olimpia Lombardi quién, durante la estancia de movilidad que adelanté en la Universidad de Buenos Aires, me ayudó a encontrar las primeras claves de cómo aplicar los espacios controversiales a esta controversia sobre el determinismo. Del mismo modo, fue por sugerencia suya que leí las dos obras de Hacking sobre la probabilidad: *The Emergence of Probability* (1975) y *Taming of Chance* (1990). Estas lecturas me revelaron la verdadera complejidad de la

tesis de los estilos de razonamiento y me hicieron replantear los supuestos de fondo de los que había partido.

Mi primer acercamiento con los estilos de razonamiento de Hacking fue a través de su libro *Representing and Intervening* (1985), en el que presenta los estilos de forma muy sucinta. Sin embargo, sin suficientes argumentos, creía ver en la controversia cuántica un cambio de estilo de razonamiento (aunque nunca pensé ubicarla en lo que Hacking llamó el estilo estadístico). Las lecturas de Hacking sugeridas por Lombardi, si bien reveladoras, fueron un tanto desconcertantes ya que me mostraron la gran complejidad de los estilos. Y por primera vez entendí que el estilo de razonamiento estadístico y el desarrollo de la termodinámica jugaron un papel fundamental en el desarrollo de la controversia cuántica. Aunque sabía que la discusión sobre la probabilidad era central en esta controversia –o en este entramado de controversias– no había entendido las consecuencias del pensamiento estadístico y cómo este permitió ver el mundo de formas completamente nuevas. Este fue el comienzo de una nueva orientación para mi trabajo que resultaría crucial para futuros desarrollos.

A lo largo de las diferentes lecturas, y en la medida en que iba concretando y aclarando mis hipótesis, pude ir entendiendo que las herramientas que había encontrado tenían un poder explicativo mucho más amplio del que había percibido en un principio. En la medida en que fui leyendo autores como Thomas Kuhn, (1987), Stephen Brush (1976, 1983, 2003), Olivier Darrigol (2000, 2009) y Daniela Monaldi (2019) encontré nuevos problemas y nuevas pistas que me llevaron a comprender que el papel del estilo de razonamiento estadístico era mucho más importante de lo que había intuido en un principio. Esto implicó, por un lado, la necesidad de un nuevo enfoque para mi trabajo y, con éste, nuevos problemas cuya solución se me escapaba. Si bien la reconstrucción de la primera parte del trabajo se desarrolló satisfactoriamente con los recursos que tenía hasta el momento, la segunda parte de la reconstrucción me planteaba diversos problemas que no tenía muy claro cómo resolver: Sabía que había una relación entre la discusión sobre el determinismo y la introducción de los métodos estadísticos (lo cual había sido abordado en el primer artículo), pero se suponía que, con la aceptación de la mecánica estadística a partir la obra de Gibbs de 1902, esta controversia había quedado resuelta y no parecía que jugara un papel relevante en la consiguiente controversia sobre el determinismo en el desarrollo de la mecánica cuántica. Sin embargo, las lecturas de Brush y Kuhn sugerían que las controversias alrededor de la estadística no habían quedado zanjadas.

Fue gracias a la interacción con el Grupo Interuniversitario de Estudio de Controversias Científicas que conocí el borrador de la propuesta de Juliana Gutierrez, quién tenía la intención de postular una categoría de controversia que usara los estilos de razonamiento de Hacking como un eje alrededor del cual se desarrollan los desacuerdos. Su presentación inicial fue muy reveladora, porque me permitió ver que lo que estaba intentando plantear con mi trabajo era precisamente eso: entender la controversia cuántica como un entramado de controversias que puede entenderse mejor si se articula alrededor del desarrollo del estilo estadístico en la física. Por esa razón me uní al proyecto de postular una nueva categoría de controversias: las controversias sobre estilos.

El resultado fue un excelente trabajo sincronizado para la construcción de una herramienta que permitiera analizar controversias cuya fuente de conflicto se puede identificar en uno o varios estilos de razonamiento. Las diferentes críticas y discusiones que se desarrollaron en el Grupo Interuniversitario de Estudio de Controversias Científicas nos ayudaron a identificar algunos de los problemas que la propuesta tenía. Y en la medida en que las hipótesis de ese artículo fueron quedando más claras, los problemas que había tenido con la reconstrucción de mi espacio controversial se fueron resolviendo.

Este es, a grandes rasgos, el proceso de elaboración de este trabajo cuyo eje central se encuentra en las discusiones que se desarrollaron sobre el determinismo en la física desde finales del siglo XIX y principios del siglo XX. A continuación, presento la síntesis de los conceptos más relevantes, haciendo énfasis en algunos aspectos que, por cuestiones de espacio, no pude desarrollar en su extensión en los artículos.

## 2. Controversias científicas y espacios controversiales

### 2.1 Controversias científicas:

Los estudios de la ciencia, y entre ellos la filosofía de la ciencia, han considerado a la empresa científica como una actividad en la cual el desacuerdo solo puede ser producto de errores humanos que, con el tiempo y a través de los métodos adecuados, deben ser resueltos de forma definitiva. Pero esta visión tradicional ha sido superada y, en consecuencia, el desacuerdo en la ciencia ya no es considerado como un error que debe eliminarse, sino que se considera constitutivo de la actividad científica misma. Lo interesante de esta concepción es que, si pensamos la ciencia como una práctica donde el desacuerdo es una parte estructural de su dinámica de desarrollo, si introducimos la controversia como componente fundamental para su avance, entonces entender estos desacuerdos, la forma en que evolucionan con el tiempo y el importante papel epistemológico que juegan en la construcción del conocimiento científico se convierten en un foco de interés para la filosofía y para los demás estudios de la ciencia. De este modo, estudiar la ciencia a través de sus controversias nos permite observar la gran variedad de elementos que producen el cambio conceptual y que subyacen a la innovación científica. Las controversias científicas develan las relaciones que se tejen, no solo al interior de la comunidad científica, sino también entre la comunidad científica y la sociedad (incluyendo algunos factores relevantes como el político y el económico).

Voy a presentar una caracterización inicial de lo que podría ser una controversia científica. Esta definición no pretende ser exhaustiva ni excluyente, sino que la presento como una forma de delimitar y presentar un objeto de estudio. Para presentar esta aproximación general voy a seguir las definiciones de Ernan McMullin (1987) y Aristides Baltas (2000). Según McMullin, una controversia científica se caracteriza (i) por ser un desacuerdo público entre dos grupos de investigadores pertenecientes a la comunidad científica. Si bien la

controversia se puede encarnar en dos figuras representativas, es importante que haya partidarios de uno y otro lado. A este respecto es usual encontrar en la literatura controversias presentadas a través de la discusión de dos personajes, e.g., la controversia Newton-Leibniz, Koch-Pasteur o Bohr-Einstein, por nombrar algunas de las más resonantes. Sin embargo, lo que hace que estos desacuerdos hayan pasado a la historia como claros ejemplos de controversias científicas no es que presenten la discusión entre dos grandes figuras de la ciencia, sino que representan los argumentos de dos grupos relevantes al interior de la comunidad científica. Este punto es importante porque solo en la medida en que la comunidad científica se vea involucrada en la controversia, ésta podrá ser relevante en la práctica. De otro modo será solo un ejercicio intelectual de dos particulares.

La segunda característica de las controversias científicas es que (ii) se trata de desacuerdos sostenidos de forma persistente durante un periodo de tiempo en el cual las controversias evolucionan y cambian, o dan lugar a otras controversias. Esta característica es relevante en la medida que permite al filósofo de la ciencia analizar el cambio conceptual y las prácticas científicas por parte de la comunidad. Finalmente, McMullin sostiene que en una controversia científica (iii) cada grupo participante está convencido de poseer los mejores argumentos, teorías, pruebas o elementos para resolver el problema, y dichos elementos son considerados científicos. Es decir, los participantes de una controversia científica están convencidos de que la controversia se puede dirimir por medios científicos (aunque lo que se considera científico cambia con el tiempo): “Lo que importa para la controversia como un hecho histórico real no es, por supuesto, la razón o el argumento, sino la percepción de alguien de esa razón como una razón, la aceptación que hace alguien de un argumento como un argumento de cierta fuerza.” (McMullin, 1987, 58).

Por su parte, Baltas define una controversia científica como un desacuerdo que “no puede ser resuelto fácilmente acudiendo a los cánones disciplinares comúnmente aceptados para conducir la investigación relevante” (Baltas, 2000, 44). Siendo así, a las características planteadas por McMullin, podríamos agregar una cuarta: (iv) no es claro de qué manera los medios tradicionales usados por la comunidad pueden ser utilizados para llegar a un acuerdo.

## 2.2 Espacios controversiales

Existe amplia literatura filosófica sobre las controversias científicas. En ella se proponen algunas herramientas que facilitan el análisis tanto de los casos de estudio concretos, como de sus categorías generales. Una de esas herramientas son los espacios controversiales de Oscar Nudler. Su propuesta busca resolver el problema del progreso en filosofía en comparación con el progreso científico. La ciencia resuelve aparentemente sus discusiones basándose en hechos empíricos y esto hace que las teorías nuevas representen un avance respecto de las teorías pasadas. En filosofía esto no sucede, y no porque no haya hechos empíricos que permitan la verificación de algunos argumentos, sino sobre todo porque el tipo de problemas a los que nos enfrentamos los filósofos (o el tipo de problemas que nos enfrentan) son diferentes a los de la ciencia. Hay quienes incluso aseguran que no se trata de problemas por el hecho de permanecer siempre abiertos. Sin embargo, algunos problemas filosóficos han sido relevantes en algunos momentos históricos para la ciencia. Algunos incluso aparecen una y otra vez en diferentes momentos. El tema que nos ocupa aquí es uno de esos problemas que –si bien con diferentes términos e intereses– ha aparecido una y otra vez en las discusiones científicas y filosóficas. Por esta razón, la controversia sobre el determinismo es un caso paradigmático para ser estudiado a través de un espacio controversial. Este modelo se diferencia de los demás enfoques de controversias porque no considera las controversias de forma aislada, sino que las estudia en su medio natural, conformando un sistema en el que diferentes controversias aparecen relacionadas formando una estructura dinámica en la que se interrelacionan, influyéndose mutuamente y generando nuevas controversias.

El modelo de Nudler se construye en dos direcciones: una estructural y otra dinámica. La estructural contiene elementos conceptuales, ideológicos, sociales y culturales que caracterizan la controversia y los diferentes debates asociados a la red de controversias. En ella se pueden identificar: (i) un conjunto de controversias interrelacionadas, (ii) un foco, (iii) un terreno común (*common ground*) y, finalmente, (iv) un núcleo. La dinámica, por su parte, alude a la forma de cómo estos elementos van variando a través del tiempo en el desarrollo mismo de la controversia. Está determinada por (i) bloqueos conceptuales, (ii) desbloqueos conceptuales y (iii) refocalizaciones. Veamos en detalle cada uno de estos elementos.

*Estructura de los espacios controversiales:*

(i) Conjunto de controversias interrelacionadas: es usual, al realizar estudios de caso de controversias particulares, encontrar que el tema de discusión está inevitablemente relacionado con otros temas polémicos que, o bien pueden estar discutiéndose simultáneamente, o bien pueden aparecer y desaparecer a lo largo del período de tiempo en el que se desarrollan las controversias. Estos conjuntos de controversias conforman un sistema altamente complejo en el que los límites entre una controversia y otra se pueden desdibujar, ejerciendo entre ellas una fuerte influencia que transforma el desarrollo de cada espacio.

(ii) Foco: se refiere al conjunto de cuestiones problemáticas interrelacionadas que se discuten de forma explícita en los espacios controversiales, es decir, los temas y problemas que ocupan la atención central de los actores de la controversia. En este caso particular, el foco inicial de la controversia involucra el determinismo epistemológico y a su vez cuestiones como el significado de la ley estadística, los límites humanos y experimentales para la determinación de ciertas variables, la pertinencia del uso del análisis estadístico en la física, entre otras. Pero los espacios controversiales no son estáticos: el desarrollo de las controversias va moviendo el foco hacia nuevos problemas. Por eso es necesario dotar de una dinámica al espacio. En el foco de un espacio controversial pueden encontrarse problemas abiertos de las diferentes disciplinas o teorías, programas de investigación o los principios en los que estos programas se basan, teorías puntuales o algún tipo de metodología de una ciencia particular.

(iii) *Common ground*: el terreno común es necesario en toda controversia, pues siempre habrá puntos de acuerdo entre los actores al momento de discutir. Ejemplos de los elementos que componen el terreno común pueden ser el tipo de argumentos que se consideran válidos, los métodos por los que estos argumentos pueden ser demostrados, las reglas o los valores del quehacer científico, algunos principios y creencias propios del paradigma o del programa de investigación, algunos estilos de razonamiento comunes a los actores, etc. Si estos acuerdos mínimos no existieran, la controversia sería simplemente un diálogo de sordos. Casos de disputas sin acuerdos comunes suficientes se han visto en la historia de la ciencia, pero es muy improbable que este tipo de controversias tengan algún valor epistémico para el desarrollo de la ciencia. Por eso, en este modelo solo se considerarán los

casos en los que los disputantes tienen en común algunos acuerdos propios del paradigma en el que desarrollan sus investigaciones.

(iv) Núcleo: este es un nuevo elemento de la estructura que fue introducido por Lombardi (2009) en el análisis del problema de la irreversibilidad. Teniendo en cuenta que la reconstrucción de un espacio controversial contiene elementos tan diversos y dinámicos, al punto que su foco mismo puede cambiar, la autora se pregunta, ¿cómo se puede asegurar un criterio de identidad para cada caso de estudio? El núcleo, entonces, se introduce como respuesta, definido como “aquello que brinda el criterio de identidad que permite reidentificar una controversia a través de su despliegue dinámico.” (Lombardi, 2009, 156). En este caso de estudio no hemos usado la noción de foco, pues si bien el uso que se hace del determinismo y la forma de discutirlo va cambiando, estos cambios están más asociados a la asimilación del estilo estadístico, en la medida que condicionan la aplicación del determinismo a la realidad.

### *Dinámica de los espacios controversiales:*

Un espacio controversial se nutre y cambia a través del tiempo en el que se desarrollan las controversias que son parte de la red. Por eso el modelo de Nudler hace énfasis en la dinámica a través de la cual el foco de la controversia cambia durante el periodo de vigencia del espacio. Las herramientas de análisis que propone el autor para el análisis de esta dinámica son:

(i) La noción de bloqueo conceptual, la cual resulta quizás más útil en la caracterización de las controversias filosóficas. La primera formulación de este concepto la hace efectivamente Nudler, pensando más en las controversias filosóficas que en las científicas (ver Nudler, 2002). Sin embargo, dado que uno de los objetivos de Nudler es presentar un modelo que sea aplicable a ambos tipos de controversias, la noción pasa a estar presente en ambos casos. Pero, ¿por qué son más propios los bloqueos de las controversias filosóficas que de las científicas? La primera alusión que hace el autor a los bloqueos conceptuales aparece en su artículo de 2002 cuando habla de las “transformaciones progresivas y regresivas” (p. 343). Allí dice, refiriéndose a las controversias filosóficas: “Diré así que un campo controversial dado se encuentra en una fase progresiva si contribuye a poner de manifiesto y profundizar en nuevos aspectos o relaciones o problemas relativos a los objetos de indagación filosófica en cuestión (...) Por el contrario, si un campo controversial entra en una fase en que hay una reducción u obstaculización

de las posibilidades de descubrimiento y profundización mencionadas, diremos que se encuentra en una fase regresiva.” (Nudler, 2002, 343) Sin embargo, en su artículo del 2004, Nudler ya introduce el término espacio controversial, el cual agrupa tanto a las controversias filosóficas como a las científicas. Para entonces define del siguiente modo la aparición de estos estancamientos en la dinámica del espacio: “La estructura de los espacios controversiales puede permanecer sin cambios sustanciales durante períodos variables de tiempo. Si se trata de un período excesivamente prolongado, las controversias tenderán a ser sólo sobre temas marginales o, en el peor de los casos, serán meramente terminológicas. En esta situación, el espacio controversial tiende a volverse rígido y a adquirir finalmente ese carácter epistémicamente degenerado, improductivo (...) se alcanza tal estado de estancamiento y aún bloqueo de la innovación. Para que esta situación se revierta, de modo que el espacio controversial pueda generar nuevamente progreso epistémico, se requiere por lo general la intervención de un tercer actor.” (Nudler, 2004, 13). De este modo, Nudler amplía el concepto de bloqueo que inicialmente había aplicado a las controversias filosóficas y lo extiende a los espacios controversiales en general, en los que se incluyen también las controversias científicas.

Cabe destacar también que, en muchos casos, las controversias científicas se desarrollan alrededor de discusiones filosóficas de crucial interés para una comunidad científica determinada, existiendo en estos casos una mayor probabilidad del surgimiento de bloqueos. En el caso del determinismo, se trata de una controversia filosófica que se encontraba bloqueada no por falta de innovación en los argumentos para desarrollarla dentro de la comunidad de los físicos, sino porque formaba parte del *common ground*. Alguien podría objetar, entonces, que no se trató de un bloqueo genuino, sino simplemente de un tema que aún no había entrado en el foco del espacio controversial. Sin embargo, lo postulo como un bloqueo porque considero que, si bien en otros momentos del desarrollo de la física sí hubo interés por discutir el tema, por diferentes razones la comunidad científica acordó que no era necesario discutirlo más extensivamente. Es así, entonces, cómo la cartografía de este espacio comienza con el tema del determinismo bloqueado dentro de la comunidad de los físicos, más no en otras comunidades (como la fisiología, la sociología, la psicología y la misma filosofía). Posteriormente, después de algunas discusiones al respecto, el espacio vuelve a bloquearse en la comunidad de los físicos durante un tiempo, para finalmente volver a discutirse en la actualidad.

Diremos entonces que los bloqueos conceptuales son periodos de tiempo en los que el foco de la controversia se estanca. Los diferentes actores involucrados pierden interés en el problema. Esto puede darse porque hay una aparente solución de la controversia, o porque los interesados encuentran problemas más interesantes para su momento histórico, o porque quienes comenzaron la controversia mueren o se retiran y no encuentran replicantes que continúen con la discusión. En fin, los motivos de un bloqueo conceptual podrían entrar en las clasificaciones de clausura, resolución o abandono de controversias propuestas por diferentes autores como McMullin (1987), Beauchamp (1987) o Mazur (1981). Solo que, para los espacios controversiales, por tratarse de periodos de tiempo más amplios, el foco de la controversia o los problemas asociados a ella pueden volver a aparecer por diferentes circunstancias. Por lo tanto, un bloqueo conceptual no se considera definitivo, sino que se toma como parte del movimiento natural de la controversia.

Una de las razones por las que la caracterización de este espacio controversial comienza precisamente en el momento de un bloqueo conceptual es porque permite observar con más claridad el *common ground*, pues se trata de un momento en el que los actores están en un máximo acuerdo respecto al tema que, poco a poco, empieza a hacerse visible con la aparición del estilo de razonamiento estadístico en la física. Nótese que, en este caso, la introducción de los métodos estadísticos jugaría el papel del tercer actor nombrado por Nudler.

(ii) En el desbloqueo conceptual, así como los actores de una controversia pueden perder interés en ella, así mismo otros actores o ellos mismos, debido a la aparición de nuevos métodos, nuevas preguntas, nuevas herramientas conceptuales, etc., pueden volver a retomar el interés por la controversia. En el caso de estudio en este trabajo, durante la primera etapa de la controversia, en el foco no se evidencian discusiones en torno al determinismo, lo cual indica que éste formaba parte del *common ground*. Los actores de la red de controversias estaban discutiendo los temas del foco y el determinismo –en el que todos los físicos parecían tener un acuerdo implícito– comienza a representar un problema debido a varios factores, siendo el más relevante la introducción de un nuevo estilo de razonamiento en la física. Este sería el primer desbloqueo de la controversia y representa lo que hemos llamado la primera etapa del espacio controversial. En ella el determinismo pasa a formar parte del foco desde una aplicación puramente epistemológica. Pero, durante el desarrollo del espacio controversial, esta discusión de talante epistemológico pasa a formar parte de un nuevo *com-*

*mon ground*, es decir, los físicos empiezan a aceptar las herramientas del nuevo estilo de razonamiento estadístico y dejan de discutir estos primeros problemas. Con la consolidación del estilo de razonamiento estadístico en todos los ámbitos de la física aparecerán nuevos problemas que harán cambiar el enfoque de la discusión desde lo epistemológico hacia lo ontológico. Este nuevo desbloqueo conceptual se desarrolla durante la segunda etapa del espacio.

(iii) El último elemento es la refocalización. Como ya hemos visto, los elementos de la estructura de los espacios controversiales cambian en el tiempo. El elemento en el que más se evidencian los cambios es en el foco, por tratarse precisamente de la parte visible del espacio. Hay ocasiones en las que la dinámica de cambio de la controversia no deja intacto el foco, sino que lo reformula, lo complejiza, lo profundiza, etc. Nudler llamó “refocalización” al cambio que sufre el foco de un espacio controversial. Este proceso es uno de los más interesantes de analizar en este modelo pues tiene un gran valor respecto a la reconstrucción de la historia conceptual y respecto de las dinámicas epistémicas de la ciencia.

## 3. Estilos de razonamiento y la controversia sobre el estilo estadístico en la física

### 3.1 Generalidades sobre los estilos

La noción de estilos de razonamiento ha terminado por convertirse en un proyecto amplio en el que convergen diferentes investigaciones, provenientes tanto de la historia, como de la sociología y la filosofía de la ciencia: “El proyecto de estilos utiliza el pasado como una forma de entender el presente. Aunque ha sugerido la investigación histórica a otros y se basa en muchos más datos históricos de los que cita, en sí mismo no agrega contenido nuevo a la historia de la ciencia [...] También se invocan la antropología, la sociología y la ciencia cognitiva, especialmente las de tipo más especulativo. En resumen, el proyecto es una filosofía atenta, pero no intimidada, por muchos cuerpos vecinos de conocimiento y teorización.” (Hacking, 2012, 600)

Hacking (1982) plantea inicialmente la noción de estilo de razonamiento siguiendo a Crombie en su *Styles of Scientific Thinking in the European Tradition* (1994) (Hacking conoce los trabajos de Crombie en una conferencia en Pisa en 1978 (Hacking 2012), pero este trabajo no sale publicado hasta 1994). Sin embargo, en 2012, 30 años después, Hacking recoge algunas consideraciones con la perspectiva de esos años de desarrollo y aplicación de la noción de estilos. Desde esta perspectiva, propone abandonar la noción de estilo de razonamiento y comienza a llamarlo proyecto estilos (*Styles Project*) porque reconoce que la noción de estilo no solo se refiere a una cierta racionalidad, sino a un conjunto complejo de elementos que componen el quehacer de las diferentes comunidades científicas.

Como la noción de estilos de razonamiento, tal y como fue planteada por Hacking, ha sido presentada en los tres artículos que componen esta tesis –con

más énfasis en el último artículo– voy a usar esta introducción para resaltar algunas de las características de los estilos que Hacking desarrolla en algunos de sus trabajos y que –aunque no fueron incluidas in extenso en las ediciones publicadas de los artículos– tuvieron alguna relevancia en su desarrollo: particularmente, la idea de los diferentes estados de desarrollo que presenta Hacking de forma más explícita en “Statistical Language, Statistical Truth, and Statistical Reason: The Self-Authentication of a Style of Scientific Reasoning” (1992) y en “‘Language, Truth and Reason’ 30 years later” (2012).

En las primeras versiones de su propuesta sobre los estilos, Hacking había incluido dos estilos más a la lista de los seis de Crombie: el estilo de laboratorio y el estilo algorítmico. Más tarde (2012), al plantear la idea de los estados de desarrollo para los estilos, Hacking introduce el estilo de laboratorio como parte del desarrollo del estilo experimental y el estilo algorítmico como una etapa de desarrollo del estilo del modelado hipotético. Esto viene a reforzar su idea de la historicidad de la razón: “No existe una razón o causa profunda para la aparición en diferentes épocas de unos pocos géneros distintos de investigación científica, a menudo detectables en la antigua Grecia, y todavía florecientes. Fueron criados en una cultura hirviente de manoseos y quejas, un agaragar de conversaciones y tecnologías –incluyendo la escritura y el dibujo de diagramas– [...] No hay una razón por la que este tipo de argumentos se hayan convertido en parte de nuestro canon de lo que llamamos razón correcta. Pero son nuestro canon.” (Hacking, 2012, 600).

En esta misma dirección Hacking plantea también la idea de la cristalización, que resultará crucial en la formulación –con Gutierrez– de las controversias sobre estilos. La metáfora de la cristalización se refiere a momentos concretos de la historia de una comunidad científica en la que un estilo sufre un cambio evidente. El uso continuado de un estilo de razonamiento va introduciendo algunas novedades al tiempo que las condiciones históricas y sociales van cambiando. En este proceso silencioso, diferentes comunidades pueden introducir diferentes novedades, y dependerá de las contingencias históricas que un conjunto de estas novedades se cristalice dentro del estilo.

Para ilustrar esta idea de cristalización Hacking propone varios ejemplos, como el caso de Galileo para el estilo del modelado hipotético en el que condensa diferentes desarrollos que se habían estado gestando desde Anaximandro, pero que se hacen evidentes y relevantes para la comunidad científica a partir del uso que Galileo hace de ellos, así como de las novedades que él mismo introduce. Del mismo modo, Pascal es un ejemplo de cristalización en el estilo estadístico porque con él se hacen evidentes cambios importantes en

el uso de los métodos estadísticos para la resolución de problemas concretos, cuyo uso se extenderá a nuevas comunidades científicas. Otro de los ejemplos canónicos que cita es el de Boyle con la bomba de vacío, el cual constituye un ejemplo de cristalización en el estilo experimental (previamente, Hacking lo había clasificado, erróneamente, como un nuevo estilo, el estilo de laboratorio). En este ejemplo, se evidencia la participación de una comunidad científica y la introducción de grandes novedades al interior de esta comunidad. El uso continuado de estas prácticas novedosas, así como las contingencias históricas del momento, favorecieron la cristalización de las prácticas de laboratorio de una forma que se asemejan más a las prácticas actuales de algunas disciplinas. Sin embargo, los estilos han seguido cambiando en la medida que cambian las prácticas científicas y estos cambios son inseparables del entorno que rodea a las comunidades.

### **3.2 El estilo estadístico:**

Como en los artículos que componen el cuerpo de esta tesis se analiza el caso concreto del estilo estadístico, resulta interesante ver con más cuidado los diferentes estados de desarrollo que Hacking propone para este estilo y ver cómo encajan al interior de la comunidad científica de los físicos. Hacking reconoce siete etapas de desarrollo del estilo estadístico desde su cristalización en el siglo XVII hasta la primera mitad del siglo XX. Propone estas etapas basado en los estudios previos de autores como Harald Westergaard, Lorraine Daston, o Stephen Stigler (Hacking, 1992, 141). En la Figura 1 se presentan los diferentes momentos que explican el desarrollo del estilo de razonamiento estadístico.

Para el caso de la física encontramos que la introducción de los métodos estadísticos comienza en la etapa de “la teoría del error”. Durante esta etapa, algunos físicos como Bernoulli o Laplace desarrollaron propuestas para una teoría del error más centrada en las matemáticas. Sin embargo, en su obra *Théorie Analytique des Probabilités* (1812), Laplace consideraba que la teoría del error tenía más utilidad para las ciencias naturales que para las matemáticas. Aunque estas teorías no introducen novedades teóricas determinantes para la interpretación física del mundo, sí empiezan a llamar la atención sobre la discusión del determinismo que solo se cuestiona en cuanto a los métodos de medición. Es, diríamos, una preparación para el posterior desbloqueo de la controversia sobre el determinismo en la física.

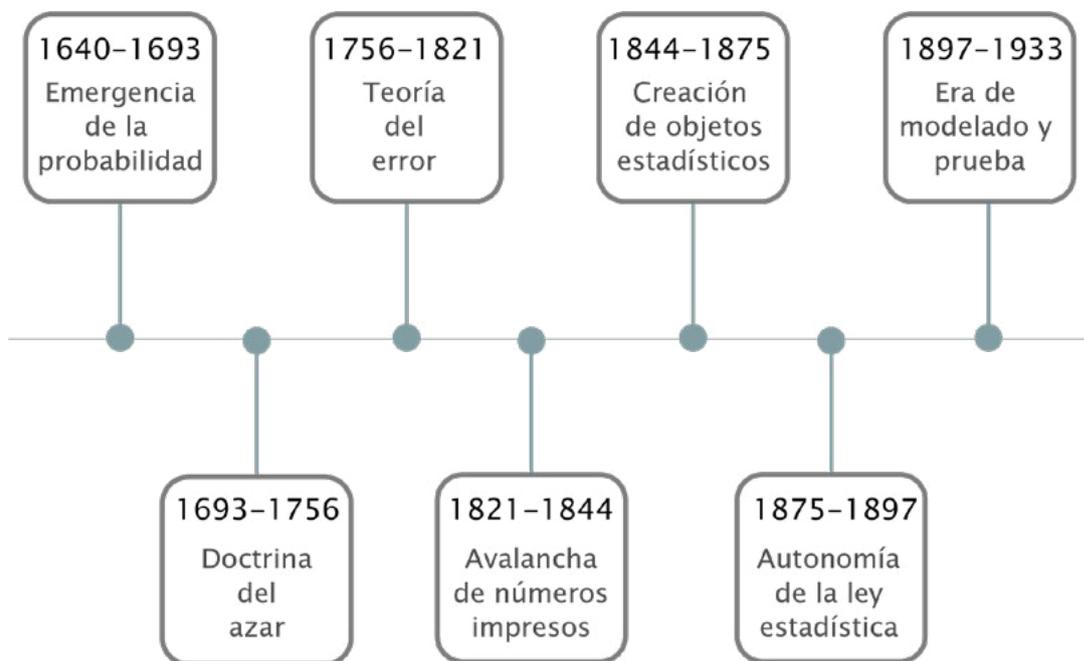


Figura 1: Estados de desarrollo del estilo estadístico

La etapa de la “avalancha de números impresos” no tuvo un papel directo dentro del desarrollo de la física. Sin embargo, fue importante porque el frenesí de datos y de su análisis creó el ambiente propicio para la expansión de los métodos estadísticos a nuevas áreas, lo cual concluiría con la introducción por parte de Maxwell y Boltzmann de la estadística al interior de las leyes de la física. El proceso de formular las primeras leyes estadísticas en la física pasó, sin embargo, primero por la introducción de nuevos objetos que solo tienen sentido dentro del marco del estilo estadístico. Los objetos propios del estilo estadístico como población, individuo, muestra, entre otros, fueron introducidos con modificaciones en la termodinámica. Las colectividades o ensembles cumplen el papel de las poblaciones, y los individuos pasarán a ser los sistemas individuales o partículas para el caso de los gases –esto desataría las controversias sobre el atomismo, tan importantes dentro del desarrollo de este espacio controversial–. Con esto vemos que hay un proceso de apropiación y adaptación de esos nuevos objetos propios del estilo estadístico por parte de la comunidad de los físicos.

La siguiente etapa, “autonomía de la ley estadística”, es especialmente interesante para el análisis de las discusiones sobre el determinismo, pues la ley estadística por su propia naturaleza es incompatible con el mecanicismo dominante en la física de finales del siglo XIX. La principal razón de esta discre-

pancia radica fundamentalmente en la concepción de ley física como un enunciado necesario y bien determinado, supeditado al principio de causalidad. La ley estadística se aleja de esta concepción en la medida que propone resultados probables y no necesarios. Así, lo que antes era determinable, pasa a ser probable (la determinación pasa a ser entonces probabilidad) y la pregunta que surge es si se puede conservar la causalidad en una situación tal. El primer artículo que presento en este compendio analiza la naturaleza de estas discusiones alrededor de la ley estadística y su relación con el determinismo. Durante la reconstrucción del espacio controversial de este periodo, encontré múltiples alusiones a un intercambio de correspondencia que se publicó en la editorial de la revista *Nature*, entre agosto de 1894 y septiembre de 1895. Las referencias a este intercambio de correspondencia son muy generales, por lo que quise reconstruirlo más en detalle. Sin embargo, por cuestión de espacio y en aras de la concreción, termine prescindiendo de esta parte. Quedó como tarea pendiente para una próxima publicación, pues se trata de la controversia en torno al teorema H y la forma de interpretarlo a la luz de la ley estadística, ilustrando de primera mano el problema de la irreversibilidad.

Como vemos, las discusiones que le darían “autonomía” a la ley estadística se dieron precisamente en el periodo señalado por Hacking como propicio para dichas discusiones, lo que quiere decir que este tipo de controversias no solo se estaban desarrollando en la comunidad de los físicos, sino también en otras comunidades científicas del momento.

Finalmente, la última etapa de desarrollo que propone Hacking es la de “modelado y prueba”. La comprensión del desarrollo de esta etapa en la segunda parte del espacio controversial fue uno de los problemas más interesantes que tuve que enfrentar en el desarrollo de este estudio. Mientras desarrollaba la primera etapa, Gutierrez ya me había sugerido la posibilidad de plantear una categoría de controversias científicas cuyo motor de discordia radicara en diferencias estilísticas entre sus actores. Frente a su propuesta, tuve la convicción de que el caso del que me ocupaba era precisamente una controversia sobre el estilo estadístico. Pero al enfrentarme a la segunda etapa, se me hacía difícil entender el papel de la estadística en las discusiones sobre la nascente teoría cuántica. Autores como Brush, Kuhn, Darrigol o Howard, ponían especial énfasis en estos métodos, pero la asociación de estas discusiones con mi tema central, el determinismo, no parecía muy clara. Esperaba pues que Gutierrez pudiera desarrollar mejor su categoría de controversias sobre estilos para ayudarme a entender mis propios problemas.

En una conversación que tuvimos con motivo de su propuesta, Gutierrez me confesó que no tenía solución para esos problemas y que iba a abandonar el proyecto por considerarlo inviable, pues cada vez que creía haber encontrado una solución, aparecían nuevos problemas. Pero como yo estaba convencida de que la única esperanza que tenía de darle mayor coherencia a mi caso dependía de la postulación de esta categoría, dejé mi trabajo de lado y me dediqué, hombro con hombro, a solucionar los problemas de la propuesta de Gutierrez. El resultado fue un magnífico trabajo en equipo, con un entendimiento mutuo, que no solo propició la discusión y aclaración de los problemas existentes, sino que nos permitió darle un carácter muy visual y dinámico a nuestra propuesta. Tal y como lo esperaba, en la medida en que la idea de las controversias sobre estilos fue más clara, los problemas en la reconstrucción del espacio controversial se resolvieron. Por esa razón decidimos incluir, como ejemplo de las controversias sobre estilos, una síntesis del caso del determinismo.

A la luz del trabajo junto a Gutierrez, el análisis que hice de la “era de modelado y prueba” se basa en la metáfora de los estratos y apunta a mostrar cómo el uso cada vez más amplio de los métodos estadísticos en la naciente teoría cuántica llevó a la comunidad a través de diferentes formas de asimilación del estilo. Durante las dos primeras décadas del siglo XX, lo que se desarrolla a lo largo de las diferentes aplicaciones y ampliaciones de los métodos estadísticos en la física es una fusión del estilo de modelado hipotético, el estilo experimental y el estilo estadístico. Estas fusiones con otros estilos son importantes a la hora de entender cómo el estilo estadístico comenzó usándose como una herramienta matemática útil para calcular algunos fenómenos termodinámicos, pero poco a poco pasó a ser una forma de interpretación del mundo para, finalmente, implicar un compromiso ontológico con los fenómenos que pretendía explicar.

Como los detalles de todo este análisis están explicados pormenorizadamente en los artículos que presento a continuación, doy paso a su lectura para finalmente recoger algunas conclusiones y proyecciones generales de este trabajo.

## 4. Bibliografía

- Baltas, A. (2000) "Classifying Scientific Controversies." *Scientific Controversies: Philosophical and Historical Perspectives*. (Ed.) Peter K. Machamer et al. Oxford: Oxford University Press, 40–50.
- Beauchamp, T. (1987) "Ethical Theory and the Problem of Closure", en *Scientific Controversies: Case Studies in the Resolution and Closure of Disputes in Science and Technology*. (Eds.) H. T. Engelhardt y A. L. Caplan. Cambridge: Cambridge University Press, 27–61.
- Brush, S. G. (1976) *The Kind of Motion We Call Heat: A History of the Kinetic Theory of Gases in the 19th Century*. Amsterdam: North-Holland.
- Brush, S. G. (1983) *Statistical Physics and the Atomic Theory of Matter, from Boyle and Newton to Landau and Onsager*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Brush, S. G. (2003) *The Kinetic Theory of Gases*. London: Imperial College Press.
- Crombie, A. C. (1994) *Styles of scientific thinking in the European tradition: The history of argument and explanation especially in the mathematical and biomedical sciences and arts*. London: Duckworth.
- Darrigol, O. & Jürgen, R. (2000) "The Emergence of Statistical Mechanics," Contribución a la Enciclopedia Italiana. Berlin: Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte. Preprint.
- Darrigol, O. (2009) "A simplified genesis of quantum mechanics." *Studies In History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 40 (2): 151–166.
- Freire Junior, O. (2015) *The Quantum Dissidents: Rebuilding the Foundations of Quantum Mechanics (1950-1990)*. New York, NY: Springer.

- Gibbs, J. W. (1902) *Elementary Principles in Statistical Mechanics*. Cambridge: Yale University Press.
- Hacking, I. (1975) *The Emergence of Probability*, (reimpresión 2006). Cambridge: Cambridge University Press.
- Hacking, I. (1982) “Language, Truth and Reason”, en *Rationality and Relativism*, Hollis and Lukes (eds.). Cambridge, MA: The MIT Press.
- Hacking, I. (1983) *Representing and Intervening*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hacking, I. (1990) *The Taming of Chance*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hacking, I. (1992) “Statistical Language, Statistical Truth, and Statistical Reason: The Self-Authentication of a Style of Scientific Reasoning”, en *The Social Dimensions of Science*, E. McMullin (ed.). Notre Dame, IN: University of Notre Dame Press, 130–157.
- Hacking, I. (2012) “‘Language, Truth and Reason’ 30 years Later.” *Studies in History and Philosophy of Science, Part A*, 43 (4): 599–609.
- Kuhn, T. (1978) *La teoría del cuerpo negro y la discontinuidad cuántica, 1894–1912*, trad. Paredes Larrueca [1987], Madrid: Alianza.
- Laplace, P. S. (1814) *Essai Philosophique sur les Probabilités*. (1996) (trad.) Pilar Castrillo, *Ensayo filosófico sobre las posibilidades*. Madrid: Altaya.
- Lombardi, O. (2009) “El problema de la irreversibilidad, de Fourier a la teoría del caos”. En *Espacios controversiales*. (Ed.) Oscar Nudler, Buenos Aires: Miño y Dávila, 129–161.
- Mazur, A. (1981) *The Dynamics of Technical Controversy*, Washington, DC: Communications Press.
- McMullin, E. (1987) “Scientific Controversy and its Termination.” En *Scientific Controversies: Case Studies in the Resolution and Closure of Disputes in Science and Technology*. (Ed.) H. T. Engelhardt y A. L. Caplan. Cambridge: Cambridge University Press. 49–92.

Monaldi, D. (2019) "The Statistical Style of Reasoning and the Invention of Bose-Einstein Statistics." *Berichte Zur Wissenschaftsgeschichte* 42 (4): 307–337.

Nudler, O. (2002) "Campos controversiales y progreso en filosofía." *Manuscrito*, XXV (2): 337–352.

Nudler, O. (2004) "Hacia un modelo de cambio conceptual: espacios controversiales y refocalización", *Revista de Filosofía*, 29 (2): 7–19.

Nudler, O. (2009) *Espacios controversiales. Hacia un modelo de cambio filosófico y científico*. Buenos Aires: Miño y Dávila.

# III

**Artículos**



---

## **ARTÍCULO 1:**

# **DESBLOQUEO CONCEPTUAL DE LA CONTROVERSIA SOBRE EL DETERMINISMO DURANTE LA SEGUNDA MITAD DEL SIGLO XIX**

**Olga Varela Machado**

Publicado en: *Crítica. Revista Hispanoamericana de filosofía*. Universidad Nacional Autónoma de México. Volumen 52, No. 156 (diciembre 2020): 87–114.  
DOI: 10.22201/iifs.18704905e.2020.1100

Recibido el 17 de agosto de 2020; aceptado el 28 de agosto de 2020.

### **RESUMEN:**

La física durante la segunda mitad del siglo XIX experimentó una silenciosa pero profunda revisión de sus fundamentos. A pesar de su importancia para los desarrollos posteriores de la física, los estudios históricos y filosóficos sobre dicho periodo son escasos comparados con aquellos de principios del siglo XX. Este trabajo reconstruye algunos aspectos de la física de este periodo usando dos herramientas conceptuales: espacios controversiales de Oscar Nudler y estilo de razonamiento científico de Ian Hacking. El objetivo es mostrar los elementos que produjeron el desbloqueo conceptual de la controversia sobre el determinismo durante la segunda mitad del siglo XIX y principios del siglo XX.

**PALABRAS CLAVE:** historia de la física, mecánica estadística, estilos de razonamiento científico, espacios controversiales, termodinámica

### **SUMMARY:**

During the second half of the nineteenth century, physics go through a noiseless but deep review of its foundations. Despite of the importance for the upcoming developments, the historical and philosophical studies about that time are scarce in comparison to the first decades of the twentieth century. This paper rebuilds some aspects of physics of this time using two conceptual tools: The Controversy Spaces of Oscar Nudler and the Styles of Scientific Reasoning of Ian Hacking. The aim is showing the elements that led to the controversy about determinism during the second half of the nineteenth century and beginning of the twentieth.

**KEY WORDS:** history of physics, statistics mechanics, styles of scientific reasoning, controversy spaces, thermodynamics

## **1. Introducción**

El propósito de este estudio es analizar algunos de los elementos que propiciaron el desbloqueo conceptual de la controversia sobre el determinismo. Dicho desbloqueo culmina durante la primera mitad del siglo XX con la consolidación de la mecánica cuántica. Mi interés se enfoca en presentar los aspectos que consideramos más relevantes y que, iniciándose ya en el siglo XVIII, durante la segunda mitad del siglo XIX configuraron las condiciones necesarias para que se desarrollara la discusión sobre el determinismo al interior de la teoría cuántica.

tica. La importancia de este episodio en la historia de la ciencia no ha tenido la vistosidad que sí han tenido los eventos acaecidos durante la primera mitad del siglo XX (con el advenimiento de la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica) y que han ocupado el interés central, tanto de historiadores como de filósofos de la ciencia. Sin embargo, esta revolución del siglo XX no habría sido posible sin las condiciones y elementos conceptuales que durante el siglo XIX entraron en el escenario de la física. Con el fin de iluminar y resaltar la importancia de esos acontecimientos, este estudio se centra en un periodo que hemos llamado precontroversial respecto del determinismo. Aquí presentaré los elementos conceptuales más relevantes para que la controversia sobre el determinismo se desarrolle.

Partimos, además, de una concepción de la ciencia donde el desacuerdo es parte estructural de su dinámica de desarrollo. Y consideramos que la comprensión de estos desacuerdos, el modo en que evolucionan en el tiempo y el papel epistemológico que desempeñan en la construcción de la ciencia nos aportará material relevante para el análisis, tanto filosófico como histórico. Con este propósito, el trabajo adopta un marco teórico basado en dos herramientas conceptuales: por un lado, el modelo de espacios controversiales (*Controversy Spaces*) de Oscar Nudler (2002, 2004, 2009) y, por otro, la noción de estilo de razonamiento científico (*Style of Scientific Reasoning*) propuesta por Ian Hacking (1982, 1992a).

El modelo de espacios controversiales resulta útil para esta reconstrucción porque permite enmarcar conjuntos de controversias interrelacionadas en largos periodos de tiempo, posibilitando un tipo de visión big picture. Esta interrelación facilita la comprensión de la forma en que las distintas discusiones y desacuerdos se fueron refinando y moldeando, así como los conceptos y los programas de investigación relacionados. Por su parte, el concepto de “estilo de razonamiento científico” nos permite analizar los acuerdos previos de la comunidad científica, así como la forma en que dichos acuerdos van cambiando en la medida en que se instala un nuevo estilo. Esto resulta fundamental en el desarrollo de algunas controversias, pues aporta nuevos elementos para comprender tanto la discusión como el posterior acuerdo. Para este caso de estudio en particular, nos interesa analizar cómo la introducción del estilo de razonamiento estadístico propició el desbloqueo conceptual de la controversia sobre el determinismo. Por eso, tanto el modelo de Nudler, como el concepto de Hacking se asocian aquí como herramientas de análisis para este caso, permitiéndonos construir una visión amplia en cuanto a la historia conceptual del determinismo y su relación con otras controversias.

Sobre esta base, el presente artículo se estructura partiendo de un marco teórico (sección 2), en el que presentaré a grandes rasgos el modelo de espacios controversiales y el concepto de estilos de razonamiento, así como la forma en que se articulan en el presente trabajo. Luego, expondré algunas aclaraciones sobre el núcleo de la controversia, es decir, el problema del determinismo (sección 3). Allí presentaré algunas clarificaciones sobre el término que serán útiles para el análisis de este episodio histórico. A continuación (sección 4) brindaré una breve descripción de la discusión sobre el determinismo entre los siglos XVII y XVIII, lo cual permitirá comprender el bloqueo conceptual que estanca la controversia durante el siglo XIX (sección 5). Posteriormente, señalaré el papel fundamental que desempeñaron la Segunda Ley de la Termodinámica y las discusiones acerca de su interpretación estadística en el establecimiento de las bases necesarias para el desbloqueo conceptual de la controversia (sección 6). Finalmente, concluiré esta reconstrucción histórico-conceptual indicando dos nuevos elementos de acuerdo que se introducen en la física durante la primera década del siglo XX (sección 7): la presentación canónica de Gibbs de la mecánica estadística y la aceptación de la hipótesis atómica como una forma adecuada de la estructura de la materia.

## **2. Marco teórico: espacios controversiales y estilos de razonamiento**

### *2.1 Espacios controversiales*

En sus trabajos de la década de 2000, Oscar Nudler centró su interés en el estudio de las controversias desde un punto de vista filosófico. Desde esta perspectiva propuso un modelo de análisis que permite analizar las controversias durante periodos más prolongados que los identificados tradicionalmente por los historiadores. Su modelo permite trascender las discusiones puntuales entre actores concretos y proporciona una estructura capaz de brindar una aproximación filosófica que facilite el análisis de elementos epistemológicos y conceptuales. Las ventajas que presenta frente a los análisis de controversias científicas puntuales es que reconcilia la continuidad y la discontinuidad histórica, muestra factores que se conservan y factores que se descartan, facilitando una visión más panorámica, fundamental para el análisis filosófico.

El estudio de los espacios controversiales se aborda desde dos perspectivas: la estructural y la dinámica. La perspectiva estructural se refiere a los elemen-

tos conceptuales, ideológicos, sociales y culturales que caracterizan el espacio controversial y los diferentes debates asociados (la red de controversias). La estructura se caracteriza al identificar los siguientes elementos: (i) una red de controversias interrelacionadas constituidas por diferentes temas polémicos que, o bien se discuten simultáneamente, o bien aparecen y desaparecen a lo largo del periodo en el que se desarrolla el espacio; (ii) un foco, conformado por el conjunto de cuestiones problemáticas que se evidencian de forma explícita en un espacio controversial, es decir, los temas y problemas que ocupan la atención central de los actores de las controversias; (iii) un terreno común (*common ground*), que se refiere a los supuestos compartidos por los actores en el marco de la controversia, pues es necesario un mínimo acuerdo entre los actores para que la discusión tenga sentido; y (iv) un núcleo, concepto que Lombardi (2009) introdujo y que pretende asegurar un criterio de identidad para el espacio controversial a través de los cambios que experimenta durante el tiempo de su vigencia.

Puesto que los espacios controversiales no son estáticos, sus temas de discusión cambian en la medida en que los problemas o las preguntas se van resolviendo o abandonando. Las controversias se nutren y evolucionan durante el tiempo en el que interaccionan dentro de la red de controversias. El modelo de Nudler facilita observar la dinámica del espacio controversial durante su periodo de vigencia a través de los siguientes elementos. (i) Bloqueo conceptual: periodo durante el cual una controversia se estanca y los diferentes actores implicados pierden interés en los problemas que se estaban discutiendo o consideran que se han resuelto. Los motivos de un bloqueo conceptual podrían identificarse con las categorías de clausura, resolución o abandono de controversias que autores como McMullin (1987), Beauchamp (1987) o Mazur (1981) formulan. La diferencia entre las propuestas de estos autores y el caso de los espacios controversiales es que, por observar periodos más largos, en este último caso, el foco del espacio o los problemas asociados a él pueden reaparecer por diferentes circunstancias. Por lo tanto, un bloqueo conceptual no se considera definitivo, sino que se concibe como parte del movimiento natural de la controversia. (ii) Desbloqueo conceptual: así como los actores de una controversia pueden perder interés en ella, asimismo otros actores, o ellos mismos, pueden retomar el interés debido a la aparición de nuevos métodos, nuevas preguntas, nuevas herramientas conceptuales, entre otros factores que les permitirán profundizar la discusión o retomarla desde otras perspectivas. Éste es uno de los elementos centrales en el presente estudio, pues lo que nos interesa poner en evidencia aquí son los elementos que contribuyeron al desbloqueo conceptual de la controversia sobre el determinismo durante la segunda mitad del siglo XIX hasta la primera década del siglo XX. El último elemento de la diná-

mica es (iii) la refocalización, que se refiere a los cambios que sufre el foco de un espacio controversial. Este proceso es uno de los más interesantes para el análisis de los espacios controversiales, pero en el presente caso de interés la refocalización se desarrolla en un periodo fuera de los límites de este estudio. El análisis de este episodio lo presentaré en un trabajo futuro.

### *2.2 Estilos de razonamiento*

El concepto de estilo de razonamiento es el hilo conductor que nos permitirá analizar el cambio conceptual a lo largo del devenir del espacio controversial en estudio. Ian Hacking se inspira en la propuesta historiográfica de Crombie (1995), quien propone seis categorías, a las que denomina estilos de pensamiento científico europeo, para caracterizar la forma en que se ha pensado y validado la ciencia en Occidente. Si bien Hacking parte de estos seis estilos de pensamiento, avanza un paso más: con ellos pretende encontrar una solución adecuada al problema de la objetividad en las ciencias:

Mis estilos de razonamiento [...] son parte de lo que necesitamos para entender aquello que llamamos objetividad. No porque los estilos sean objetivos (es decir, que hayamos encontrado la mejor forma de llegar a la verdad), sino porque ellos han fijado lo que es ser objetivo (las verdades de cierto tipo son solo lo que obtenemos al realizar cierto tipo de investigaciones, respondiendo a ciertos estándares)". (1992a, p. 4; la traducción es mía.)

La pregunta por la objetividad es determinante en el análisis de las controversias, pues son episodios en los que no existe un consenso dentro de la comunidad científica: el criterio de objetividad sobre los temas en disputa también está sujeto a discusión. Por este motivo, el concepto de estilo de razonamiento que Hacking propone sirve para comprender cómo cambia la objetividad en la ciencia, posibilitando acuerdos sobre temas en los que previamente no fue posible conciliar. Hacking resalta también el problema de la verdad o falsedad de los enunciados científicos. Las controversias giran precisamente en torno a este problema: cuando se presenta una nueva solución a una pregunta científica, dicha solución puede cuestionarse con respecto a su valor de verdad, o los métodos que se utilizan para respaldarla pueden no ser considerados adecuados para acercarse a resultados verdaderos. Lo importante para el enfoque de Hacking no es el veredicto acerca de la verdad o falsedad de un enunciado científico, sino cómo ciertos enunciados tienen la posibilidad de ser juzgados como verdaderos o falsos por la comunidad científica: "que una proposición comience a jugar como candidata o no a ser verdadera o falsa depende de si

tenemos modos de razonar sobre ella” (1982, p. 49; la traducción es mía). En este sentido, la noción de estilo de razonamiento es una herramienta relevante para analizar diferentes tipos de controversias, pues permite identificar aspectos determinantes para su análisis, tanto epistemológico como histórico.

A los seis estilos de pensamiento científico que Crombie presenta, Hacking agrega dos más. Los ocho estilos de razonamiento vigentes en las ciencias occidentales son, según el autor: (i) la postulación de las ciencias matemáticas; (ii) el desarrollo del experimento a través de la observación y la medición; (iii) la construcción hipotética de modelos por analogía; (iv) el ordenamiento de la variedad mediante la comparación y la taxonomía; (v) el análisis estadístico de regularidades en poblaciones y el cálculo de probabilidades, y (vi) la derivación histórica del desarrollo genético (evolución). Hasta aquí los estilos de pensamiento que Crombie propone, más los dos estilos agregados por Hacking: (vii) el estilo de laboratorio, y (viii) el estilo algorítmico. En esta reconstrucción mostraremos cómo el quinto estilo: el análisis estadístico de regularidades en poblaciones y el cálculo de probabilidades, al ser introducido en la física, se convierte en el motor de transformación del espacio controversial, desencadenando preguntas profundas acerca del significado de las leyes físicas, del determinismo y de la realidad.

### **3. El núcleo del espacio controversial: el concepto de determinismo**

A la hora de reconstruir este espacio controversial se presentan dos dificultades asociadas con el núcleo de este espacio. La primera de ellas se debe a que el problema del determinismo tiene una larga tradición discursiva en la filosofía y, por tanto, es necesario delimitar los alcances temporales del debate. La controversia acerca del determinismo se extiende a lo largo de la historia de Occidente como la filosofía misma: aparece ya en las críticas de Aristóteles al determinismo de los atomistas y establece una diferencia sustancial entre el estoicismo (determinista) y el epicureísmo (indeterminista) durante el periodo helenista. En el medioevo cristiano la discusión aparece en la contraposición entre el determinismo frente a la omnipotencia de Dios, pues la predestinación es una consecuencia lógica y necesaria de la omnisciencia divina. Por esta razón, y por la forma en que la controversia ha mutado y se ha adaptado a diferentes épocas y problemas, el determinismo llega a la modernidad como un término con un amplio rango de aplicación. Se lo ha relacionado filosóficamente con otros conceptos como el de causalidad, necesidad, ley natural o

incluso con la adecuación de las matemáticas al mundo. Algunos autores, como Earman (1986), por ejemplo, caracterizan esta discusión como una Torre de Babel, es decir, más como un problema de lenguaje y de definición que como un problema ontológico.

La segunda dificultad, no menos importante, es que el problema del determinismo se discutió en el contexto de diferentes teorías físicas, es decir, para diferentes conjuntos de fenómenos físicos; en cada una de las teorías las implicaciones de la adopción o no del determinismo son diferentes y se relacionan con distintos puntos de vista epistemológicos, metodológicos y ontológicos. Por este motivo, proponer una noción prescriptiva de determinismo implicaría cancelar muchos de los matices de la controversia y, sobre todo, no permitiría ver cómo la noción evolucionó a través del debate. Sin embargo, es importante delimitar algunos aspectos y plantear algunos de los matices más relevantes del uso del término “determinismo” en la tradición occidental durante el periodo que nos ocupa, con el fin de contar con algunos puntos firmes para el análisis del desbloqueo conceptual de la controversia.

A continuación, presentaré algunos significados usuales del concepto de determinismo en la tradición científica entre el siglo XVIII y principios del siglo XX, así como los diferentes matices de la aplicación del término, con miras a comprender mejor el núcleo del espacio controversial. Y dado que el problema del determinismo en la física ha sido abundantemente estudiado en las últimas décadas, es posible encontrar buenos tratados que analizan el problema conceptual a profundidad. Aquí solo presentaremos un breve esbozo, necesario para que la discusión posterior resulte inteligible.

### *3.1 Formas del determinismo*

En general, el determinismo ha sido concebido en física en dos sentidos: por un lado, como característica o propiedad de un objeto o fenómeno; por otro lado, como conexión constante y unívoca de eventos. En la primera acepción “determinado es aquello que tiene propiedades definidas y, por tanto, puede ser caracterizado de un modo inequívoco.” (Lombardi 2000, p. 19). En cambio, como conexión constante y unívoca, el término “determinación” implica la relación entre eventos tanto reales como ideales en una línea de tiempo bien definida. En este sentido, el determinismo supone la existencia de líneas unívocas de sucesión temporal para todos los sucesos que conforman la historia del universo. Esta definición es la que se relaciona con problemas referidos a las nociones de realidad, causalidad, necesidad y azar.

Asimismo, dependiendo del tipo de ítems a las que se aplique el determinismo, éste puede adoptar un sentido semántico, gnoseológico (epistemológico) u ontológico. (Lombardi 2000, p. 20). El determinismo semántico evalúa el formalismo de las teorías. Se decide si una teoría es determinista o no analizando si sus leyes, representadas por ecuaciones diferenciales, cumplen con ciertas características: el formalismo deberá garantizar la conexión constante y unívoca de los eventos a través del tiempo. Algunos autores actuales, sobre la base de este criterio, han reconsiderado la idea tradicional de que la mecánica clásica es determinista y la mecánica cuántica es indeterminista (V. Earman 1986; Butterfield 1998; Lombardi 2000; Bishop 2006). Por otra parte, el determinismo epistémico se refiere a la posibilidad de conocer los estados de los sistemas físicos en cuestión. Incluso en el caso en que la teoría presente un formalismo que se adecue a la definición de determinismo en sentido semántico, lo que interesa aquí es discutir si es humanamente posible conocer, por ejemplo, con suficiente precisión las condiciones iniciales del estado de un sistema con el fin de que puedan conocerse sus estados futuros dentro de una precisión acotada. Esto significa que el énfasis no se encuentra en el lenguaje sino en la capacidad humana de conocer la evolución del sistema a través del tiempo.

Finalmente, el determinismo ontológico apunta a una condición más fundamental: pretende garantizar las condiciones del determinismo en la realidad misma. Si bien se ha evitado este enfoque ontológico del problema en la tradición filosófica analítica del siglo XX, algunos autores consideran que, en último término, toda discusión sobre el determinismo tiene como telón de fondo un enfoque realista: ¿es la naturaleza de los fenómenos físicos determinista o no? Es decir, la pregunta por el determinismo, aunque se formule con énfasis en los aspectos semánticos o epistémicos, en última instancia es siempre una pregunta ontológica. En este sentido, Lombardi afirma:

Si se reflexiona acerca de estas definiciones provisionales a la luz de la historia de la filosofía, puede comprobarse que, salvo en épocas recientes, el problema del determinismo se formuló en términos metafísicos: cuando James (1897) se refería a un futuro sin posibilidades ocultas en su seno no aludía a cuestiones metodológicas o gnoseológicas, sino a las características de la realidad misma. En otras palabras, históricamente el núcleo central de la noción de determinismo apunta a una idea referida al plano ontológico. (2000, p. 21)

Earman también concuerda con este punto de vista cuando descarta el problema lingüístico del determinismo (1986, pp. 20–21). Adicionalmente, las relaciones entre determinismo, causalidad, necesidad y ley natural también apuntan en esta dirección ontológica, como se verá a continuación.

### *3.2 Determinismo, causalidad y predictibilidad*

Estos diferentes sentidos de la noción de determinismo aparecen fuertemente asociados con las nociones de causalidad, predictibilidad y ley natural. En la tradición filosófica estas asociaciones suelen considerarse resultado de errores conceptuales o de una inadecuada elucidación de los términos involucrados. Aquí, por el contrario, resaltaremos este tipo de asociaciones como parte importante de la huella histórica de la evolución de dichos conceptos. Un esbozo general, muy ilustrativo de esta evolución y de las razones que enlazaron estos conceptos, puede encontrarse en Crombie (1995).

En términos generales, se asocia determinismo con predictibilidad cuando lo que está en juego en la discusión apunta al sentido semántico o epistémico de la noción de determinismo. Por otro lado, causalidad, determinismo y ley física aparecen asociados cuando el énfasis de la discusión es ontológico, aunque pueden observarse algunos casos en los que el interés también es epistémico. Puede afirmarse, entonces, que la discusión acerca del determinismo tiene un parentesco cercano con la noción de predictibilidad en ciertos autores y en contextos de controversias ligados al sentido semántico y epistémico del término, mientras que se conecta con la noción de causalidad cuando el interés de las discusiones se remite al plano ontológico o metafísico, por lo que entran en juego los problemas sobre el realismo, la necesidad y la ley natural. Sin embargo, no se puede trazar una clara línea divisoria entre estos conceptos hasta la primera mitad del siglo XX, como veremos más adelante (e.g., Forman 1984 [1971], pp. 102–110).

Con el término “causalidad” sucede algo semejante, ha sido utilizado en la historia de la filosofía en muchos sentidos que pueden asociarse de forma más fuerte o más débil con el determinismo. Por ejemplo: causalidad como equivalente a las leyes de la mecánica clásica, o a la conservación de la energía y el momento, a la visualización en el espacio y el tiempo, a la ausencia de acción a distancia, a la acción por contacto, o a la descripción mediante ecuaciones diferenciales. Estas asociaciones pueden agruparse también en semánticas, epistémicas u ontológicas, y aparecen tanto en los defensores de un enfoque causal, como en los que pretenden negar su validez:

En cada caso, sin embargo, estas definiciones especiales de causalidad, y a fortiori, el requisito general de determinación sin ambigüedad, fueron considerados como equivalentes a la suposición de la comprensibilidad de la naturaleza, y repudiados o defendidos como tales. (Forman 1984 [1971], p. 109)

En el periodo comprendido entre los siglos XVIII y XIX, el concepto de determinismo no fue objeto del análisis con el que se lo aborda en la actualidad, debido en parte a que físicos y filósofos de este periodo no discutían las implicaciones de una visión determinista en términos ontológicos, sino que la daban por sentado. Esta ausencia de confrontaciones respecto del determinismo se evidencia precisamente en la ambigüedad e imprecisión del término. Fue solo a partir de la introducción de discusiones provenientes de ámbitos ajenos a la física que la noción adquirió su actual significación. Así, en la medida en que los métodos estadísticos en la física empezaron a aceptarse tuvo sentido discutir sus implicaciones en la noción de ley natural y su relación con el concepto modal de necesidad, a la vez que se fue modificando y restringiendo el significado del determinismo para las teorías físicas.

#### **4. La controversia sobre el determinismo entre los siglos XVII y XVIII**

En la modernidad la discusión central sobre el determinismo se centró en compatibilizar el libre albedrío humano en un mundo mecanicista determinado por leyes universales. Esta fue una discusión recurrente entre muchos pensadores de la modernidad (Descartes, Spinoza, Leibniz, Kant). El centro de la discusión aquí no fue el determinismo ontológico, sino cómo definir la libertad humana de modo que fuera coherente con dicho determinismo ya presupuesto. La introducción de la mecánica y de la imagen del mundo-reloj agudizó en un primer momento estas discusiones: el problema era compatibilizar el movimiento de la materia (determinista) con el comportamiento humano. Algunos autores se decantaron por un determinismo intrínseco del comportamiento humano, dado que este último es también movimiento de materia. Otros intentaron preservar la libertad moral humana más allá del mecanismo de relojería que constituye el mundo. Fueron precisamente estas discusiones sobre el libre albedrío, en contraste con el mecanicismo, las que llevaron a diversos pensadores del siglo XVIII a plantear una definición de determinismo que habría de vincularlo con la doctrina de la necesidad de forma más radical de lo que ya había sido insinuada por los primeros pensadores modernos. Esta vinculación se vio reforzada a partir de la aplicación de los métodos estadísticos al análisis de poblaciones, en lo que Hacking (1992b) ha llamado la avalancha de números impresos, que se dio durante las primeras décadas del siglo XIX. Durante este periodo muchos autores creyeron ver un verdadero determinismo subyacente en la conducta humana: casos como el suicidio, la criminalidad, e incluso, la enfermedad, parecían ser solo consecuencia de la ley de los grandes números.

Es así como se establece una vinculación explícita entre determinismo y causalidad que profundiza el sentido ontológico del término “determinismo”.

Adicionalmente, y en estrecha relación con la convicción de un determinismo ontológico, se impone la confianza en la primacía de la razón para el conocimiento del mundo y el consecuente rechazo del azar intrínseco. Estos dos aspectos están íntimamente ligados con una visión ontológicamente determinista y pueden relacionarse fácilmente también con la visión mecanicista de la naturaleza. Autores como De Moivre se refieren al azar de un modo despectivo, convencidos de la existencia de una explicación racional detrás de todos los fenómenos:

El azar, en los escritos o discursos ateos, es un sonido absolutamente insignificante: no aporta determinación a ningún modo de existencia; ni siquiera a la existencia misma; no puede definirse ni entenderse, ni tampoco puede afirmarse ni negarse ninguna proposición que le concierna, excepto ésta: “el azar es una mera palabra”. (1738, p. 241; la traducción es mía.)

También Hume se expresa en términos similares: “Está comúnmente admitido por los filósofos que lo que el vulgo llama azar no es sino una secreta y oculta causa” (1888 [1739], p. 130); “Está universalmente admitido que nada existe sin una causa de su existencia y que el azar, cuando se lo examina estrictamente, es una mera palabra negativa y no significa ninguna fuerza real que pueda tener un ser en alguna parte de la naturaleza” (1902 [1748], p. 95).

El argumento de De Moivre descarta la existencia del azar sobre la base de su supuesta incomprendibilidad. Dado que el azar no puede abordarse a través de la razón, entonces no puede considerarse como parte constituyente de la naturaleza. Aquí se manifiesta una asociación fuerte entre ley, determinación y racionalidad. Hume en cambio, resalta la necesidad o causalidad subyacente como argumento para la negación del azar. Es decir, solo se habla de azar cuando se carece de un conocimiento completo de las causas, sin que esto signifique que la naturaleza no las contenga en sí misma. También aquí la relación entre determinismo, racionalidad e inteligibilidad es directa. De acuerdo con Hacking, estas afirmaciones de Hume sembraron la duda respecto del determinismo epistémico:

¿Por qué cada una de las citas [de Hume] comienza con: “está comúnmente admitido”, “está universalmente admitido”, “es universalmente reconocido”? ¿Ponen estas frases la carga de la prueba en otros filósofos en lugar de expresar el acuerdo de Hume? Pero aquello de que dudaba Hume era algo diferente; no dudaba de la realidad de la nece-

sidad, sino que dudaba de nuestro conocimiento de ella. Únicamente se mofaba de las pretensiones de conocer las operaciones íntimas de la naturaleza. (1990, p. 34)

Lo que aquí señala Hacking es un escepticismo respecto del determinismo en su sentido epistémico. Desde esta perspectiva, en el ámbito de la física el caso de Laplace es paradigmático. Su famoso *Essai Philosophique sur les Probabilités* comienza explicando la probabilidad del siguiente modo:

Todos los acontecimientos, incluso aquellos que por su insignificancia parecen no atenerse a las grandes leyes de la naturaleza, no son sino una consecuencia tan necesaria como las revoluciones del sol. Al ignorar los lazos que los unen al sistema total del universo, se los ha hecho depender de causas finales o del azar, según que ocurrieran o se sucedieran con regularidad o sin orden aparente, pero estas causas imaginarias han ido siendo descartadas a medida que se han ido ampliando las fronteras de nuestro conocimiento, y desaparecen por completo ante la sana filosofía que no ve en ellas más que la expresión de nuestra ignorancia de las verdaderas causas. (1996 [1814], p. 24)

Este punto de vista en la física puede considerarse como parte del terreno común del espacio controversial de la época, y refleja precisamente el estado de bloqueo conceptual respecto al determinismo ontológico. Todo fenómeno que se aleje de la determinación precisa esconde información que no hemos podido determinar a través de nuestras observaciones. Pero no podemos dudar de que esa información existe efectivamente en el mundo.

## 5. El bloqueo conceptual de la controversia durante el siglo XIX

Las relaciones entre el determinismo, la doctrina mecanicista y paulatinamente la asociación con las ideas de necesidad, tal como se acaban de exponer, conducen al bloqueo conceptual de esta controversia. Esto significa que las discusiones se agotan sobre la base de un acuerdo generalizado acerca del determinismo de las leyes físicas newtonianas. Esto no implica que no existieran debates respecto de estas leyes, sino que el carácter determinista de tales leyes no estaba en discusión. En términos generales puede afirmarse que los físicos de finales del siglo XVII adoptaron de un modo irrestricto las leyes de Newton, así como sus implicaciones metafísicas: el significado del concepto de ley física, las posibilidades de predicción a partir de estas leyes, las respectivas consecuencias epistemológicas y de racionalización de la naturaleza y, por consiguiente, los límites del conocimiento humano acerca del mundo. Éste es

un primer aspecto del terreno común que puede relacionarse con un consenso general acerca del determinismo ontológico.

Durante este periodo, otro de los acuerdos generalizados que forman parte del terreno común del espacio controversial acerca del determinismo es el correspondiente a los métodos y valores de la mecánica clásica. Si acordamos con Crombie y Hacking en los estilos de pensamiento enumerados anteriormente, es posible postular los siguientes elementos compartidos por todos los actores de este espacio:

(i) la metodología propia del pensamiento matemático, (ii) la relevancia de la observación y la medición, y (iii) la construcción de modelos por analogía. Estos tres estilos sientan las bases metodológicas y metafísicas para la física de los siglos XVIII y XIX. El principal programa de investigación a lo largo de esta época fue formular las nuevas teorías de acuerdo con el punto de vista mecánico de la naturaleza, cuyo supuesto central era el movimiento de la materia como base de todos los fenómenos físicos, y cuyo programa de reducción pretendía explicar todo lo físicamente real a partir de dicho movimiento y del conocimiento de sus causas.

Este programa de reducción habría de extenderse hasta los primeros años del siglo XX. Por ejemplo, aún en fechas tan tardías como 1899, Heinrich Hertz escribía: “Todos los físicos estamos de acuerdo

en que el problema de la física consiste en rastrear los fenómenos de la naturaleza hasta las leyes simples de la mecánica” (1899, p. xxii; la traducción es mía). Sin embargo, Klein (1973) afirma que, para la época en la que Hertz escribe estas palabras, ya no todos los físicos estaban de acuerdo con que la meta de la física fuera explicar el mundo en términos mecánicos. Algunas corrientes alternativas, como el energetismo, se ubicaron en el centro del debate poniendo en duda los principios del mecanicismo. El planteamiento central del movimiento energetista apuntaba a la unificación de todos los fenómenos de la física en términos de energía; si bien muchos energetistas no eran mecanicistas, compartían con estos las aspiraciones reduccionistas para la física. Algunos de los defensores del energetismo fueron abiertamente anti-newtonianos; otros, sobre todo los ingleses, fueron mecanicistas.

La idea era que se podrían reducir las leyes de Newton, y sus derivados, a los principios y leyes más generales de la energía sin necesidad de recurrir a las que Mach llamó “ficciones convenientes” de los átomos y las moléculas. Este movimiento no se restringió solo a Alemania, sino que tuvo influencias en Francia, Suecia, Italia y Estados Unidos y

no se limitó solo a la física, sino que también intentó ser un marco conceptual desde el cual entender fenómenos humanos como la voluntad y la felicidad, en consonancia con un espíritu de época anti-materialista. (Alvarez 2019, p. 93)

Así pues, a pesar de que durante el siglo XIX podemos encontrar un programa común entre los físicos y la sensación general de acuerdo y estabilidad, una mirada más detallada de finales de siglo muestra cómo emergió un foco rico en discusiones de todo tipo:

Las dos nuevas ciencias de la termodinámica y la electrodinámica, ambas definidas desde mediados de siglo, diferían en muchos aspectos de la mecánica clásica y, sin embargo, estaba muy extendida la creencia de que se podían entender de forma mecánica, de hecho, tal comprensión ya había sido lograda. James Clerk Maxwell no vio contradicción entre su teoría de campo del electromagnetismo y la mecánica de Newton. (Kragh 2014, p. 3; la traducción es mía.)

Es precisamente en la segunda mitad del siglo XIX que el espacio controversial comienza a adquirir movimiento, ve entrar y salir algunos temas del campo visible de las discusiones. El terreno común aceptado por el grueso de la comunidad científica incluyó, en este periodo, el valor de la demostración empírica, la importancia de las matemáticas y del aparato formal para la descripción del mundo y el criterio de realidad para evaluar la adecuación de las teorías al mundo físico. Al respecto afirma Kragh:

La mecánica newtoniana, o más bien las versiones más avanzadas de la mecánica con raíces en las leyes de Newton, sin duda, se tenía en gran estima a fines del siglo XIX. Se aceptaba ampliamente que el objetivo de la física, o incluso su definición, era la reducción de todos los fenómenos físicos a los principios de la mecánica. (2014, p. 3; la traducción es mía.)

Con este breve panorama no se pretende repetir la idea de que la física durante el siglo XIX fuese aburrida; solo se intenta resaltar la existencia de grandes acuerdos que permitieron una cierta cohesión en la comunidad científica y de un evidente fortalecimiento de la visión mecanicista del mundo que estos acuerdos respaldaban.

## 6. El desbloqueo conceptual de la controversia: la irrupción de la estadística a finales del siglo XIX

El determinista afirma que el mundo opera mediante leyes de la naturaleza fijas y causales. El indeterminista replica que esas leyes solo pueden ser la consecuencia de la ley de los grandes números aplicada a un gran número de hechos (Hacking 1990, p. 156)

Como veremos a continuación, la separación de las nociones de determinismo, causalidad, necesidad y ley física que se produjo a principios del siglo XX necesitó la confluencia de diferentes factores, entre ellos la introducción del estilo de razonamiento estadístico (Hacking 1975, 1990), la interpretación de la segunda ley de la termodinámica en términos de probabilidad (Brush 1976, 1983, 2003) y la búsqueda de una comprensión más profunda de la irreversibilidad (Lombardi 2009). En esta etapa de la controversia nos centraremos en el papel que desempeña el estilo estadístico al impulsar el renacimiento de la controversia acerca del determinismo como resultado de su desbloqueo conceptual. Como señala Lombardi en su estudio sobre el determinismo: “Según el historiador de la ciencia Stephen Brush (1976), la confianza en el determinismo comienza a mermar ya en la segunda mitad del siglo XIX, con la irrupción de los métodos estadísticos en la física a través de la Teoría Cinética de los Gases” (2000, p. 13). La intrusión de la idea de ley estadística, con la que muchos pensadores comenzaban a reemplazar el modelo ideal de ley mecánica, favoreció la discusión acerca del sentido físico de este nuevo tipo de ley. La red de controversias en la que el problema del determinismo habría de insertarse ya había instalado ciertos temas de debate: la larga discusión sobre el libre albedrío, como vimos en un apartado anterior; las disputas sobre la estructura continua o discontinua de la materia (a partir de la reintroducción de la hipótesis atomista) y la controversia sobre la naturaleza de la luz también estaban vigentes en esta época; además, en la segunda mitad del siglo XIX la controversia con los energetistas entra en escena, y más o menos en el mismo periodo la controversia sobre el carácter estadístico de la termodinámica.

Es muy importante resaltar cómo la introducción de los métodos estadísticos en la física, acompañada de la hipótesis atomista, genera un movimiento desde el terreno común hacia el foco de este espacio controversial, sacando a la luz, en diferentes momentos, las discusiones sobre el determinismo, la probabilidad y la irreversibilidad. Durante la primera mitad del siglo XIX el uso de la estadís-

tica en otras disciplinas, como la medicina, la fisiología y la biología, ya había instalado la discusión acerca de las regularidades estadísticas observadas en colecciones de datos cada vez más grandes y de las probabilidades asociadas a ellas (la controversia alrededor de los métodos estadísticos para el análisis de poblaciones se presenta en detalle en Hacking 1990). Los matemáticos y los estadígrafos desarrollaban métodos cada vez más refinados para analizar dichas regularidades, con lo que surge la pregunta acerca de su significado conceptual: ante un conjunto enorme de datos referentes a un mismo fenómeno, algunos datos son extremos (máximos y mínimos), pero la mayoría de ellos se agrupan alrededor de ciertos valores; la pregunta que se impone aquí es ¿qué significan esas regularidades? Y ¿cómo puede interpretarse la probabilidad en el marco de una visión mecanicista del mundo? Estas preguntas irán guiando la aparición del desacuerdo sobre el determinismo ligado a una discusión más sutil acerca de la pertinencia de las relaciones causales y su relación con las probabilidades.

Es en este periodo, a fines del siglo XIX, que se crean “nuevos objetos”, propios del estilo de razonamiento estadístico, y se avanza hacia la autonomía de las leyes estadísticas. En ese sentido, una consecuencia de intentar reducir la segunda ley de la termodinámica a las leyes de la mecánica clásica es la aparición de estos nuevos objetos para la física: la concepción de un gas como un agregado de partículas en conjuntos propios que Boltzmann llama ergode en 1884 y que más tarde Gibbs modifica en términos de ensemble. Estos objetos tendrán las características propias de un objeto estadístico, que solo puede ser conocido y estudiado a través del estilo de razonamiento estadístico, tal y como fueron estudiadas las poblaciones por Quetelet en 1844. Adicionalmente, la autenticación de las leyes estadísticas se produce durante este periodo, alargándose para la física hasta la primera década del siglo XX. Se verá cómo estos elementos están relacionados con el núcleo de este espacio controversial.

### *6.1. Interpretación estadística de la Segunda Ley de la termodinámica*

La historia de la termodinámica durante la segunda mitad del siglo XIX es clave para delimitar al menos cuatro controversias importantes, todas ellas relacionadas con el determinismo. En primer lugar, aparecen las discusiones acerca de la reducción de los principios de la termodinámica a la mecánica; esta controversia se enmarca en las diferentes disputas alrededor del reduccionismo e incluye la discusión con los energetistas. En segundo lugar, surge la discusión sobre la irreversibilidad, precisamente como consecuencia de esos intentos de

reducción de la termodinámica a la mecánica. Finalmente, reaparece la discusión sobre la constitución de la materia debido a la introducción de la hipótesis atómica en la Teoría Cinética de Gases. Cada una de estas controversias amerita un estudio detallado; aquí, por cómo hemos delimitado el enfoque de este estudio, nos centraremos en mostrar cómo encajan las piezas para el posterior desbloqueo conceptual de la controversia sobre el determinismo. Veremos cómo la introducción de las discusiones sobre probabilidad e irreversibilidad, a través de los intentos de reducción de la Segunda Ley a la mecánica, establecen los elementos necesarios para el posterior desbloqueo.

La primera ley estadística que aparece en la física es la ley de distribución de velocidades, formulada en 1861 por Maxwell. Con esta ley se introducen los métodos estadísticos para el cálculo de las velocidades de las moléculas de un gas en estado de equilibrio. “El núcleo de su aporte consiste en haber logrado definir el estado macroscópico de equilibrio termodinámico en términos mecánicos microscópicos” (Lombardi 2009, p. 132). Sin embargo, la aparición de esta ley estadística no fue suficiente para lograr su autonomía en los términos que propone Hacking, pues se requerían nuevas explicaciones que autentificaran el estilo estadístico: como ya hemos mencionado, fue necesario presentar nuevos objetos, propios del estilo. Los primeros pasos para la autentificación del estilo incluyen, además de la postulación de la ley de distribución de Maxwell como primera ley estadística, la introducción de la noción de entropía por Clausius en 1865, y las propuestas de Boltzmann, quien entre 1866 y 1877 publicó una serie de trabajos que lo llevarían a plantear finalmente la ley de distribución de Maxwell-Boltzmann (un refinamiento de la anterior ley de distribución de Maxwell). La consecuencia más importante de esta nueva versión de la ley de distribución fue la primera interpretación puramente probabilística de la Segunda Ley, en la que las explicaciones causales fueron sustituidas por explicaciones estadísticas, generando un impacto directo en la noción de determinismo.

El proceso histórico que llevó a Boltzmann a presentar la interpretación estadística de la Segunda Ley de la termodinámica, y su posterior aceptación por parte de la comunidad científica, es rico en confrontaciones y desacuerdos. El periodo comprendido entre 1876 y 1895 fue un periodo controversial respecto del significado estadístico de la Segunda Ley, y tiene, en consecuencia, un profundo valor epistémico, pues nos muestra el proceso dinámico que supone la asimilación de novedades por parte de la comunidad científica; en este caso, la asimilación del estilo estadístico en la física. A grandes rasgos, las controversias con Boltzmann sobre la interpretación estadística empiezan en 1876 cuando Loschmidt señala algunos puntos problemáticos del trabajo de 1872

de Boltzmann donde este propone, por primera vez, el que hoy llamamos Teorema H. La crítica de Loschmidt, que hoy se conoce como “paradoja de Loschmidt”, apunta a demostrar que es imposible derivar la Segunda Ley de la termodinámica exclusivamente a partir de los principios de la mecánica clásica. El interés central de Loschmidt en esta crítica es llamar la atención sobre la irreversibilidad, y el efecto que tuvo en la réplica de Boltzmann fue un fortalecimiento de su enfoque estadístico.

La discusión de Boltzmann con Loschmidt condujo a algunos intercambios que se publicaron en la revista *Wiener Berichte* (1876– 1877), y fue a través de ellos que Boltzmann replanteó el enfoque de su explicación. Los enunciados genuinamente probabilistas para la explicación del equilibrio térmico empiezan a hacerse cada vez más evidentes:

Dado que hay infinitamente más distribuciones de estados uniformes que no uniformes, el último caso es extraordinariamente improbable y puede considerarse imposible a efectos prácticos; así como puede considerarse imposible que si uno comienza con oxígeno y nitrógeno mezclados en un recipiente, después de un mes encontrará oxígeno químicamente puro en la mitad inferior y nitrógeno en la mitad superior, pues aunque según la teoría de la probabilidad esto es sumamente improbable, no es completamente imposible. (Boltzmann 2003b [1877], p. 366; véase la discusión en Kuhn 1987 [1978]. La traducción es mía.)

Con este nuevo enfoque admitía que

un mismo valor de  $f$  [función de distribución de velocidades] en  $t_0$  es compatible con un número infinito de configuraciones de las moléculas dentro del intervalo inicial de velocidades, cada una de las cuales corresponde a un cierto microestado mecánico diferente. Por lo tanto, una única evolución temporal de la función  $f$  “resume” evoluciones mecánicas completamente diferentes, y es aquí, precisamente, donde entra en juego el cálculo de probabilidades. (Lombardi 2009, p. 133)

El giro de Boltzmann respecto de sus ideas acerca de la Segunda Ley radica en que abandona el enfoque cinético con el que intentaba explicar la distribución de velocidades a partir de mecanismos de colisión entre las moléculas del gas, y adopta un enfoque mucho más general en el que recurre al valor de la probabilidad de una cierta distribución, independientemente de cómo esa configuración llega a darse. Aunque esta discusión giró explícitamente en torno al problema de la irreversibilidad, tuvo consecuencias directas en la interpretación estadística y por consiguiente en la concepción del determinismo.

Este es un punto fundamental para el núcleo de la controversia que nos ocupa, pues representa un giro drástico en la concepción de determinismo y su relación con las ideas de causalidad y ley física. La noción de ley, en su sentido mecánico más estricto, no puede albergar ninguna probabilidad, pues sería necesario aceptar la existencia de un azar subyacente en el comportamiento de la materia. Y recordemos que el azar, al ser incognoscible, fue descartado como posible constituyente del mundo. Así, la postulación del estado de un sistema no como necesario sino como probable implicó la reformulación del determinismo asociado a una concepción de ley como necesidad, así como la postulación de leyes que admitieran, en su seno, la probabilidad y el azar. Para este periodo, en el que se dan las controversias sobre la interpretación estadística de la Segunda Ley, ya algunos científicos habían dado el giro hacia la aceptación de la ley de distribución como genuina ley física, entre ellos Maxwell y Boltzmann principalmente; pero habría que esperar hasta 1895 para que esta asimilación empezara a hacerse más popular entre los expertos.

En agosto de 1894, *The British Association for the Advancement of Science* realizó su congreso periódico en Oxford. En dicho encuentro, uno de los temas principales a debatir era la segunda parte del informe que, sobre el conocimiento de la termodinámica, dicha asociación le había encargado a George H. Bryan unos años antes. Como consecuencia de este encuentro y a partir de una carta enviada a *Nature* por Edward P. Culverwell (1894), en octubre de ese mismo año, se discutieron diferentes aspectos e implicaciones del teorema H de Boltzmann. Nuevamente, como en la discusión con Loschmidt, los aspectos centrales giraron en torno a la irreversibilidad; pero es importante resaltar aquí que esos intercambios permitieron a la comunidad científica profundizar sobre las consecuencias de la introducción de la probabilidad en las leyes de la física, y representan, en consecuencia, el comienzo de la aceptación de un determinismo estadístico, condición necesaria para el desbloqueo conceptual de la controversia.

Para finales del siglo XIX, el espacio controversial estaría configurado como se ilustra en la Figura 1 (página siguiente). Allí pueden verse los diferentes elementos que constituyen el espacio, así como algunas de sus transformaciones: hay controversias, como el libre albedrío, que salen del foco e ingresan otras como la interpretación de la probabilidad. El terreno común cambia aquí principalmente con respecto al siglo XVIII debido a la introducción de dos nuevas teorías: la termodinámica y el electromagnetismo, lo que implica el fortalecimiento del programa de reducción y unificación. Además, la aplicación de los métodos estadísticos al análisis de poblaciones, como ya hemos señalado, implicó una reformulación del concepto de ley, por fuera de la física. Para finales

del siglo XIX ya se empieza a dar una aceptación de un determinismo estadístico como consecuencia de la aceptación de leyes estadísticas. Este nuevo determinismo se caracteriza porque, si bien se considera que el sistema contiene las variables físicas de estado bien determinadas, cierto tipo de fenómenos y los procesos que sufren en el tiempo no permiten conocer completamente toda la información del estado micro en términos mecánicos, sino estadísticos. Es aquí donde se hacen necesarios los nuevos objetos para explicar sistemas como un gas, en el que no es posible conocer el estado de cada una de las partículas.

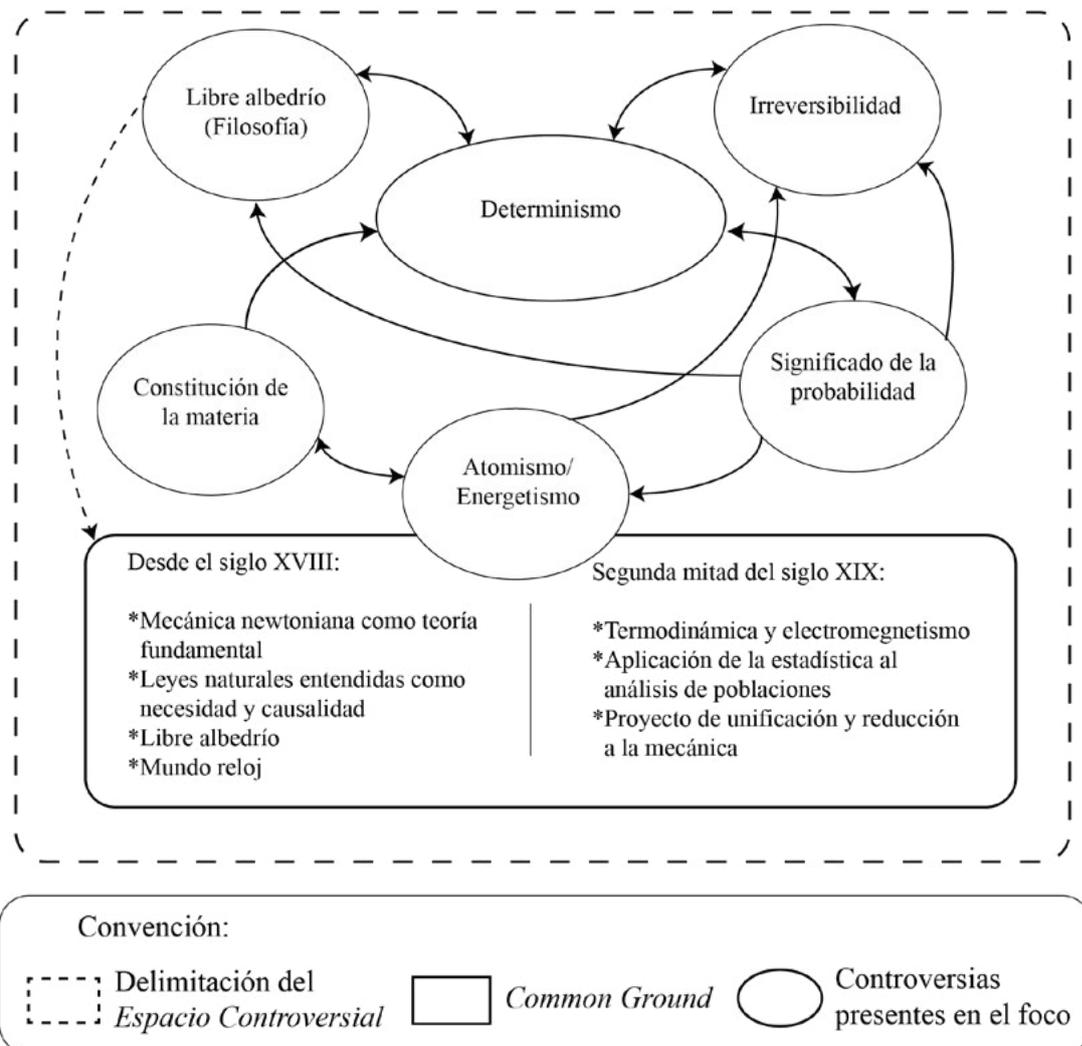


Figura 1: Estructura del espacio controversial

La última década del siglo XIX y la primera del XX fueron el periodo de la asimilación generalizada de los métodos estadísticos. Aún así, para este periodo, podemos encontrar a Boltzmann intentando explicar, una vez más, su nuevo enfoque probabilista. En una réplica que escribe a una crítica de Zermelo (nuevamente sobre el problema de la irreversibilidad) se queja de la poca recepción que han tenido sus ideas en Alemania y explica el énfasis probabilista de la Segunda Ley:

A menudo he enfatizado, lo más claramente posible, que la ley de distribución de Maxwell de velocidades entre las moléculas de gas no es en modo alguno un teorema de la mecánica ordinaria que se pueda probar solo con las ecuaciones de movimiento; por el contrario, solo se puede demostrar que tiene una probabilidad muy alta y que, para una gran cantidad de moléculas, todos los demás estados tienen, en comparación, una probabilidad tan pequeña que, a efectos prácticos, pueden ignorarse. Al mismo tiempo, también he enfatizado que la segunda ley de la termodinámica es, desde el punto de vista molecular, una ley meramente estadística. (Boltzmann 2003a [1896], p. 393; véase Stöltzner 1999. La traducción es mía.)

Vemos, entonces, cómo se relacionaron en este periodo las discusiones sobre irreversibilidad, probabilidad, mecánica estadística y determinismo. El hecho de que la noción de determinismo fuera aún difusa hacía que su relación con la idea de necesidad, ley física y causalidad levantara sospechas sobre los resultados probabilistas de Boltzmann. El indeterminismo epistémico asociado a estos métodos ingresa al foco de este espacio porque “si la mecánica estadística describe un sistema macroscópico especificado de un modo incompleto desde un punto de vista mecánico, las probabilidades deben ser interpretadas como probabilidades por ignorancia” (Lombardi 2009, p. 137). Si la necesidad es ley, la naturaleza deberá actuar de modo que cada estado sea posible o imposible, no meramente probable. Y esto abre un capítulo interesante sobre la interpretación de la probabilidad en términos de mera ignorancia o, como sucederá más adelante, con la interpretación de la ley como regularidad estadística, admitiendo así un indeterminismo ontológico.

Ahora bien, respecto de la relación entre determinismo y probabilidad, no está de más resaltar que una de las condiciones para la aplicación del determinismo en una teoría es la existencia de una relación unívoca entre el estado de un sistema y un instante temporal. Pero recordemos que, para la demostración del Teorema H, Boltzmann propone que, para cada instante, un mismo valor de  $f$  (función de distribución de velocidades) depende de un número infinito de configuraciones mecánicas. En este punto se evidencia la consolidación de la explicación estadística, pues se abandona la explicación de la distribución

a partir de las causas (velocidades y colisiones moleculares individuales) y se adopta una genuina explicación estadística, intentando determinar las distribuciones más probables, independientemente de sus causas. Con la aceptación de este tipo de explicaciones, el estilo de razonamiento estadístico adquiere finalmente su autonomía.

### *6.2 Gibbs: la consolidación de los métodos estadísticos y el desbloqueo conceptual*

El papel de las ideas de Gibbs fue determinante para cerrar algunos de los desacuerdos que hemos presentado hasta aquí. En el prefacio de su obra de 1902, *Elementary Principles in Statistical Mechanics*, Gibbs explica claramente que su interés no apunta a la resolución de los problemas de la termodinámica, sino a fundamentar una mecánica estadística como una teoría más general que facilite métodos y herramientas fundamentales que puedan aplicarse a diferentes problemas de la física. Por este motivo prescinde de cualquier hipótesis sobre la constitución de la materia y evita introducirse en las controversias sobre la reducción de la termodinámica a la mecánica, es decir, intenta mantenerse al margen de la controversia sobre la irreversibilidad. Al respecto dice en su obra:

Además, evitamos las dificultades más graves cuando, renunciando al intento de formular hipótesis sobre la constitución de los cuerpos materiales, realizamos investigaciones estadísticas como una rama de la mecánica racional. En el estado actual de la ciencia, parece casi imposible formular una teoría dinámica de la acción molecular que abarque los fenómenos de la termodinámica, la radiación y las manifestaciones eléctricas que acompañan la unión de los átomos. (Gibbs 1902, p. 13; la traducción es mía.)

El propósito de Gibbs es fundamentar una nueva física esencialmente estadística, y presentar de forma canónica sus ecuaciones y sus métodos propios. Así, se aleja de las controversias del viejo continente y da autonomía, de forma definitiva, a los métodos estadísticos para la física clásica. No obstante, como señala Brush (1976), es esta consolidación de los métodos estadísticos lo que abrirá definitivamente las puertas al indeterminismo ontológico inherente a la mecánica cuántica que aparecería unas décadas más tarde. Es decir, en el ámbito de la física la obra de Gibbs es el último paso necesario para el desbloqueo conceptual de la controversia. Sin embargo, para la época en la que Gibbs publica su obra, en el campo de la filosofía ya algunos autores ponían en duda la idea de un determinismo ontológico. Peirce, por ejemplo, en su artículo "The Architecture of Theories" publicado en *The Monist*, plantea dudas sobre los tradicionales conceptos de ley física, causalidad y determinismo, al afirmar:

la única manera posible de dar cuenta de las leyes de la naturaleza y de la uniformidad en general es suponer que son resultado de la evolución. Esto supone que no son absolutas, que no son obedecidas con precisión. Supone un elemento de indeterminación, de espontaneidad o de azar absoluto en la naturaleza. Igual que, cuando tratamos de verificar cualquier ley física, encontramos que no puede satisfacer de forma precisa nuestras observaciones, y atribuimos correctamente la discrepancia a errores de observación, así tenemos que suponer la existencia de discrepancias mucho más diminutas debidas a la fuerza imperfecta de la ley misma, a una cierta desviación de los hechos respecto de cualquier fórmula definida. (Peirce 2012b [1891], p. 332)

En este párrafo convergen claramente los problemas del determinismo epistémico y ontológico, además de las nociones de causalidad y de ley física. Tanto en este artículo, como en “The Doctrine of Necessity Examined” (2012a [1892]), Peirce pone de manifiesto los primeros indicios de lo que Hacking (1990) llama la erosión del determinismo. En efecto, a las puertas del siglo XX, el acuerdo sobre el determinismo ontológico ya comienza a quebrarse, tanto en el ámbito científico como en el filosófico.

Finalmente, dada la relevancia que la hipótesis atómica tuvo en la movilización de las controversias de este espacio, no puede cerrarse esta primera etapa sin mencionar brevemente los eventos de 1905 respecto de la aceptación de la existencia de los átomos por parte de la comunidad científica. El artículo de Einstein (1905) titulado “Ueber die von der molekular-kinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen” y las posteriores contrastaciones experimentales que Perrin realizó fueron determinantes para que la existencia de los átomos dejara de considerarse una hipótesis. Este es el argumento que brinda respaldo final al enfoque probabilista de Boltzmann. Con estas controversias y con los nuevos elementos conceptuales que hemos señalado aquí, el espacio controversial está listo para sacar a la luz la discusión sobre el determinismo ontológico. Por las profundas implicaciones que esta controversia tuvo para la física del siglo XX, reservo la presentación de ese periodo del espacio controversial en un estudio aparte.

## **7. Conclusiones: indeterminismo epistémico en el marco de un determinismo ontológico**

En el presente trabajo he mostrado la estructura del espacio controversial acerca del determinismo desde mediados del siglo XIX hasta la primera década del siglo XX. Es a partir de este espacio así estructurado que se desarrollará la controversia en torno al determinismo ontológico asociada a la mecánica cuántica. Mi propósito fue reconstruir la red de controversias que aparecen en el espacio durante el periodo precontroversial, y mostrar cómo estas controversias iniciales llevaron a los actores al escepticismo respecto de un terreno común en el que el determinismo ontológico era aceptado por la comunidad científica de un modo generalizado. Partimos de algunos supuestos que ya señalaron Brush (1976), Hacking (1975, 1990) y Lombardi (2009) sobre la relación de los métodos estadísticos introducidos durante la segunda mitad del siglo XIX, la controversia sobre la irreversibilidad, y los cambios acaecidos alrededor del determinismo en la física hasta la primera década del siglo XX. También consideramos fundamental la hipótesis atomista que, si bien fue una controversia menos extensa que las demás (en este espacio en particular), resultó central para la introducción de la estadística en la física. Sobre la base de estos supuestos, y usando las herramientas conceptuales de los espacios controversiales y los estilos de razonamiento científico, logramos mostrar bajo una nueva luz cómo estos elementos están relacionados con las controversias de la red durante la primera etapa del espacio controversial.

Cerramos este primer estudio en el momento en el que todos los elementos conceptuales necesarios para el desbloqueo conceptual de la controversia sobre el determinismo han sido introducidos en la estructura del espacio: la aceptación de la mecánica estadística, a partir de los trabajos de Gibbs, y la aplicación de ésta a los problemas de la termodinámica, lo que representa la autentificación del estilo de razonamiento estadístico, además de la aceptación de la hipótesis atómica. En la segunda etapa de este espacio controversial estos acuerdos desembocarán en una discusión mucho más profunda que terminará por poner en duda la naturaleza determinista del mundo. Pero éste será el tema de un próximo artículo, continuación del presente trabajo.

\*\*Este artículo se escribió en el marco de una estancia de investigación de movilidad internacional del doctorado en “Lógica y Filosofía de la Ciencia”, financiada por la Universitat de València y llevada a cabo en la Universidad de Buenos Aires bajo la dirección de la Dra. Olimpia Lombardi, a quien quiero agradecer su dedicación y destreza en la estructuración de este trabajo, así como a su grupo por las discusiones y recomendaciones. A mi director, el Dr. Jesús Alcolea Banegas por sus diligentes correcciones y su incondicional apoyo. También, por su ayuda desinteresada, al Dr. Boris Ángel Rodríguez (Universidad de Antioquia) por sus orientaciones en los aspectos técnicos de este trabajo.\*\*

## BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, M., 2019, “Crisis de la física newtoniana y la primera etapa de la mecánica cuántica en la República de Weimar”, en O. Nudler (ed.), *El mundo amenazado: Las crisis globales y su repercusión en las ciencias, la filosofía y la literatura en el primer tercio del siglo XX*, Editorial UNRN, Viedma, pp. 87–98.

Beauchamp, T., 1987, “Ethical Theory and the Problem of Closure”, en Engelhardt and Caplan (eds.), *Scientific Controversies: Case Studies in the Resolution and Closure of Disputes in Science and Technology*, Cambridge University Press, Nueva York, NY.

Bishop, R.C., 2006, “Determinism and Indeterminism”, en D.M. Borchert (ed.), *Encyclopedia of Philosophy*, vol. 3, Thompson Gale, Farmington Hills, MI.

Boltzmann, L., 2003a [1896], “Reply to Zermelo’s Remarks on the Theory of Heat”, en *The Kinetic Theory of Gases*, trad. S.G. Brush, Imperial College Press, Londres, pp. 392–402. Publicado originalmente en *Annalen der Physik*, vol. 193, no. 4, pp. 773–784.

Boltzmann, 2003b [1877], “On the Relation of a General Mechanical Theorem to the Second Law of Thermodynamics”, trad. S.G. Brush, *The Kinetic Theory of Gases*, Imperial College Press, Londres, pp. 362–367. Publicado originalmente en *Sitzungsberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften*, part. II, 75, pp. 67–73.

Brush, S.G., 2003, *The Kinetic Theory of Gases*, Imperial College Press, Londres.

- Brush, 1983, *Statistical Physics and the Atomic Theory of Matter, from Boyle and Newton to Landau and Onsager*, Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Brush, 1976, *The Kind of Motion We Call Heat: A History of the Kinetic Theory of Gases in the 19th Century*, North-Holland Publishing Company, Amsterdam.
- Butterfield, J., 1998, "Determinism and Indeterminism", en Edward Craig (ed.), *Routledge Encyclopedia of Philosophy*, vol. 3, Routledge, Londres, pp. 33–39.
- Crombie, A.C., 1995, "Commitments and Styles of European Scientific Thinking", *History of Science*, vol. 33, no. 2, pp. 225–238.
- Culverwell, E., 1894, "Dr. Watson's Proof of Boltzmann's Theorem on Permanence of Distributions", *Nature*, vol. 50, no. 617.
- De Moivre, A., 1738, *The Doctrine of Chances: Or, a Method of Calculating the Probability of Events in Play* (ed. en línea 2014) (Cambridge Library Collection Mathematics), Cambridge University Press, Cambridge.
- Earman, J., 1986, *A Primer on Determinism*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht.
- Einstein, A., 1905, "Ueber die von der molekular-kinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen", *Annalen der Physik*, series 4, 17, pp. 549–560, en S.G. Brush, "A History of Random Processes. I. Brownian Movement from Brown to Perrin", *Archive for History of Exact Sciences*, vol. 5, no. 1, 1968, pp. 1–36.
- Forman, P., 1984 [1971], *Cultura en Weimar, causalidad y teoría cuántica: 1918–1927*, trad. José Manuel Sanchez Ron, Alianza, Madrid. "Weimar Culture, Causality and Quantum Theory, 1918-1927", publicado originalmente en *Historical Studies in the Physical Science*, vol. 3, pp. 1–115.
- Gibbs, J.W., 1902, *Elementary Principles in Statistical Mechanics*, Yale University Press, Cambridge.
- Hacking, I., 1992a, "'Styles' for Historians and Philosophers", *Studies in History and Philosophy of Science*, vol. 23, no. 1, pp. 1–20.

## II. ARTÍCULOS

---

- Hacking, 1992b, “Statistical Language, Statistical Truth, and Statistical Reason: The Self-Authentication of a Style of Scientific Reasoning”, *The Social Dimensions of Science*, en E. McMullin (ed.), University of Notre Dame Press, Notre Dame, pp. 130–157.
- Hacking, 1990, *The Taming of Chance*, Cambridge University Press, Cambridge. [Versión al castellano: *La domesticación del azar*, trad. Alberto L. Bixio, Editorial Gedisa, Buenos Aires, 2012.]
- Hacking, 1982, “Language, Truth and Reason”, en *Rationality and Relativism*, Hollis and Lukes (eds.), The MIT press, Cambridge, Mass.
- Hacking, 1975, *The Emergence of Probability* (reimpresión 2006), Cambridge University Press, Cambridge.
- Hertz, H., 1899, “Author’s Preface”, en *The Principles of Mechanics Presented in a New Form*, trad. D.E. Jones y J.T. Walley, MacMillan and Co., Nueva York, NY.
- Hume, D., 1902 [1748], *Enquiries Concerning Human Understanding*, en L.A. Selby-Bigge (ed.), Oxford University Press, Oxford.
- Hume, 1888 [1739], *A Treatise of Human Nature*, en L.A. Selby-Bigge (ed.), reimpresión 1967, Oxford University Press, Oxford.
- James, W., 1897, *The Will to Believe and Other Essays in Popular Philosophy*, Dover Publications, New York. [Versión al castellano: *La voluntad de creer y otros ensayos de filosofía popular*, trad. Ramón Vilà Vernis, Marbot, Barcelona, 2009.]
- Klein, M.J., 1973, “The Development of Boltzmann’s Statistical Ideas”, *Acta Physica Austriaca*, Suppl. X, pp. 53–106 Kragh, H., 2014, “A Sense of Crisis: Physics in the fin-de-siècle Era”, en M. Saler (ed.), *The Fin-de-Siècle World*, Routledge, Nueva York.
- Kuhn, T.S., 1987 [1978], *La teoría del cuerpo negro y la discontinuidad cuántica, 1894–1912*, trad. Paredes Larrueca, Alianza, Madrid.
- Laplace, P.S., 1996 [1814], *Ensayo filosófico sobre las posibilidades*, trad. Pilar Castrillo, Altaya, Madrid. Publicado originalmente como *Essai Philosophique sur les Probabilités*, Courcier, París.

- Lombardi, O., 2009, "El problema de la irreversibilidad, de Fourier a la teoría del caos", *Espacios controversiales*, en O. Nudler (ed.), Miño y Dávila, Buenos Aires, pp. 129–161.
- Lombardi, 2000, *El problema del determinismo en la física*, tesis doctoral, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.
- Mazur, A., 1981, *The Dynamics of Technical Controversy*, Communications Press, Washington, DC.
- McMullin, E., 1987, "Scientific Controversy and its Termination", en Engelhardt and Caplan (eds.), *Scientific Controversies: Case Studies in the Resolution and Closure of Disputes in Science and Technology*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Nudler, O., 2009, *Espacios controversiales. Hacia un modelo de cambio filosófico y científico*, Miño y Dávila, Buenos Aires.
- Nudler, 2004, "Hacia un modelo de cambio conceptual: espacios controversiales y refocalización", *Revista de Filosofía*, vol. 29, no. 2, pp. 7–19.
- Nudler, 2002, "Campos controversiales y progreso en filosofía. Manuscrito", *Revista Internacional de Filosofía*, vol. 25, no. 2, pp. 337–352.
- Peirce, Ch.S., 2012a [1892], "La doctrina de la necesidad examinada", revisado en *Obra filosófica reunida. Tomo I (1867–1893)*, en N. Houser y Ch. Kloesel (eds.), Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México, pp. 344–356. "The Doctrine of Necessity Examined", publicado originalmente en *The Monist*, vol. 2, no. 3, abril, pp. 321–337.
- Peirce, 2012b [1891], "La arquitectura de las teorías", revisado en *Obra filosófica reunida. Tomo I (1867–1893)*, en N. Houser y Ch. Kloesel (eds.), Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México, pp. 331–343. "The Architecture of Theories", publicado originalmente en *The Monist*, vol. 1, no. 2, enero, pp. 161–176.
- Stöltzner, M., 1999, "Vienna Indeterminism: Mach, Boltzmann, Exner", *Synthese*, vol. 119, no. 1/2, pp. 85–111.



---

**ARTÍCULO 2:**

**LA CONTROVERSIA SOBRE EL  
DETERMINISMO EN LA FÍSICA  
DURANTE LA PRIMERA MITAD DEL  
SIGLO XX**

Olga Varela Machado

Aceptado para publicación en: Ideas y Valores. Revista colombiana de Filosofía. Universidad Nacional de Colombia. Volumen 71, Número Especial 8 (noviembre 2022). DOI: 10.15446/ideasyvalores.v71n8Supl.102058

Recibido el 21 de febrero de 2022; aceptado el 17 de mayo de 2022.

### **RESUMEN:**

En este artículo presento una reconstrucción de la controversia sobre el determinismo en la física, a principios del siglo XX. Usaré el modelo de espacios controversiales de Oscar Nudler, pues permite analizar controversias haciendo énfasis en el cambio conceptual. Esto servirá para respaldar la hipótesis de partida: la aceptación del indeterminismo en la física estuvo estrechamente ligado al uso de los métodos estadísticos. La conclusión es que la probabilidad pasó por tres estadios de asimilación: primero fue una herramienta de cálculo, luego se convirtió en un elemento indispensable para la interpretación de algunos fenómenos y, finalmente, pasó a concebirse como un elemento constitutivo de la naturaleza.

**PALABRAS CLAVE:** controversias científicas, mecánica estadística, estilos de razonamiento científico, espacios controversiales, mecánica cuántica.

### **ABSTRACT:**

In this article I offer a reconstruction of the controversy over determinism in physics in the early twentieth century. I use Oscar Nudler's model of controversial spaces since it allows us to analyze controversies with an emphasis on conceptual change. This will serve to support the initial hypothesis: the acceptance of indeterminism in physics was closely linked to the use of statistical methods. The conclusion is that probability went through three stages of assimilation: first it was a calculation tool, then it became an indispensable element for the interpretation of some phenomena and, finally, it came to be conceived as a constitutive element of nature.

**KEYWORDS:** Scientific controversies, statistic mechanic, styles of scientific reasoning, controversial spaces, quantum mechanics.

## **1. Introducción**

En el presente trabajo haré una reconstrucción de la forma en que se discutió el problema del determinismo durante la primera mitad del siglo XX. Usaré como modelo de reconstrucción los espacios controversiales de Oscar Nudler (2004, 2009). Con esta herramienta es posible relacionar un conjunto de

controversias que se afectan mutuamente durante algún periodo de tiempo para mostrar así cómo evolucionan. Esto constituye una ventaja porque permite respaldar la hipótesis central de la que parto: la incorporación del estilo estadístico –según la definición de Hacking (1982, 2012)– jugó un papel central en la controversia sobre el determinismo en la física durante las primeras décadas del siglo XX. Lo que quiero defender es que la aplicación cada vez más generalizada de los métodos estadísticos a problemas abiertos de la física en estos años tuvo un efecto profundo en la asimilación de la noción de probabilidad, que pasó de ser una herramienta de cálculo a convertirse en un elemento constitutivo del mundo. En este proceso, la controversia sobre el determinismo fue cambiando: inicialmente, se discutió en un sentido epistémico y, posteriormente, las controversias derivaron hacia un sentido ontológico.

Son varios los autores que han llamado la atención sobre el papel relevante que jugaron, en este periodo, las discusiones en torno a la mecánica estadística. Brush, Darrigol, Kuhn, Howard, Monaldi, entre otros, han puesto especial atención a la forma como la mecánica estadística influyó particularmente en el desarrollo de la mecánica cuántica. Aquí, sin embargo, presento un enfoque que no ha sido examinado explícitamente por estos autores, i.e. que la asimilación de los métodos estadísticos se profundizó paulatinamente en la comunidad científica hasta llegar a un punto en que el determinismo, tal y como fue concebido por el mecanicismo, se hizo insostenible.

En un artículo anterior (Varela Machado), mostré cómo la introducción de los métodos estadísticos en la termodinámica durante la segunda mitad del siglo XIX propició el desbloqueo conceptual de la controversia sobre el determinismo en la física. Esta idea ya había sido sugerida por Brush en varios estudios y es retomada por Lombardi en su estudio sobre la irreversibilidad (e.g. Brush 1961, 2005; Lombardi 2009). En este artículo veremos cómo, usando el modelo de Nudler, esta controversia se transforma paulatinamente en una discusión acerca del indeterminismo ontológico durante el desarrollo de la teoría cuántica. Adicionalmente, usando la noción de estilo de razonamiento de Hacking, muestro que las condiciones que posibilitaron esta controversia sobre el determinismo pueden ser analizadas desde nuevas perspectivas.

Presentaré en la primera sección después de esta introducción los principales elementos del modelo de Nudler y la forma en que se articulan para permitirnos construir un espacio controversial, así como una presentación muy general de la noción de estilo de razonamiento. En la segunda sección, haré un breve resumen del artículo anterior (Varela Machado 2020), donde muestro los elementos más importantes del desbloqueo conceptual de la controversia

sobre el determinismo. En la tercera sección, presentaré la forma en que se desarrolla la controversia sobre el determinismo en el nacimiento de la teoría cuántica. En la cuarta sección, se evidenciará cómo la controversia sobre el determinismo epistémico se transforma en una discusión ontológica a lo largo de la década de 1920, llegando además a un nuevo bloqueo conceptual que se extenderá hasta la segunda mitad del siglo XX. Finalmente, en la quinta sección, dejaré algunas pistas de cómo se reconfigura el espacio controversial dando paso a un nuevo desbloqueo, con lo que el espacio controversial queda abierto y plenamente vigente en la actualidad.

## 2. Espacios controversiales y estilos de razonamiento

### 2.1 *La ciencia a la luz de sus espacios controversiales*

Oscar Nudler propone un modelo llamado espacios controversiales con el que es posible presentar un tema controversial en relación con una red de controversias. Según este modelo, un espacio controversial está compuesto de una estructura que se desarrolla según una cierta dinámica establecida por el modelo. Los elementos que componen la estructura son los siguientes: i) un conjunto o red de controversias interrelacionadas, cuya delimitación depende de los intereses de la reconstrucción y permite demarcar la amplitud del estudio; ii) el foco, conformado por los temas que se discuten explícitamente; iii) el *common ground*, que engloba los acuerdos compartidos por la comunidad científica en el momento del desarrollo de la controversia, haciendo que las discusiones tengan sentido, y que pueden ser principios, métodos, paradigmas, teorías, estilos de razonamiento, etc. Por otro lado, hay ciertos elementos que explican la dinámica del cambio conceptual que sufre el espacio:

i) Bloqueo conceptual. Es un periodo durante el cual las discusiones del espacio pueden estancarse, i.e. dejan de proporcionar respuestas a los problemas que se plantean o, incluso, se abandonan: “Hay controversias [...] que pueden llegar a un estado de estancamiento o a un bloqueo conceptual, en que se vuelven incapaces de generar no solo nuevas respuestas sino, lo que quizás es más grave, nuevas preguntas” (Nudler Espacios controversiales 35). Identifico la noción de bloqueo conceptual con la clausura, resolución o abandono de controversias que plantean autores como McMullin, Beauchamp o Mazur. Pero cuando se observa un espacio controversial a través de

un periodo prolongado, muchas controversias que se consideraron resueltas durante un tiempo pueden volver a aparecer; un bloqueo conceptual, en este sentido, no es definitivo.

ii) Desbloqueo conceptual. Representa el periodo durante el cual las controversias que habían sido abandonadas o que se encontraban bloqueadas de algún modo vuelven a formar parte del foco. Existen muchos factores que pueden contribuir a este desbloqueo: introducción de nuevos métodos, nuevos problemas y nuevos estilos de razonamiento, así como circunstancias sociopolíticas, económicas, entre otras.

iii) Refocalización. Se refiere a una reconstrucción total del foco del espacio. Un grupo de actores puede comenzar discutiendo ciertos problemas, pero, con el tiempo y con los cambios naturales de la ciencia y la cultura, estos debates cambian. Cuando todas las controversias que componen el foco de un espacio cambian, podemos decir que hay una refocalización. Sin embargo, cada espacio controversial tiene su propia dinámica: no todos pasan necesariamente por todos los procesos aquí señalados. Además, el análisis depende de los límites –tanto temporales como conceptuales– que se escojan para la reconstrucción del caso. Dependiendo de estos límites el espacio exhibirá una dinámica más o menos compleja.

## *2.2 Estilos de razonamiento*

Adicionalmente, para este análisis, me basaré en la noción de estilo de razonamiento de Hacking (1982, 2012). Dicha noción tiene la particularidad de ser lo suficientemente amplia para abarcar conjuntos de prácticas, métodos, herramientas, formas de preguntar y de responder, así como proposiciones, conceptos y objetos que solo tienen sentido dentro de un estilo de razonamiento particular. Este concepto ha resultado útil a la hora de delimitar los modos en los que el pensamiento científico europeo se ha desarrollado y ha dado sentido a formas concretas de hacer ciencia.

Crombie identifica inicialmente seis estilos de razonamiento: 1) la postulación matemática, 2) el desarrollo del experimento a través de la observación y la medición, 3) la construcción hipotética de modelos por analogía, 4) el ordenamiento de la variedad mediante la comparación y la taxonomía, 5) el análisis estadístico de regularidades en poblaciones y 6) la derivación histórica del desarrollo genético (evolución). El estilo del que nos ocuparemos aquí es el 5, al que llamaré en adelante estilo estadístico. Estos estilos han aparecido, de

forma contingente, a lo largo de la historia de la ciencia en Europa. Cada estilo ha necesitado ciertas condiciones tanto para su aparición como para su consolidación. Hacking llama cristalización al proceso de introducción y aceptación de un nuevo estilo en una comunidad científica. Pero si en el proceso estos estilos son rechazados o simplemente ignorados, el proceso de cristalización no será completado. Adicionalmente, después de la cristalización el estilo sigue evolucionando, ampliando su capacidad para explicar fenómenos, así como los métodos, las proposiciones, los objetos, etc. Este proceso de evolución permite identificar en cada estilo diferentes etapas.

Particularmente, el estilo estadístico presenta en su evolución las siguientes etapas, según Hacking (1992): 1) emergencia de la probabilidad (1640-1693), 2) doctrina del azar (1693-1756), 3) teoría del error (1756-1821), 4) avalancha de números impresos (1821-1844), 5) creación de objetos estadísticos (1844-1875), 6) autonomía de la ley estadística (1875-1897), 7) etapa de modelado y prueba (1897-1933). La primera parte de este estudio (Varela Machado) se centró en el desarrollo de las etapas 5 y 6, particularmente en la comunidad de los físicos. Esta segunda parte mostrará el desarrollo de la etapa 7.

### **3. Antecedentes: el determinismo durante la segunda mitad del siglo XIX**

En el artículo anterior mostré cómo, durante la última década del siglo XIX, se produjeron cambios importantes en la asimilación del estilo estadístico en la física. Este proceso condujo paulatinamente al desbloqueo de la discusión de las nociones de determinismo, causalidad, necesidad y ley física que, si bien se discutían en otras disciplinas, en la física hacían parte del common ground. Las condiciones de posibilidad para este desbloqueo fueron la cristalización del estilo estadístico en la física, la interpretación de la segunda ley de la termodinámica en términos de probabilidad y la búsqueda de una comprensión más profunda de la irreversibilidad (Varela Machado 101). Durante este periodo, los físicos adaptaron los métodos estadísticos a sus propósitos, introdujeron la posibilidad de hacer descripciones probabilísticas de procesos físicos y crearon nuevos objetos –p. ej., el ensemble o colectividad–, así como nuevas leyes y nuevos tipos de explicación (Monaldi). Las discusiones en torno a la irreversibilidad y el significado físico de la probabilidad llevaron a físicos como Maxwell y Boltzmann a afirmar, cada vez con mayor claridad, la necesidad de interpretar la segunda ley de la termodinámica en términos de probabilidades. La explicación mecánica de la segunda ley buscaba dar cuenta del aumento

de entropía a partir de movimientos y colisiones moleculares. En cambio, la explicación estadística presenta el estado de un sistema, en un momento dado, como la configuración más probable a partir de un estado inicial. Este tipo de explicación estadística, que empieza a reemplazar las explicaciones mecanicistas, desencadenó algunas controversias, y terminó autenticando el estilo estadístico.

Pero la asimilación del estilo estadístico en la física no fue uniforme: hubo una aceptación parcial y heterogénea en diferentes círculos. Hubo quienes siguieron discutiendo la pertinencia de estos métodos incluso en las primeras décadas del siglo XX, cuando ya existía un acuerdo generalizado en la comunidad. Por ejemplo, en 1896, Zermelo y Planck usaron la paradoja de la recurrencia para profundizar el debate contra algunas de las hipótesis propuestas por Boltzmann. Born por su parte recuerda que, en sus primeros años de acercamiento a la física, el principal tema de discusión en la academia eran los métodos estadísticos y la validez del teorema H, que predice la evolución de la variable H en sistemas termodinámicos, donde siempre tiende a disminuir. Aunque esta variable no estuvo definida inicialmente, se considera que es inversa a la entropía (e. g. Brush 1976 235). No fue sino hasta la publicación del artículo de los Ehrenfest en 1911 que el tema dejó de discutirse.

Teniendo en cuenta este panorama, en el foco de este espacio controversial aparecen las controversias sobre la constitución de la materia, el energetismo, la irreversibilidad y el significado de la probabilidad que aún no cuentan con el consenso de la comunidad. La controversia sobre el determinismo se desbloquea y, si bien en la física de este periodo solo se planteó la discusión en términos epistémicos, algunos pensadores con intereses filosóficos, como Peirce y James, ya planteaban el debate en un sentido puramente ontológico.

## **4. La controversia sobre el determinismo en el nacimiento de la mecánica cuántica**

Los comienzos de la teoría cuántica se enmarcan en la búsqueda de modelos adecuados de predicción para algunos fenómenos relacionados con la interacción radiación-materia: la radiación de cuerpo negro, el efecto fotoeléctrico y la interacción de los rayos X con la materia; así como con problemas relacionados con colisiones atómicas, espectros atómicos y moleculares, dispersión óptica, comportamiento a baja temperatura de sólidos y gases, estructura atómica y periodos químicos. La concepción atómica de la materia y el modelado

estadístico fueron, por un lado, los principales marcos teóricos para la aceptación de un indeterminismo epistémico, y fueron claves para desbloquear la controversia del indeterminismo ontológico en la mecánica cuántica; por otro lado, diversos factores sociopolíticos influyeron en este periodo, en particular una estructura socioinstitucional compleja, con al menos cuatro polos de investigación en Copenhague, Múnich, Gotinga y Berlín, con densas redes epistolares y con tendencias de investigación distintas (Darrigol). Los cambios en las prácticas científicas durante este periodo y la agitación política entre algunos países de Europa tuvieron una gran influencia en el cambio conceptual que experimentó la ciencia en estas primeras décadas del siglo XX.

A finales del siglo XIX, la naciente industria de la iluminación eléctrica había impulsado la investigación sobre las propiedades radiantes de ciertos materiales. La fabricación de lámparas incandescentes requería de la estandarización de la intensidad lumínica: era necesario un perfeccionamiento de la fotometría para lograr medidas más precisas que pudieran ser aceptadas internacionalmente. En Alemania, el *Physikalisch-Technische Reichsanstalt* (PTR), fundado por Werner Siemens en 1887, dedicó muchos esfuerzos a fortalecer esta industria (Sánchez-Ron 123). La metrología, especialmente la fotometría y la espectroscopía, fueron los campos en los que el PTR se destacó: gracias a sus mediciones cada vez más precisas, los diferentes modelos propuestos para la distribución de la radiación pudieron contrastarse con mayor precisión. La financiación de la empresa privada favoreció la dedicación de más científicos y aumentó el interés de la comunidad por estos problemas. Esto también aumentó la presión de la industria para su resolución. Estas nuevas dinámicas consolidaron la profesionalización de la investigación científica.

Con el problema de la interacción radiación-materia se añadieron nuevas discusiones a la red de controversias de este espacio controversial, y se trasladaron algunos elementos del *common ground* hacia el foco. La caracterización del nuevo *common ground* incluye la industrialización y su relación directa con los institutos de ciencia, así como la profesionalización de los científicos. También fueron relevantes las asociaciones de ciencias, tanto nacionales como internacionales, que empezaron a proliferar por toda Europa desde la segunda mitad del siglo XIX. Estas aparecen en un momento en el que la ciencia se acerca tanto a los intereses de la industria como a los del Estado, mostrando que puede ofrecer servicios de gran utilidad en ambos frentes.

Por esta razón, el interés por la metrología y sus diferentes aplicaciones condujo gran parte de las investigaciones desarrolladas en los diferentes institutos de Alemania, Francia y Reino Unido. Esta nueva dinámica llevó también a

muchos estudiantes a movilizarse entre diferentes centros de investigación y aumentó el intercambio de maestros entre diferentes asociaciones de ciencia. Es muy importante, sin embargo, resaltar que estos movimientos de internacionalización se desarrollaron en un ambiente ambiguo donde se expandieron las fronteras de la ciencia, pero también se asentaron los nacionalismos, incluso entre los mismos científicos.

#### *4.1 Aplicaciones de la estadística a los fenómenos de interacción radiación-materia*

Es muy importante resaltar el papel de los métodos estadísticos en el desarrollo de la teoría cuántica. La ampliación de las aplicaciones de la estadística a diferentes fenómenos de interacción radiación-materia llevó el estilo estadístico a un nuevo nivel de asimilación por parte de la comunidad. Esta oleada de nuevas aplicaciones comienza con Planck, uno de los últimos opositores de las hipótesis de Boltzmann. Durante los primeros 30 años de su carrera, Planck estuvo interesado en la termodinámica. Fue un declarado defensor de la visión mecanicista, así como de la continuidad de la estructura de la materia. Cada vez más físicos trabajaban en los problemas de la interacción radiación-materia debido al aumento en la financiación. Wien, Stefan, Rayleigh, Jeans, entre otros, habían construido modelos de cálculo para predecir la cantidad de radiación que produce un cuerpo al calentarse. Planck, durante los últimos años del siglo XIX, también se dedicó a proponer algunos modelos. Pero a finales de 1900, en un giro metodológico inesperado, Planck aplicó los métodos estadísticos de Boltzmann al problema de la radiación del cuerpo negro: usó la hipótesis del desorden molecular de Boltzmann para plantear un teorema H de la radiación matemáticamente análogo al de la teoría de los gases.

Fue Planck quien, a partir de 1900, insistió en que la interpretación estadística de la entropía de Boltzmann era la clave para la comprensión de la teoría cuántica de la radiación, y mediante sus populares conferencias promovió la tesis de que la hipótesis del desorden molecular es necesaria para la explicación de la irreversibilidad. (Brush 1976 648)

Más tarde, Einstein consideró la posibilidad de introducir esta misma hipótesis como solución para distintos problemas. En su análisis del movimiento browniano, por ejemplo, sostenía que la combinación de muchos impulsos moleculares aleatorios, que no producen ningún efecto promedio, podría explicar el movimiento de las partículas brownianas: “El desplazamiento de las partículas suspendidas puede describirse entonces mediante una distribución de proba-

bilidad que determina el número de partículas desplazadas a una cierta distancia en cada intervalo de tiempo” (Stachel 126). En 1908, Perrin y su doctorando Chaudesaigues sometieron la fórmula de desplazamiento de Einstein a una serie de procedimientos experimentales y sus resultados concordaron con las predicciones teóricas. Esto se consideró una evidencia de la medición experimental del tamaño de los átomos. A partir de este momento, las diferentes controversias sobre la hipótesis atómica se disuelven y la comunidad científica logra un consenso respecto de la existencia de los átomos.

Por otro lado, las diferentes pruebas y aplicaciones exitosas de la ley de distribución de Planck a diferentes problemas resaltaron reiteradamente la existencia de profundas discrepancias entre la termodinámica, la electrodinámica y los fenómenos de interacción radiación-materia.

La prueba de Albert Einstein de 1905 se basó en la interacción aleatoria entre la radiación de la cavidad y los resonadores térmicos; la prueba de James Jeans de 1905 se basaba en la mecánica estadística de Maxwell aplicada a un gas que interacciona con radiación; la prueba de Hendrik Lorentz de 1908 se basó en la aplicación de la mecánica estadística de Josiah Willard Gibbs a un gas de electrones que interacciona con la radiación de la cavidad. La convergencia de estas tres pruebas aumentó la plausibilidad de su desconcertante conclusión. (Darrigol 152)

Estas aplicaciones de la mecánica estadística a nuevos fenómenos proporcionaron más autonomía al estilo estadístico, que pasó de ser una herramienta de cálculo para modelar fenómenos, y comenzó a convertirse en una nueva forma de interpretarlos. Fue así como se transformó en un nuevo tipo de explicación aceptado por la comunidad. En esta nueva etapa de modelado y prueba, el estilo estadístico se fusiona con el estilo analógico o de modelado hipotético, y ofrece nuevas herramientas y problemas para la interpretación de la naturaleza (Hacking 1992). Esta es una de las claves conceptuales para la asimilación del indeterminismo epistémico: muchos físicos empezaron a considerar las contribuciones de Planck y Einstein como una declaración de independencia definitiva entre la teoría cuántica y la mecánica clásica, ligada a una nueva forma de pensar el mundo en términos de probabilidad.

### *4.2 El problema de la estructura atómica*

Otra de las controversias que jugó un papel importante en este espacio controversial fue la discusión sobre la estructura del átomo. Desde finales del siglo XIX, la comunidad científica, tanto en física como en química, había estado

especulando sobre la estructura interna del átomo, pero su existencia estaba en duda. Tanto en Inglaterra como en Alemania y Francia se habían planteado soluciones para una posible estructura atómica. Los detalles de las controversias que rodearon el desarrollo de estos modelos, hasta la amplia aceptación de la existencia de los átomos, merecen un estudio más detallado debido a su complejidad. Aquí solo señalaré algunos puntos relevantes.

Entre 1899 y 1904, Thompson y su equipo formularon algunos de los primeros modelos atómicos a partir de un amplio soporte de datos experimentales. Los trabajos en espectroscopía adelantados por Bunsen o Kirchhoff refinaron las imágenes espectroscópicas, “logrando un conocimiento cada vez más preciso, no solo de las diferentes líneas espectrales correspondientes a los diferentes elementos, sino también de sus regularidades, tamaños y distancias” (López 68). Estos refinamientos no favorecieron el modelo atómico de Thompson, que demostró ser incapaz de explicar el comportamiento de estas líneas. Sin embargo, la existencia del átomo todavía se discutía, y no fue hasta los experimentos de Perrin de 1908 que aumentó el interés por resolver el problema de la estructura atómica.

Rutherford presentó entre 1911 y 1913 una teoría para la dispersión de la radiación del átomo con la que esperaba solucionar algunos de los problemas del espectro. Pero fue Bohr quien, en 1913, introdujo la hipótesis de la cuantización de Planck para determinar la emisión y absorción de energía en el átomo, con lo que amplió el dominio de las aplicaciones estadísticas. Su llamada regla de frecuencia dio inicio al proceso de formulación de una primera teoría cuántica para la estructura del átomo. Esto es importante para la evolución de este espacio controversial, porque amplía las aplicaciones de la estadística a nuevos problemas, introduciendo la probabilidad en el problema de la estructura atómica.

Aunque la regla de frecuencia no fue suficiente para solucionar muchos de los problemas de la estructura atómica, sí se mostró eficiente para predecir correctamente las líneas espectrales atribuidas al átomo de hidrógeno, así como los espectros de rayos X de elementos superiores y las colisiones inelásticas entre electrones y átomos de mercurio observadas por Frank y Hertz. Entre 1913 y 1914, Bohr planteó un principio de correspondencia que vendría a completar las llamadas reglas cuánticas: un conjunto de excepciones a la mecánica clásica que funcionaban aproximadamente bien en la predicción de algunos fenómenos del dominio cuántico y que hoy conocemos como Old Quantum Theory. Pero en esta vieja versión de la teoría cuántica, no solo muchos de los problemas persistían, sino que en la medida en que los refinamientos experimentales

aumentaban, se multiplicaban. Por esta razón, en los años siguientes surgieron problemas sobre la interpretación de los datos obtenidos en el laboratorio, aunque la entrada de estas controversias al foco de la controversia sobre el determinismo fue más lenta y no se hizo visible hasta después de 1960.

Con la aplicación de la estadística a nuevos fenómenos aumentaron también las discusiones acerca de su significado. Como lo ilustra Kuhn en su libro *La teoría del cuerpo negro y la discontinuidad cuántica*, el proceso de conceptualización que llevaría del formalismo matemático a su interpretación como discontinuidad habría de tomar por lo menos doce años de discusión y confrontación. Fue durante el Congreso Solvay de 1911 cuando muchos de los participantes coincidieron en la necesidad de introducir la discontinuidad en la dinámica de las entidades microfísicas para salvar fenómenos como la radiación de cuerpo negro o el comportamiento a baja temperatura de calores específicos. Pero el acuerdo sobre la forma adecuada de introducir esta discontinuidad no fue unánime. Los avances en las mediciones y en los formalismos sobre la estructura atómica durante la siguiente década ayudaron a resolver este problema, apuntando cada vez más a un indeterminismo epistémico asociado a la probabilidad de los métodos utilizados.

### *4.3 Comunidades científicas y panorama geopolítico*

Adicionalmente, otros factores favorecieron la aceptación del indeterminismo. El fantasma de la guerra que amenazaba a Europa desde principios del siglo XX y el ambiente bélico que impactó en la sociedad no dejó fuera a las comunidades científicas: por un lado, aumentó la financiación militar para los institutos de ciencia, inclinando las investigaciones hacia asuntos de interés militar; por otro, los nacionalismos se profundizaron, afectando las relaciones internacionales entre científicos y generando fuertes sesgos en la comunidad. Así, entre 1914 y 1918 toda Europa se vio envuelta en una guerra que, aunque esperada, desconcertó profundamente a la sociedad europea. Este episodio no puede ser tomado a la ligera, y debe tenerse en cuenta como un factor relevante en el desarrollo de la física de la posguerra. Algunos autores, como Forman y Brush, resaltan el papel de este episodio en la asimilación del indeterminismo en la posguerra. Según su hipótesis, las nociones de causalidad, determinismo y la idea de ley física como necesidad, que venían poniéndose en duda desde finales del siglo XIX, especialmente desde la filosofía, se mezclaron en Alemania con una creciente corriente neorromántica que, una vez terminada la Primera Guerra Mundial, se manifestó como una oposición radical a la ciencia y a todo lo relacionado con ella.

Podemos afirmar, entonces, que la influencia de la guerra en la controversia sobre el determinismo fue directa. Aunque el estudio de Forman al respecto puede ser polémico, resulta bastante ilustrativo: sus principales tesis apuntan al impacto de la participación de científicos alemanes en la guerra, unido al descontento generalizado de la sociedad con estas nuevas formas de confrontación internacional y sus consecuencias sociopolíticas en toda Europa. El deterioro del determinismo desde finales del siglo XIX en la filosofía y la aceptación creciente de la aplicación de la mecánica estadística junto a su indeterminismo epistémico asociado vinieron a unirse con el neorromanticismo facilitando la asimilación de una visión indeterminista de los fenómenos físicos. Recordemos, además, que la idea de una ley causal estuvo asociada con la idea de necesidad y determinismo, símbolos de la tiranía de la ciencia: “El mundo académico de Weimar (1918-1927) fue una ‘filosofía de la vida’ neo-romántica, existencialista, manifestada en crisis y caracterizada por un antagonismo hacia la racionalidad analítica en general y hacia las ciencias exactas y sus aplicaciones técnicas en particular” (Forman 39).

Esta hipótesis es respaldada por Brush, quien utiliza los estilos de pensamiento de Cotgrove (1978) para analizar el desarrollo de la teoría cuántica y la asimilación del indeterminismo. Cotgrove plantea un movimiento oscilatorio entre reduccionismo y romanticismo en la construcción del pensamiento occidental durante la modernidad. La estrecha relación entre romanticismo e indeterminismo explicaría la fácil asimilación que tuvieron estas ideas en el periodo de la posguerra. Vemos aquí un trasfondo cultural propicio para el abandono de una visión determinista del mundo, que se profundizó con la cristalización del estilo estadístico (Hacking 1975, 1990). Las consecuencias de este proceso derivan en una refocalización: la comunidad deja de discutir el indeterminismo epistémico que pasa a formar parte del *common ground* y cambia sus compromisos ontológicos.

#### 4.4 Reconfiguración del *common ground* y refocalización

En este punto, el *common ground* se modifica por completo. Como se ve en la figura 1, después de la aceptación de la existencia del átomo, las propuestas energetistas entran en declive y la hipótesis atómica pasa a formar parte del *common ground*. La mecánica clásica deja de ser considerada la teoría fundamental, y las esperanzas recaen en la naciente mecánica cuántica y en la relatividad. El proyecto de reducción de la termodinámica a la mecánica –tan crucial para la física de fin de siglo– se abandona, y el electromagnetismo deja de pensarse como una teoría que debe ser reducida.

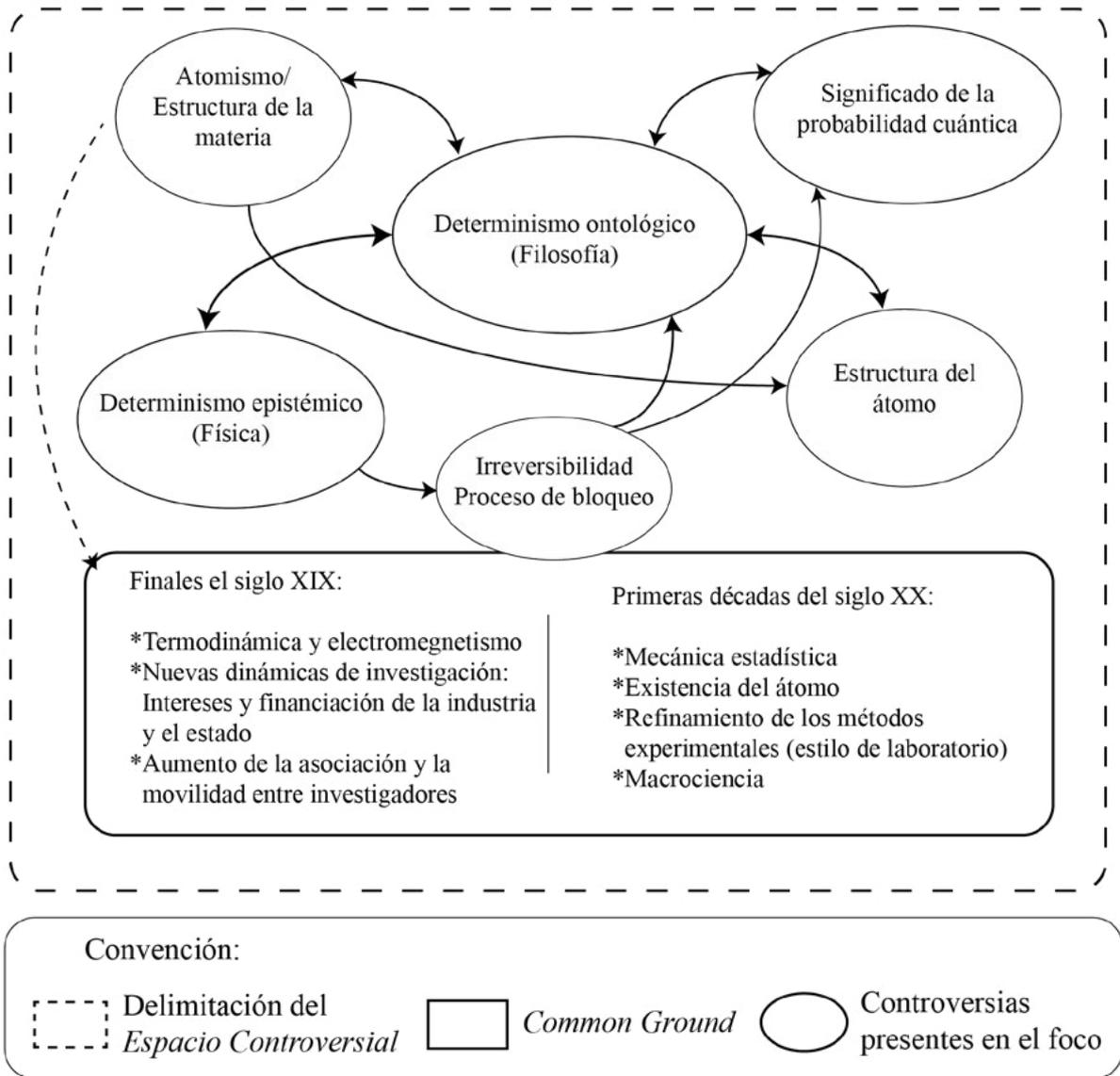


FIGURA 1: Espacio controversial en las primeras décadas del siglo XX

Así, la controversia sobre la constitución de la materia pasa al *common ground*, las discusiones sobre irreversibilidad no se resuelven, pero pasan a un segundo plano frente a los desafíos de las nuevas teorías, y la controversia sobre el determinismo se redefine: el indeterminismo epistémico pasa al *common ground* y el indeterminismo ontológico empieza a discutirse también en la física y no solo en la filosofía. Esta redefinición trae también al foco la discusión sobre el carácter realista de la ciencia, y se pone en duda si el propósito de las teorías científicas es describir la realidad misma, o si son solo herramientas de predicción. En la misma línea, surge la siguiente pregunta: ¿la naturaleza

estadística que observamos en los fenómenos se debe a nuestras limitaciones para conocer el mundo o es parte constitutiva de este? De este modo, se abre la pregunta por el realismo: ¿es el determinismo constitutivo del mundo?

Con el paso del indeterminismo epistémico al *common ground*, comienza una nueva etapa para el espacio controversial. La Old Quantum Theory será superada en los siguientes diez años y muchas de las controversias que pasaron a formar parte del nuevo foco serán abandonadas con la llegada de la guerra. Veamos ahora cómo se desarrolla la controversia sobre el determinismo ontológico y por qué sufre un bloqueo conceptual durante la década de 1930.

## 5. La interpretación de Copenhague y el indeterminismo

Como hemos visto, ya desde finales del siglo XIX la idea del determinismo había comenzado a desmoronarse. La creencia en un azar absoluto al estilo de Peirce estaba en el ambiente y se hizo cada vez más profunda. Este panorama de cambio conceptual, sumado a la crisis sociopolítica y a las nuevas dinámicas de desarrollo científico, terminó de instaurar las condiciones para una discusión profunda sobre el determinismo ontológico. Debemos recordar, sin embargo, que la diferencia entre determinismo y causalidad nunca fue muy clara en el ámbito de esta controversia.

Al leer comentarios casuales, e incluso lo que parecen ser pronunciamientos cuidadosamente considerados por los científicos del siglo XIX, el lector del siglo XX a menudo encuentra una ambigüedad desconcertante. [...] Lo que ahora podríamos llamar una distinción crucial entre indeterminismo ontológico y epistemológico se difumina con frecuencia en estos escritos. Esta ambigüedad puede usarse para argumentar que casi todos los científicos citados creían solo en la aleatoriedad epistemológica, no ontológica, pero tal argumento ocultaría un cambio histórico gradual pero extremadamente importante en el significado de los conceptos. (Brush 1976 604).

Es fácil encontrar a personajes como Rutherford, Maxwell, Boltzmann, Planck y Einstein usando las palabras probabilidad, azar, estadístico o espontáneo, pero tales términos solo se refieren a nuestra falta de conocimiento de las causas, pues no siempre queda claro si para ellos era concebible que la naturaleza pudiera proceder por azar. La misma confusión puede observarse en personajes más afines al indeterminismo, como Born o Heisenberg. El mismo Hei-

senberg nunca fue tajante en esclarecer si su principio se aplica solo a nuestro conocimiento sobre el mundo:

Uno podría ser llevado a la conjetura de que bajo el mundo estadístico perceptible se esconde un mundo 'real' en el que se cumple la ley causal. Pero nos parece que tales especulaciones [...] son infructuosas y sin sentido. La física solo debería describir formalmente las relaciones perceptibles. (Brush 1976 626)

A pesar del tono ambiguo de muchas de estas afirmaciones, el indeterminismo ontológico terminó por instalarse en el seno de la interpretación estándar de la teoría cuántica. Las claves para esta aceptación estuvieron en el principio de indeterminación y en la interpretación probabilística de la función de onda.

### *5.1 Desarrollo de la nueva teoría cuántica*

El siguiente periodo de este espacio controversial está comprendido entre 1918 y 1927 aproximadamente. La primera fecha obedece al fin de la guerra y es relevante porque marca cambios importantes en las dinámicas de la macrociencia. La fecha final corresponde al Congreso Solvay en el que se logra un cierto acuerdo sobre la que sería la nueva teoría cuántica estándar. Hasta 1914, cuando comenzó la Primera Guerra Mundial, los dos grandes polos de investigación en temas relacionados con la teoría cuántica estaban en Reino Unido y Alemania. Ambos se diferenciaban claramente por el enfoque de las investigaciones: el primero tenía un fuerte componente experimental, centrado en las actividades de los laboratorios Cavendish, y el segundo tenía una fuerte inclinación al formalismo, cuyos centros fueron Gotinga, Berlín y Múnich.

Sin embargo, para 1918 los Estados que habían participado en la guerra redujeron la financiación para las investigaciones científicas, sobre todo en ciencias teóricas. Pocos países tenían la capacidad o la voluntad de seguir invirtiendo grandes sumas en investigación. Este panorama permite entender el papel que jugó el Instituto de Física Teórica de Copenhague (ahora Instituto Niels Bohr), planeado por Bohr desde 1917 e inaugurado a comienzos de 1921. Bohr fue educado en Dinamarca bajo el modelo alemán y estuvo trabajando más tarde con Rutherford de quien aprendió el estilo experimental. Por eso, a su regreso a Copenhague, quiso que el Instituto contara con ambos enfoques (Robertson). Esta amplitud de miras favoreció en gran medida la movilidad de investigadores afines a uno y otro estilo. Esto, sumado al estatuto de neutralidad del que gozaba Dinamarca en este periodo de posguerra, donde la exclusión y los

nacionalismos entre países europeos eran la norma, hizo de Copenhague un centro clave para el desarrollo de la nueva teoría.

La década de 1920 está llena de importantes desarrollos en mecánica cuántica. Existe una extensa literatura que cuenta al detalle este proceso. Aquí, solo hablaremos de unos cuantos episodios que nos permitirán entender cómo se desarrolló la controversia sobre el determinismo ontológico en el marco de este proceso.

Heisenberg escribió en 1925 el primer artículo en el que propone un nuevo formalismo para la mecánica cuántica. Esto significó una ruptura con la *Old Quantum Theory*, pues, a partir de una analogía con las ecuaciones de Hamilton, propone usar solo variables observables, con lo que cambia la forma tradicional de hacer mecánica.

La teoría debía renunciar a la manera clásica de lidiar con magnitudes como posición y momento si se pretendía dar cuenta de la estructura atómica: si no podían ser observadas o medidas, entonces la teoría debía renunciar a estas magnitudes y declararlas esencialmente inobservables. (López 92)

Este supuesto llevó, dos años más tarde, a la formulación del principio de indeterminación. Más adelante, en 1925 y 1926, otros dos artículos escritos con Born y Jordan darían una primera estructura terminada de lo que hoy llamamos mecánica matricial. La aparición de este primer formalismo dividió a la comunidad bajo dos reacciones: algunos físicos se dedicaron a aplicar el formalismo a los problemas que esperaban respuesta –donde mostró excelentes resultados–; otros físicos, en cambio, siguieron buscando mejores formulaciones. En este contexto aparecen los formalismos de Schrödinger y Dirac.

La formulación de Schrödinger –la mecánica ondulatoria– estuvo inspirada en los aportes de De Broglie, quien había planteado analogías ondulatorias para presentar un modelo de la estructura atómica. La herramienta central de esta formulación es la función de onda y se diferencia de la mecánica matricial en el supuesto explícito de continuidad. Además, no excluye los inobservables y se formula con ecuaciones diferenciales, lo que hizo que fuera matemáticamente más amigable. Durante la primera mitad de 1926, aparecen al menos seis artículos de Schrödinger, presentando no solo una versión completa de su formalismo, sino también una demostración de equivalencia entre su versión y la mecánica matricial. Ambas teorías se mostraron igual de exitosas en sus aplicaciones, pero las diferencias en los compromisos ontológicos profundizaron

la polémica sobre el realismo, pues parecía que cada una describía realidades diferentes.

Esta controversia no pudo resolverse por medios formales o experimentales: ambas versiones tenían el mismo éxito predictivo respecto del mismo conjunto de fenómenos. Y, aunque se hicieron demostraciones de la equivalencia matemática entre ambos formalismos, la discrepancia de principios mantuvo la controversia más allá de la celebración del V Congreso Solvay (sobre la equivalencia de las dos mecánicas hay discusiones interesantes: e. g. Perovic; Muller). Esta fue la primera de una serie de controversias relacionadas con el proceso de interpretación física de estos y otros formalismos que aparecerían a lo largo del siglo XX. Popper lo llamó “el cisma de la física”: un entramado de controversias cuya vigencia cumple casi cien años “y solo es comparable a la que enfrentó a los newtonianos contra los cartesianos al amanecer de la física moderna” (Freire Junior 18). El caso de la formación de la mecánica cuántica y sus controversias relacionadas es uno de los ejemplos más claros de cómo una teoría se fortalece a través del desacuerdo.

Finalmente, durante la segunda mitad de 1926 aparece el formalismo de Dirac, una formulación que evita al máximo los compromisos ontológicos. Dirac sospechaba que ambos formalismos tenían raíces comunes en la teoría de transformaciones canónicas del espacio de fase. Partiendo de esta sospecha, y con una sofisticación matemática admirable, propone una estructura formal más completa y coherente que las dos anteriores. Pero esto no fue suficiente para calmar las controversias que ya habían entrado al foco del espacio.

Entre los principios involucrados en cada versión en disputa había compromisos a favor y en contra del determinismo. Los defensores de la mecánica matricial –todos afines a la orientación del Instituto de Copenhague– hicieron declaraciones abiertamente indeterministas y acausales. El principio de indeterminación y la interpretación probabilística de la función de onda abrieron el camino para que la probabilidad dejara de ser solo una herramienta de interpretación del mundo y pasara a ser un elemento constitutivo de este. Un fenómeno cuya constitución básica es probabilista no puede ser determinista en el sentido en que la mecánica clásica lo exige. Born, quien propuso interpretar la función de onda como probabilidad, describe así su punto de vista en 1926:

la mecánica ondulatoria de Schrödinger es capaz de dar una respuesta total a preguntas sobre el efecto de la colisión, pero no puede establecer ninguna relación de causalidad. No tiene respuesta a la pregunta de ¿cuál es el estado después de la colisión?, sino más

bien a la pregunta de ¿cuál es la probabilidad de un determinado efecto de la colisión?  
(Born 826)

En ese mismo artículo, Born atribuye el origen de sus ideas probabilistas a la teoría fotónica de la luz de Einstein (1905), y asegura que esta aplicación fue el paso decisivo hacia el indeterminismo, pues permitió cambiar el concepto clásico de intensidad de radiación por el nuevo concepto estadístico de probabilidad de transición.

### *5.2 Nuevo bloqueo conceptual: el V Congreso Solvay*

Este congreso representó para la mecánica cuántica el primer gran acuerdo de la comunidad alrededor de muchas de las controversias que se habían desarrollado en los últimos diez años, pero también dejó grandes problemas por resolver para la disciplina. La resolución de algunos de esos problemas tendría que esperar hasta la segunda mitad del siglo XX, cuando muchos de los problemas que los físicos habían considerado como filosóficos pudieron abordarse con métodos propios de la disciplina. Durante los años posteriores a 1927, el interés de los físicos se orientó cada vez más hacia las aplicaciones y los problemas prácticos de la física cuántica.

Un breve esbozo de las relaciones internacionales en la física es interesante en este punto pues, por primera vez desde que había comenzado la Primera Guerra Mundial, los organizadores del congreso aceptaron invitar físicos alemanes al evento, lo cual enriqueció enormemente las discusiones. Adicionalmente, primó un panorama que podríamos llamar transnacional, dado que las dinámicas de colaboración llevadas a cabo en el *Institut for Teoretisk Fysik de Copenhagen* habían reconfigurado la comunidad y habían logrado dar identidad a un equipo de trabajo que incluía también ingleses y alemanes como parte de una misma comunidad. Con esta nueva dinámica, se desarrollarían entonces discusiones en dos frentes: los afines a Copenhagen (Bohr, Heisenberg, Pauli, Born, Dirac, entre otros) y los opositores (principalmente Schrödinger, De Broglie y Einstein). Dentro de los temas centrales debatidos en el encuentro podemos trazar tres líneas de discusión que están relacionadas con el núcleo de este espacio: i) la posibilidad de una teoría causal de la mecánica cuántica, ii) el significado del principio de indeterminación de Heisenberg y iii) el problema de la medición.

(i) Ya desde 1905 Einstein había entendido que los cuantos podían implicar violaciones a la independencia mutua de sistemas que interaccionan. Los

esfuerzos por desarrollar una teoría adecuada de la dualidad onda-partícula intentaban solucionar este problema. La afinidad de Einstein con las ideas de Schrödinger y De Broglie estaba relacionada con las esperanzas que tenía en las soluciones ondulatorias para eliminar esta dependencia. El desarrollo de la estadística Bose-Einstein fue un intento en esta dirección y marcó un precedente importante porque introdujo una nueva forma de contar estadísticamente. Con el tiempo, esta nueva forma de contar se relacionó con la controversia de la indistinguibilidad (véase Lombardi y Pascualini en este mismo número). Pero las soluciones encontradas para el problema de la dependencia resultaron insatisfactorias reiteradamente. Cushing señala que, poco antes del V Congreso Solvay, Einstein había escrito un artículo que nunca fue publicado y que él traduce como: "Does Schrödinger's Wave Mechanics Determine the Motion of a System Completely or Only in the Sense of Statistics?". Einstein usa la función de onda para dar solución al movimiento de un sistema individual, afirmando además que dicha solución es inequívoca y única. Sin embargo, antes de su publicación Walther Bothe le señala un problema con su aplicación si se trata de una pareja de sistemas (Cushing 448). Este problema, que ahora conocemos como entrelazamiento, fue un tema central y recurrente en las críticas de Einstein a la mecánica cuántica. En esta misma dirección, De Broglie había preparado una propuesta que llamó "onda-piloto": se trataba de una propuesta causal de la mecánica cuántica. Sin embargo, en la discusión de esta propuesta, los argumentos de Pauli prevalecieron sobre los de De Broglie. El apoyo de sus afines Schrödinger y Einstein no llegó en ningún momento, pues Einstein estaba precisamente atascado en los mismos problemas. Fue así como la onda-piloto y la posibilidad de una versión causal de la teoría cuántica fueron desechadas y prácticamente olvidadas.

(ii) Por otro lado, Born y Heisenberg presentaron su versión más depurada de la mecánica cuántica. Aquí incluyeron una presentación del principio de incertidumbre y de la interpretación probabilista de la función de onda. En las conclusiones de su presentación se puede leer lo siguiente:

Sobre la cuestión de la 'validez de la ley de causalidad' tenemos esta opinión: siempre que se tengan en cuenta solo los experimentos que se encuentran en el dominio de nuestra experiencia en mecánica cuántica, actualmente adquirida, el supuesto de indeterminismo en principio, aquí tomado como fundamental, concuerda con la experiencia. (Born y Heisenberg, Institut International de Physique Solvay 178)

Vemos que no es una declaración de realismo, pero sí de principio respecto al dominio de los fenómenos cuánticos. Pero más revelador resulta el título de

las conclusiones de Lorentz al encuentro: Causalidad, determinismo, probabilidad. Una señal inequívoca de que el tema más controversial del congreso giró en torno a estos temas. Sus últimas palabras fueron:

Siempre podría mantener mi fe determinista en los fenómenos fundamentales, de los que no he hablado. ¿Podría una mente más profunda no darse cuenta de los movimientos de estos electrones? ¿No se podría conservar el determinismo convirtiéndolo en objeto de creencia? ¿Debe uno necesariamente elevar el indeterminismo a un principio? (Lorentz, Institut International de Physique Solvay 250)

(iii) Finalmente, respecto al problema de la medición, no entraremos en muchos detalles, pues es un tema extenso y complejo, pero es importante nombrarlo, porque con él se introducen las primeras discusiones sobre el papel que el observador juega en la medición y cómo esto es importante para la predicción de las probabilidades; abre una discusión sobre si es la naturaleza la que toma la decisión en el momento de la medición o si es el observador quien decide. Se inaugura así otro entramado de controversias que persiste hasta nuestros días. Lo interesante para nosotros es que la imagen de una naturaleza en la que coexisten todas las posibilidades y que se definen solo al momento de hacer una medición es ya la imagen de un mundo en donde el indeterminismo es más constitutivo que epistémico.

Después de todas las discusiones, queda la sensación de que la idea dominante de la mecánica cuántica en la comunidad es la presentada por el grupo de Copenhague. Aceptar este programa incluía entonces aceptar el indeterminismo como principio esencial de la descripción cuántica del mundo; aceptar que las soluciones obtenidas de la función de onda de Schrödinger solo pueden ser interpretadas como amplitudes de probabilidad, y aceptar que no es posible construir una versión causal que explique estos fenómenos. Si bien el consenso fue amplio, no hubo unanimidad. Quedaron algunas controversias pendientes pero el tema del determinismo se consideró saldado. En los siguientes diez años las controversias relacionadas con el determinismo se debilitaron. Solo el problema del entrelazamiento y el problema de la medición siguieron siendo tema de debate en pequeños grupos interesados por los fundamentos.

### 5.3 La derrota de las alternativas

Durante las décadas de los años 1930 y 1940, el foco del espacio controversial sufre un nuevo bloqueo conceptual. El *common ground* pasa a incluir acuerdos como la aceptación de la relatividad y la mecánica cuántica, como teorías fun-

damentales, y la interpretación de Copenhague, como mejor alternativa para la comprensión de los fenómenos cuánticos. La discusión sobre el determinismo se limita al campo filosófico –en la física la controversia se abandona–. En este periodo se produce una refocalización: las discusiones dominantes se centran en la completitud de la descripción cuántica del mundo y esto deriva en discusiones sobre localidad, separabilidad y medición. Sin embargo, los actores que siguen discutiendo estos problemas son muy pocos.

A pesar de que De Broglie había presentado su propuesta para una versión causal de la mecánica cuántica, el debate sobre su posibilidad perdió interés para los físicos. A partir de 1927, fueron más los filósofos que se interesaron por la controversia cuántica y, en particular, por la controversia sobre la causalidad y el determinismo –autores como Cassirer, Reichenbach, Carnap, Popper, entre otros–. Durante esta época, la física en general tomó una dirección más práctica y los problemas de los fundamentos de la mecánica cuántica fueron tildados de filosóficos. Este tiempo de estancamiento de la discusión en la física implicó un nuevo bloqueo conceptual y vino acompañado de la reformulación de muchos de los problemas y conceptos implicados. En la medida en que los procesos de medición y los desarrollos tecnológicos asociados fueron dando solución a problemas más prácticos, también las discusiones sobre medición y la interpretación de los datos se hizo más fuerte.

Por otro lado, el triunfo del nazismo y la Segunda Guerra Mundial trajeron agitaciones políticas y sociales en toda Europa. Este fue un periodo (1933-1945) especialmente estéril para las discusiones más filosóficas de la física. La financiación científica no estuvo enfocada en el avance de los fundamentos de la ciencia, sino en sus aplicaciones prácticas y bélicas. Esto asentó el bloqueo del espacio controversial. A esta agenda predominantemente bélica se sumaron los buenos resultados experimentales que estaba obteniendo la teoría cuántica, los grandes y apabullantes avances tecnológicos sin precedentes, las mejoras en los métodos de medición y el control cada vez más preciso de la materia a escalas cada vez más pequeñas. Estas razones explican por qué los físicos dejaron de lado esta discusión filosófica y terminaron por convencerse de que los problemas restantes no podían resolverse por los métodos de la física. Para este momento, el espacio controversial queda configurado como se puede observar en la figura 2.

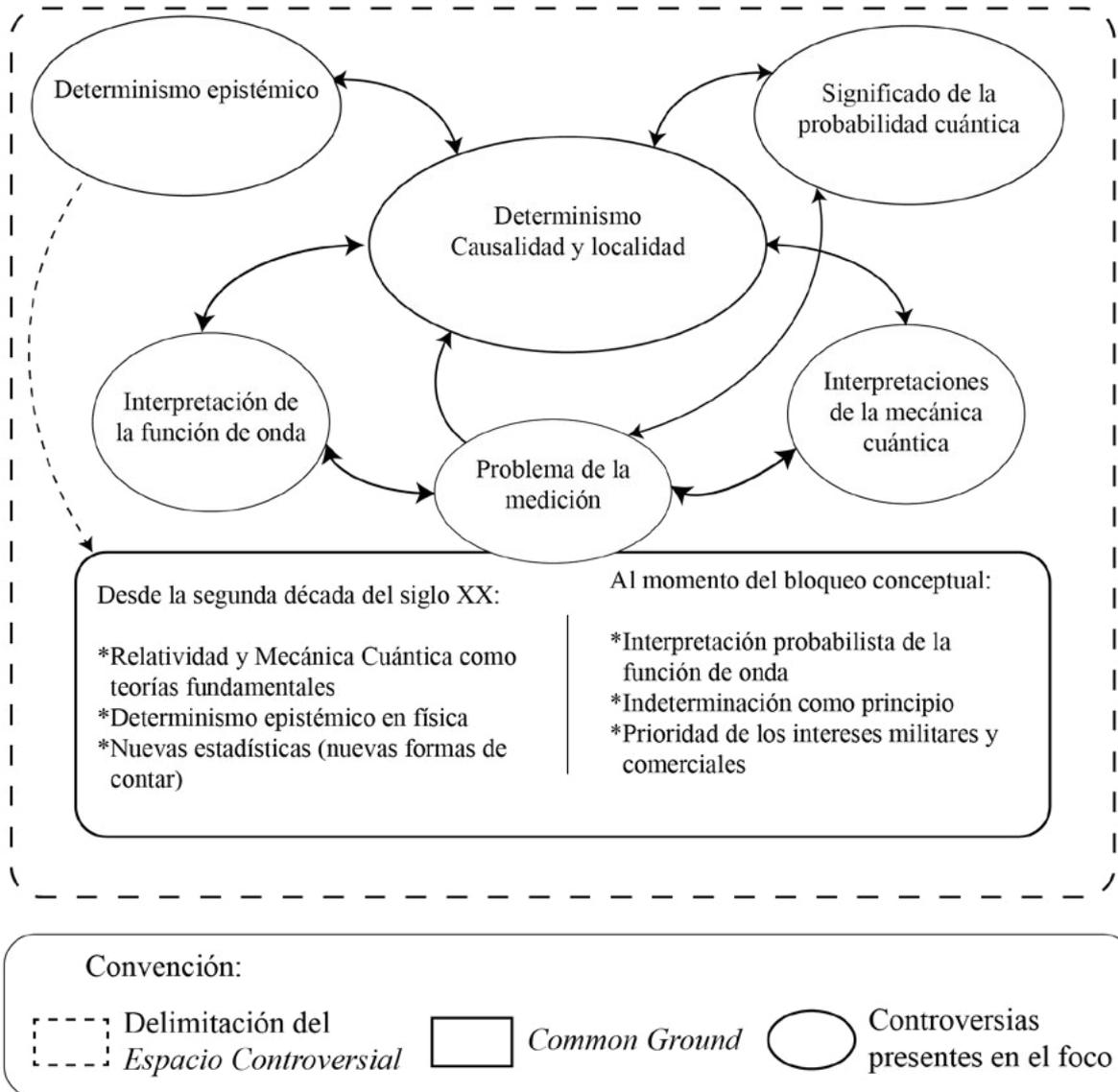


FIGURA 2: Espacio controversial durante el bloqueo conceptual

## 6. El lento camino hacia un nuevo desbloqueo

Presentaremos a continuación algunas pistas acerca de los factores que condujeron a un nuevo desbloqueo conceptual de este espacio controversial entre 1950 y 1980. La historia y el entramado de controversias de esta nueva etapa es tan extensa y compleja que no podemos abarcarla aquí, pero a grandes rasgos podemos decir que las discusiones del foco se desarrollaron en la filosofía. En la física, Bohm reactiva el debate a comienzos de 1952, pues lentamente la comunidad encontraría los métodos necesarios para plantear posibles soluciones al problema. Este desbloqueo reactivó, al mismo tiempo, no solo el problema de la causalidad y la localidad, sino sobre todo la discusión sobre si el estado descrito por la teoría cuántica es óptico o epistémico. Los planteamientos de Bell en la década de 1960 propiciaron el desbloqueo total del espacio. Con estos nuevos elementos, el problema del determinismo y la causalidad vuelve a ser considerado un problema propio de la física.

Bohm publicó su propuesta de una versión causal de la mecánica cuántica en dos artículos que aparecieron en *Physical Review* bajo el título "A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of 'Hidden' Variables I y II". En esta nueva propuesta, el electrón tiene posición y momento bien definidos, por lo que sus trayectorias no solo están determinadas, sino que son continuas. La posición y el momento son entonces las variables ocultas y el propio formalismo difiere respecto de la mecánica cuántica estándar:

Al igual que en la versión estándar, la evolución del estado cuántico está gobernada por la Ecuación de Schrödinger; pero, además, la evolución de las posiciones de las partículas se encuentra regida por una ecuación de guía, según la cual las posiciones son función de la fase de la función de onda  $\psi$ . Por lo tanto,  $\psi$  es considerada como un campo físico que guía el movimiento de las partículas a lo largo de trayectorias que difieren de las trayectorias clásicas. (Lombardi 2000 264)

Cuando aparecieron en enero de 1952, los artículos ya habían recibido una réplica de Wolfgang Pauli: se trataba de las mismas objeciones que ya había dirigido a De Broglie en 1927. Estas réplicas de Pauli y la respuesta a ellas fueron incluidas en el texto final de Bohm: "Como mostraremos [...] todas estas objeciones de de Broglie y Pauli podrían haber sido resueltas si de Broglie hubiera llevado sus ideas a su conclusión lógica" (Bohm 167).

La estrategia argumentativa de Bohm en estos dos artículos muestra que se estaba preparando para una polémica acalorada. Sin embargo, la recepción de

sus artículos generó menos controversia de la que él esperaba: la estrategia de la comunidad cuántica para neutralizar la propuesta no fue primariamente la crítica sino la indiferencia. Habría que esperar hasta 1966, con la propuesta de Bell, para que el debate empezara a llamar la atención de la comunidad. Bell se interesó por los problemas fundamentales de la mecánica cuántica leyendo el libro de Born, *Natural Philosophy of Cause and Chance*. En 1952, encontró la publicación de Bohm de las variables ocultas, que le causó una profunda impresión. Desde este momento, los intereses de Bell se centraron en encontrar formas de defender la propuesta de Bohm, aunque habrían de pasar unos 10 años hasta que su defensa saliera a la luz.

Bell comienza por demostrar las inconsistencias de las pruebas de imposibilidad presentadas por von Neumann, y Jauch y Piron. Luego, intenta perfeccionar el modelo de variables ocultas, pero se encuentra nuevamente con el problema de la no-localidad. Para evitarlos, propone su teorema, en el que plantea que ningún modelo realista y local de variables ocultas puede recuperar todas las predicciones de la mecánica cuántica. Para cuantificar esta afirmación construye ciertas desigualdades que debería cumplir todo modelo realista y local, pero que resulta violada por la mecánica cuántica. Sin entrar en los detalles de esta propuesta (e. g. Freire Junior, "Philosophy Enters the Optics Laboratory"), interesa señalar que las implicaciones más fuertes de las desigualdades de Bell ponían en juego la localidad y no solo las variables ocultas, generando la refo-calización del espacio, pues el interés de la comunidad se enfocó en nuevos temas. Durante la siguiente década, algunos físicos estuvieron buscando formas de resolver el problema, y esto derivó en la creación de un nuevo campo de investigación: quantum foundations. Las nuevas controversias que componen el espacio se agrupan alrededor de un tema dominante que es el realismo de la descripción del estado cuántico. En estrecha relación con estas discusiones están las controversias entre los defensores de una visión estándar y los defensores de las variables ocultas, así como los debates sobre no-localidad y las múltiples interpretaciones de la mecánica cuántica. Lo que está en juego es la pregunta "¿la descripción del estado cuántico debe tomarse como una descripción de la realidad o solo como una forma de entender el mundo?". Estas son discusiones que en las últimas décadas han planteado los defensores de posturas antirrealistas como el QBism o la interpretación informacional de Bub. También aparecen en el foco controversias como la separabilidad y la causalidad. En la actualidad, el espacio controversial sigue vigente.

## 7. Conclusiones

He propuesto reconstruir aquí la controversia sobre el determinismo en la mecánica cuántica durante la primera mitad del siglo XX. Para hacerlo, he apelado al modelo de los espacios controversiales de Oscar Nudler, porque permite seguir el desarrollo de una controversia, no de forma aislada, sino también en relación con una red de controversias interrelacionadas, lo que enriquece en gran medida el estudio. En este caso, propuse que la controversia sobre el determinismo en los primeros años de desarrollo de la mecánica cuántica estuvo relacionada, entre otros factores, con la asimilación del estilo de razonamiento estadístico y sus diferentes etapas de desarrollo. Muestro entonces cómo, una vez que la mecánica estadística pasa a formar parte del *common ground* del espacio, sus diversas aplicaciones hacen que la estadística se convierta en una herramienta de predicción y en una herramienta de interpretación. En esta medida, la probabilidad se hizo necesaria para interpretar el mundo, y esto tuvo como consecuencia la aceptación de un indeterminismo epistémico.

Luego, propongo una segunda etapa de desarrollo en la que la probabilidad no se limita a una interpretación del mundo, sino que se convierte en algo constitutivo de los fenómenos mismos. Para este momento, el estilo estadístico ya se ha fusionado, por un lado, con el estilo de modelado hipotético o analógico, dando lugar a lo que Hacking llamó “la era de modelado y prueba” y, por otro, con el estilo de laboratorio, mostrando cada vez más su carácter constitutivo. En este punto, la noción de probabilidad se vuelve parte fundamental de los fenómenos y la naturaleza ya no puede concebirse sin la existencia de una probabilidad subyacente. Sin embargo, y aunque este periodo pareció ser asimilado rápidamente por la comunidad, tuvo un bloqueo desatado por distintos factores sociopolíticos e institucionales y, en consecuencia, las controversias se aplazaron. Solo durante la segunda mitad del siglo XX el espacio supera este bloqueo generando una refocalización completa de un espacio cuyas controversias siguen vigentes en la actualidad.

\*\*Quiero agradecer a mis directores, el Dr. Jesús Alcolea Banegas y el Dr. Juan de Dios Bares Partal, por sus diligentes indicaciones, correcciones y su incondicional apoyo. A la Dra. Olimpia Lombardi por su dedicación y destreza en la estructuración de este trabajo y su grupo de la Universidad de Buenos Aires por las discusiones. También, al Dr. Boris Ángel Rodríguez (Universidad de Antioquia), por su ayuda desinteresada y sus orientaciones en los aspectos técnicos de este trabajo. Y finalmente a Juliana Gutiérrez, quien me ayudó a ver los problemas desde nuevas perspectivas.\*\*

## BIBLIOGRAFÍA

- Beauchamp, Tom. "Ethical theory and the problem of closure." *Scientific Controversies: Case studies in the resolution and closure of disputes in science and technology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987.
- Bohm, David. "A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of "Hidden" Variables I." *Physical Review* 85.2 (1952): 166-179.
- Born, Max. "Quantenmechanik der Stoßvorgänge." *Zeitschrift für Physik* 38.11 (1926):803-27.
- Brush, Stephen G. "Development of the Kinetic Theory of Gases. V. The Equation of State." *American Journal of Physics* 29.9 (1961): 593-605.
- Brush, Stephen G. "James Clerk Maxwell and the Kinetic Theory of Gases: A Review Based on Recent Historical Studies." *American Journal of Physics* 39.6 (2005): 631.
- Brush, Stephen G. "The Development of the Kinetic Theory of Gases." *Archive for History of Exact Sciences* 12.1 (1974): 1-88.
- Brush, Stephen G. *The kind of motion we call heat: a history of the kinetic theory of gases in the 19th century*. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1976.
- Cushing, James T. "Historical Contingency and Theory Selection in Science." *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association* 1992.1 (1992): 446-457.
- Darrigol, Olivier. "A simplified genesis of quantum mechanics." *Studies In History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 40.2 (2009): 151-166.
- Ehrenfest, Paul y Tatiana. "Begriffliche Grundlagen der statistischen Auffassung in der Mechanik." *Encykl. der math IV* (1911).
- Forman, Paul. *Cultura en Weimar, causalidad y teoría cuántica, 1918-1927: adaptación de los físicos y matemáticos alemanes a un ambiente intelectual hostil*. Traducido por Jose Manuel Sanchez-Ron, Madrid: Alianza, 1971.

## II. ARTÍCULOS

---

- Freire Junior, Olival. *The Quantum Dissidents: Rebuilding the Foundations of Quantum Mechanics (1950-1990)*, New York (NY): Springer (2015): 235-286.
- Hacking, Ian. "Language, Truth and Reason." *Rationality and Relativism*. Editado por Martin Hollis y Steven Lukes, Cambridge (Mass): The MIT Press, 1982. 48-66.
- Hacking, Ian. "Language, Truth and Reason' 30 years Later." *Studies in History and Philosophy of Science Part A* 43.4 (2012): 599-609.
- Hacking, Ian. "Statistical Language, Statistical Truth and Statistical Reason: the Self-Authentification of a Style of Scientific Reasoning." *The Social Dimensions of Science*, Notre Dam (Ind): University of Notre Dame Press, (1992): 130-157.
- Hacking, Ian. *The Emergence of Probability*. Cambridge: Cambridge University Press, 1975.
- Hacking, Ian. *The Taming of Chance*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
- Howard, Don. "Revisiting the Einstein—Bohr Dialogue." *Iyyun: The Jerusalem Philosophical Quarterly* 56 (2007): 57-90.
- Institut International de Physique Solvay y Lorentz. *Electrons et photons: rapports et discussions du cinquième Conseil de physique tenu à Bruxelles du 24 au 29 octobre 1927*. Gauthier-Villars et cie, 1928.
- James, William. *The Will to Believe and Other Essays in Popular Philosophy*. New York (NY): Dover Publications, 1897.
- Jauch, J. M., y C. Piron. "Can hidden variables be excluded in quantum mechanics." *Helvetica Physica Acta* 36 (1963): 827-837.
- Kuhn, Thomas. *La teoría del cuerpo negro y la discontinuidad cuántica, 1894-1912*. Madrid: Alianza, 1978.
- Lombardi, Olimpia. "El problema de la irreversibilidad, de Fourier a la teoría del caos." *Espacios controversiales*, Buenos Aires: Miño y Dávila, 2009 129-161.

- Lombardi, Olimpia. *El problema del determinismo en la física*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, 2000.
- López, Cristian. *Los inicios de una revolución permanente: el nacimiento de la mecánica cuántica: 1900-1927*. Rosario: Logos, 2018.
- Mazur, Allan. *The Dynamics of Technical Controversy*. Washington DC: Communications Press, 1981.
- McMullin, Ernan. "Scientific Controversy and its Termination." *Scientific Controversies: Case studies in the resolution and closure of disputes in science and technology*. Edited by H. Tristram Engelhardt y Arthur L. Caplan, Cambridge: Cambridge University Press, 1987.
- Monaldi, Daniela. "The Statistical Style of Reasoning and the Invention of Bose-Einstein Statistics." *Berichte Zur Wissenschaftsgeschichte* 42.4 (2019): 307-337.
- Muller, F. A. "The Equivalence Myth of Quantum Mechanics -Part I." *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 28.1 (1997): 35-61.
- Neumann, John von. "The Equivalence of the Two Theories" *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*. Translated by: Robert T. Beyer, Edited by: Nicholas A. Wheeler, Princeton: Princeton University Press, 1955. Pp 13-24.
- Nudler, Oscar. *Espacios controversiales: hacia un modelo de cambio filosófico y científico*. Buenos Aires: Miño y Dávila, 2009.
- Nudler, Óscar. "Hacia un modelo de cambio conceptual: espacios controversiales y refocalización." *Revista de Filosofía* 29.22 (2004): 7-19.
- Peirce, Charles Sanders. "The Doctrine of Necessity Examined." *The Monist* 2.3 (1892): 321-337.
- Perovic, Slobodan. "Why Were Matrix Mechanics and Wave Mechanics Considered Equivalent?" *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 39.2 (2008): 444-461.

## II. ARTÍCULOS

---

Robertson, Peter. "Birthplace of a new physics: the early history of the Niels Bohr Institute" *One Hundred Years of the Bohr Atom. Proceedings from a Conference*. Editado por Finn Aeserud y Kragh, Helge, vol. 1, Copenhagen: The Royal Danish Academy of Sciences and Letters, 2015.

Sánchez-Ron, José Manuel. *Historia de la física cuántica*. Madrid: Crítica, 2001.

Stachel, John. *Einstein's Miraculous Year: Five Papers That Changed the Face of Physics*. Princeton: Princeton University Press, 2005.

Varela Machado, Olga. "Desbloqueo conceptual de la controversia sobre el determinismo durante la segunda mitad del siglo XIX." *Crítica. Revista Hispanoamericana de Filosofía* 52.156 (2020): 87-114.

---

## **ARTÍCULO 3:**

# **ESTILOS Y ESTRATOS PARA EL ESTUDIO DE CONTROVERSIAS CIENTÍFICAS**

Olga Varela Machado y Juliana Gutiérrez Valderrama

Aceptado para publicación en: Ideas y Valores. Revista colombiana de Filosofía. Universidad Nacional de Colombia. Volumen 71, Número Especial 8 (noviembre 2022). DOI: 10.15446/ideasyvalores.v71n8Supl.102057

Recibido el 21 de febrero de 2022; aceptado el 17 de mayo de 2022.

### **RESUMEN:**

En el artículo planteamos una categoría para el estudio de controversias científicas, controversias sobre estilos, y proponemos una herramienta de análisis para dar cuenta de ellas. Para ello, hacemos uso de la noción de estilo de razonamiento de Ian Hacking y la metáfora de una historia por estratos. Mostraremos que las controversias sobre estilos tienen la particularidad de persistir en el tiempo, evolucionar e involucrar discusiones y debates en múltiples niveles. Para ilustrar nuestra propuesta, presentamos la controversia cuántica como un ejemplo de una controversia sobre estilos y hacemos uso de la herramienta que aquí sugerimos.

**PALABRAS CLAVES:** controversias científicas, estilos de razonamiento, estratos, controversia cuántica

### **ABSTRACT:**

In this article we propose a category for the study of scientific controversies, controversies about styles, and suggest a tool of analysis to give an account of this sort of disagreement. To do this, we use Ian Hacking's notion of style of reasoning and the metaphor of a stratified history. We show that controversies of styles have particular traits: they persist over time, evolve, and include discussions and debates on multiple levels. We present the quantum controversy as a case of a controversy about styles and make use of the tool we have suggested to illustrate our proposal.

**KEYWORDS:** scientific controversies, styles of reasoning, strata, quantum controversy

## **1. Introducción**

El estudio de controversias científicas abarca ya una amplia literatura que presenta distintas alternativas de clasificación y caracterización, tanto para el análisis de las controversias como para el estudio de sus resoluciones. Estas categorías de análisis resultan sumamente útiles a la hora de realizar estudios de caso, pues facilitan la identificación de los distintos elementos que están en juego en cada desacuerdo. En este contexto, autores como Aristides Baltas o Ernan McMullin presentan taxonomías que permiten identificar los diferentes tipos de controversias que pueden surgir en el desarrollo de la ciencia. Sin em-

bargo, a partir de algunos estudios de caso previos, hemos detectado un vacío en estas categorías. Un ejemplo paradigmático de este vacío lo encontramos en los diferentes estudios sobre la que se ha llamado la controversia cuántica, que cumple más de un siglo de vigencia. Durante este periodo, encontramos un amplio conjunto de subcontroversias interrelacionadas: sobre la interpretación de las leyes estadísticas, sobre la naturaleza de la causalidad, sobre el carácter ontológico o epistémico del indeterminismo, sobre la estructura de la materia e, incluso, sobre los límites y propósitos de la propia física y sus prácticas científicas. Frente a este conjunto de discusiones, que abarca múltiples niveles, tanto metodológicos, teóricos y ontológicos como observacionales, ¿qué herramientas o categorías filosóficas tenemos a la mano para poder dar cuenta de ellas? ¿Es este episodio aislado y único en la historia de la ciencia?

Si acudimos a las clasificaciones existentes, encontramos, por ejemplo, a Ernan McMullin, quien propone una taxonomía de controversias científicas e identifica cuatro tipos: controversias sobre hechos, sobre teorías, sobre principios y mixtas. Con esta clasificación a la mano, el autor describe la controversia cuántica como una controversia sobre principios –metodológicos u ontológicos–. Sin embargo, en esta caracterización McMullin hace alusión a un momento y a unos actores particulares en el marco de más de un siglo de controversia, a saber, las críticas de Einstein, Bohm, Vigier y otros a las interpretaciones indeterministas de la mecánica (cf. 74-75). Con esto, el resto de debates y científicos que rodean a la controversia sobre la mecánica cuántica quedan excluidos, y con ellos la riqueza y complejidad del conjunto. La categoría controversia sobre principios no da luces sobre la evolución y las distintas fases de esta controversia a través del tiempo.

Por otra parte, Aristides Baltas ha sugerido otras categorías de controversias científicas. El autor identifica tres tipos de controversias: superficiales, intermedias y profundas, según el nivel o grado de profundidad de las presuposiciones de trasfondo que están en discusión. Estas presuposiciones pueden ser constitutivas (las más profundas), interpretativas, de participación y de preferencia (las más superficiales). Con esto en mente, Baltas clasifica un momento particular de la controversia cuántica, i. e. la controversia Einstein-Bohr, como una controversia intermedia, en la cual el punto de debate es la interpretación del formalismo (cf. 46). No obstante, ¿qué podríamos decir de los otros periodos y actores, y de las razones por las cuales los puntos de debate y desacuerdo han evolucionado en el transcurso de más de cien años? Si se analiza esta controversia más de cerca, es posible ver que esta ha atravesado todos los niveles señalados por Baltas. Necesitamos, por lo tanto, categorías y herramientas nuevas para dar cuenta de controversias como esta.

Por todas estas razones, vemos necesario plantear una nueva categoría de controversias, pues creemos que la controversia cuántica es una controversia sobre estilos, es decir, esta surge por la introducción de un nuevo estilo de razonamiento en la física, a saber, el estilo estadístico. Como mostraremos, introducir un estilo nuevo en el contexto de una disciplina trae desacuerdos, y las controversias desencadenadas tienen ciertas particularidades asociadas a la evolución del estilo en cuestión, i. e. la controversia tiende a persistir en el tiempo –dependiendo de la rapidez de aceptación o rechazo del estilo por la comunidad–, abarca diferentes niveles de discusión y da lugar a varias subcontroversias relacionadas que pueden aparecer por la introducción de elementos novedosos o porque estos elementos chocan con los estilos preexistentes. Estos aspectos aún no logran ser analizados con las categorías filosóficas disponibles.

Adicionalmente, también hace falta ofrecer una herramienta para poder capturar, en primer lugar, cómo estas controversias cambian y evolucionan a través del tiempo –más aún cuando implican una larga duración– y, en segundo lugar, los distintos niveles en los cuales puede desarrollarse el debate. Para esto, nos basamos en la noción de estilo de razonamiento de Ian Hacking y hacemos uso de la metáfora de la historia por estratos que James Elwick introduce en el estudio de los estilos. Con ambos conceptos podemos ver cómo ciertas prácticas científicas –o formas de “pensar y hacer” (cf. Hacking, “LTR 30 years later”)– pueden sedimentarse o salir a la superficie y motivar distintos debates en un periodo de tiempo. También nos permitirá precisar el análisis de las diferentes etapas por las que puede pasar una controversia sobre estilos, lo que enriquecerá el análisis.

En la primera sección, presentamos la categoría de controversias sobre estilos y la noción de estilo de razonamiento de Ian Hacking, así como algunos ejemplos de controversias sobre estilos con el fin de ganar claridad sobre esta nueva clasificación. En la segunda sección, presentamos la interpretación de los estilos de razonamiento de Elwick como condiciones estratificadas de posibilidad y exponemos nuestra herramienta de análisis para poder dar cuenta de las controversias sobre estilos. En este punto, hacemos énfasis en el carácter evolutivo de los estilos de razonamiento y, adicionalmente, en la forma como estos constituyen estratos de condiciones de posibilidad de la práctica científica, los cuales pueden cambiar de nivel de profundidad en el tiempo, esto es, pueden ser acogidos de forma explícita y luego de forma completamente tácita, o pueden pasar de lo tácito y ciegamente aceptado a ser un objeto de discusión. En la tercera sección, mostraremos cómo la controversia cuántica, en la

primera mitad del siglo XX, puede ser analizada bajo el lente de controversias sobre estilos y con nuestra herramienta.

## 2. Controversias sobre estilos

Como mencionamos en la introducción, en este artículo queremos postular una nueva categoría de controversias científicas: controversias sobre estilos. Este tipo de desacuerdos han sido identificados en la literatura (cf. Shapin y Schaffer; Cremaschi y Dascal; Gutiérrez; Fujimura y Chou; Boon) y, en ese sentido, no somos las primeras en afirmar que existen controversias alrededor de los estilos utilizados por las comunidades científicas. Incluso McMullin y Baltas las mencionan y las clasifican dentro de sus propias categorías: McMullin, en las controversias sobre principios; Baltas, en las controversias superficiales. Sin embargo, estas controversias, al tener ciertas características que no logran ser captadas por las categorías filosóficas en la literatura, requieren de un lente especial y nuevas herramientas de análisis para dar cuenta de sus dinámicas y evolución y, por eso mismo, creemos importante tratarlas como una categoría aparte. Para delimitarlas adecuadamente vamos a presentar primero la noción de estilo de razonamiento, con el fin de aclarar qué entendemos por controversias sobre estilos.

### 2.1 Estilos de razonamiento y controversias científicas

La noción de estilo de razonamiento tiene una larga historia y múltiples aplicaciones y definiciones. Muchos autores han usado el concepto de estilo de pensamiento o de razonamiento como un instrumento útil para el análisis del pensamiento científico europeo. Ludwik Fleck, por ejemplo, utilizó la idea de estilo de pensamiento [*Denkstil*] y colectivo de pensamiento [*Denkkollektiv*] para referirse a un conjunto de prácticas, formas de preguntar y responder, modos de investigar (entre otros) de una comunidad científica particular. Alistair Crombie, por su parte, sugirió el término estilo de pensar [style of thinking], pero agrupando comunidades mucho más amplias tanto espacial como temporalmente. Sobre esta base Ian Hacking postula sus estilos de razonamiento (cf. 1982).

Aunque son varios los autores que han hablado sobre estilos, nosotras usaremos exclusivamente la definición de Ian Hacking, especialmente la versión que

presenta en “LTR 30 years later”\*. Nuestro objetivo aquí no es debatir ni complementar esta noción. Antes bien, vamos a usarla tal y como está planteada en Hacking con el fin de bosquejar este tipo particular de controversias. Sabemos que la noción de estilos ha sido foco de diferentes debates, pero este no es el interés de nuestro artículo. Adicionalmente, Hacking no aplica específicamente su noción de estilos al estudio de controversias científicas. Así pues, este sí es un aporte que haremos tanto a la noción de estilo, como al estudio de las controversias.

La propuesta de Hacking hace énfasis en el hecho de que la ciencia es una empresa social e histórica, basada en un conjunto de personas y prácticas que apunta a asegurar algún tipo de objetividad y a establecer, en la medida de su desarrollo, qué cuenta como una buena razón (cf. Hacking, 2012 601). Estos diversos conjuntos de prácticas –que surgen en un contexto histórico y social particular, pero que, no obstante, trascienden sus condiciones de emergencia– son, precisamente, los estilos de razonamiento. En palabras de Hacking, los estilos “han establecido lo que es ser objetivo (las verdades de cierto tipo son solo lo que obtenemos al realizar ciertos tipos de investigaciones, respondiendo a ciertos estándares)” (1992b 4). Los estilos entonces tienen las siguientes características: i) delimitan lo que puede considerarse como una proposición científica dentro de una disciplina específica (es decir, cuáles declaraciones son candidatas a ser verdaderas o falsas) y ii) determinan cómo llegar a la verdad de estas proposiciones científicas.

Es importante tener en mente que los estilos –aunque definan lo que cuenta como una proposición científica– no determinan la verdad o la falsedad de estas proposiciones. Estos solo proporcionan las condiciones en las que la verdad puede determinarse de manera objetiva. Por este motivo, un estilo no constituye un conjunto de creencias bien definidas; es, en cambio, un conjunto de prácticas de las cuales emergen ciertas maneras de ofrecer y pedir razones para una determinada proposición científica, así como modos de preguntar y responder. Así las cosas, podemos pensar en los estilos de razonamiento como estratos de condiciones de posibilidad para el conocimiento científico, tal y como lo propone James Elwick.

---

\*Aunque en “LTR 30 years later” Hacking sugiere utilizar la categoría de estilo de pensar y hacer [style of scientific thinking & doing] siguiendo la idea original de Crombie, aquí hemos decidido conservar la denominación estilos de razonamiento por ser un término ya reconocido en la literatura (para profundizar en esta discusión, véase Hacking, “LTR 30 years later” 600-601).

Hacking presenta una lista no exhaustiva de estilos de razonamiento que toma de Crombie: a) estilo geométrico o de postulación y deducción en la matemática, b) estilo de investigación experimental, c) estilo analógico o de construcción hipotética de modelos, d) estilo taxonómico o de ordenamiento de la variedad por comparación, e) estilo estadístico o análisis de regularidades estadísticas en las poblaciones, y f) estilo histórico genético. En su artículo “Language, Truth and Reason”, Hacking incluye además g) el estilo de laboratorio y h) el estilo algorítmico\*\*. Todos estos estilos nacieron en una época, sociedad y comunidad científica particular. A pesar de las condiciones situadas de su emergencia, los estilos pasan por un proceso de estabilización o cristalización y logran independizarse de su contexto de nacimiento (cf. Hacking 2012), pues demuestran su éxito para determinar los valores de verdad de las proposiciones que ellos mismos introdujeron. Es decir, los estilos se autoautentican [self-authenticate] (cf. Hacking 1982 49).

Lo interesante de usar la categoría de estilo de razonamiento para el estudio de controversias científicas es que nos permite identificar cómo se han dado los procesos de aceptación y evolución de dichos estándares de racionalidad y objetividad y, además, las dinámicas de los desacuerdos que estos procesos traen consigo, i. e. controversias sobre estilos. Como ya dijimos, los estilos, desde el nacimiento hasta su posterior aceptación, atraviesan un proceso de cristalización, en el cual la comunidad pasa de discutir la pertinencia de un estilo a adoptarlo de forma generalizada y como necesario para el conocimiento científico. Dado que cada estilo introduce nuevas proposiciones, nuevos objetos, nuevas preguntas y nuevos métodos, la comunidad, por un lado, puede enfrentar desacuerdos sobre el sentido y pertinencia de estas novedades y, por otro, desacuerdos sobre las posibles interpretaciones del mundo a partir de estas nuevas estructuras. Puede suceder, además, que el estilo nuevo se enfrente con estilos ya existentes en la comunidad. Pero esto no sucede en todos los casos.

En ese orden de ideas, la introducción de un estilo de razonamiento no es trivial para una comunidad científica. Existen muchas razones para resistirse a la adopción de estas novedades, pues es necesario que la comunidad ponga a prueba la viabilidad y pertinencia del nuevo estilo y, más aún, que revise qué aspectos y presuposiciones son desestabilizados o puestos en duda al intro-

---

\*\*Sin embargo, en 2012 Hacking incluye estos dos últimos dentro de la plantilla de los seis originales de Crombie, proponiendo diferentes estados de desarrollo o evolución de cada estilo –más adelante ahondaremos en esto–; de esa forma, el estilo de laboratorio se considera un estado de desarrollo dentro del estilo experimental, y el estilo algorítmico pasa a ser parte del estilo geométrico como una nueva etapa.

ducirlo. Existen, adicionalmente, contingencias históricas que pueden jugar a favor o en contra de su aceptación. De este modo, no todas las controversias sobre estilos van en la siguiente dirección: primero, aparece un nuevo estilo; luego, la comunidad discute al respecto y, finalmente, lo adoptan. Al contrario, pueden encontrarse ejemplos de intentos de introducción de un nuevo estilo en una comunidad que terminan con el rechazo y la exclusión del estilo, así como casos en los que un estilo que estaba siendo utilizado ampliamente entra en desuso (cf. Hacking 2012 607). Todas estas posibilidades constituyen un amplio espectro de controversias sobre estilos. Nótese que controversias sobre estilos no hace referencia únicamente a desacuerdos entre estilos. La categoría que proponemos pretende abarcar los desacuerdos y debates que se desatan a raíz de la introducción de un nuevo estilo en una disciplina. Dichos debates pueden ser por choques con estilos previos en la disciplina, pero, como mencionamos, también por la legitimidad o pertinencia de los elementos novedosos que son introducidos por el nuevo estilo (evidencia, proposiciones, objetos, instrumentos, etc.).

### *2.2 Ejemplos históricos de controversias sobre estilos*

En la historia de la ciencia podemos encontrar varios ejemplos de controversias sobre estilos. El episodio narrado por Shapin y Schaffer en *Leviathan and the Air-Pump* es una buena ilustración de una controversia que se desató al interior de la comunidad científica como consecuencia de la introducción del estilo experimental en la física. Se trató de una controversia cuyas cabezas más visibles fueron Hobbes y Boyle. El desacuerdo giró principalmente sobre la pregunta “¿qué cuenta como evidencia científica?”. Y, como nos muestran los autores, también sobre elementos más profundos relacionados con la introducción del nuevo estilo. Otro ejemplo lo encontramos en la controversia sostenida entre Hermann von Helmholtz y Ewald Hering en el marco de la óptica fisiológica en la Alemania del siglo XIX. Dicha controversia puede interpretarse como un caso de desacuerdo motivado, por un lado, por la introducción del estilo analógico y experimental en la fisiología y, por otro, por el rechazo de lo que podríamos llamar un estilo romántico u holístico (cf. Gutiérrez). Creemos que también pueden rastrearse este tipo de controversias en las discusiones que se dieron en biología y geología a lo largo del siglo XIX. Este amplio conjunto de desacuerdos puede leerse como controversias sobre estilos producidas por la introducción del estilo histórico genético, que luego se trasladaron a la sociología durante la segunda mitad del siglo XIX y que se desarrollaron alrededor de las teorías del evolucionismo social.

Finalmente, el ejemplo que usaremos en nuestro artículo es el relativo a la controversia cuántica. De acuerdo con nuestra lectura del caso, esta controversia puede interpretarse como una controversia sobre estilos desatada por la introducción del estilo estadístico en la física. Si lo pensamos de ese modo, la controversia tendrá que extenderse desde mediados del siglo XIX –con el desarrollo de la estadística Maxwell-Boltzmann–, hasta las primeras décadas del siglo XX –con la postulación y aceptación de la teoría cuántica– o incluso hasta nuestros días. Vamos a mostrar cómo esta nueva lectura de la controversia cuántica nos permite articular diferentes niveles de controversias que se desataron durante la introducción y asimilación del estilo estadístico en la física, dándonos luces sobre la forma en que se transformó la visión del mundo desde una mecánica determinista hasta la postulación de un azar subyacente. Algunos autores ya han sugerido de diferentes modos esta lectura de la controversia, haciendo énfasis en el impacto que los métodos estadísticos tuvieron en la física de este periodo (e. g. Kuhn, Brush, Monaldi). Sin embargo, nuestra propuesta es mucho más enfática a la hora de delimitar los diferentes niveles por los que pasó el desarrollo del estilo y la influencia de estos en la adaptación de una nueva imagen del mundo coherente con este nuevo estilo.

Así pues, la caracterización de Hacking de los estilos de razonamiento permite dar cuenta de las presuposiciones que un estilo trae consigo –objetos, métodos, instrumentos, etc.– y de su proceso de sedimentación a partir del cual el estilo se cristaliza, formando estratos de condiciones de posibilidad para la construcción del conocimiento científico. Como mostraremos, una de las ventajas de la introducción de la metáfora de los estratos es que facilita la identificación de los diferentes niveles que pueden tener las controversias sobre estilos. Con esto en mente, en la próxima sección, presentaremos en detalle una herramienta de análisis que hace énfasis en los estilos de razonamiento como condiciones estratificadas de posibilidad para i) identificar las etapas de evolución de los estilos de razonamiento en el contexto de una disciplina científica y ii) caracterizar los momentos por los que pueden pasar las controversias –desatadas por la introducción de un estilo– de acuerdo con el nivel de profundidad en el que se desarrollan las discusiones.

### **3. Estilos de razonamiento como condiciones estratificadas de posibilidad**

Como ya hemos señalado, Hacking propone la metáfora de la cristalización (cf. 2012) para referirse a los periodos concretos en los que los estilos, por diferentes contingencias históricas, se precipitan hacia el proceso de autoautenticación, o se fusionan con otros estilos, o se aplican a nuevos fenómenos, haciéndose más universales. Por ejemplo, si bien Crombie rastrea el estilo experimental hasta la Edad Media, Hacking afirma que la cristalización de este estilo no se dio sino hasta el siglo XVII con episodios como el ilustrado por Shapin y Schaffer en *Leviathan and the Air-Pump*. También el estilo estadístico, a pesar de tener algunos antecedentes anteriores a Pascal, no se cristalizó sino hasta la segunda mitad del siglo XVII (Hacking 1975).

Adicionalmente, la metáfora de la cristalización viene acompañada de la idea de que los estilos pueden llegar a tener diferentes estados de desarrollo. Por ejemplo, el estilo geométrico se cristalizó con la introducción, por parte de los griegos, de la prueba formal en geometría, pero su proceso no termina ahí, pues este tipo de prueba se extendió a las demás ramas de las matemáticas y, luego, a otras disciplinas. Recientemente, también se ha introducido la demostración generada por computadora –lo que Hacking había llamado el estilo algorítmico– que, según el autor, no es un estilo nuevo, sino una etapa de desarrollo del estilo geométrico (cf. Hacking 2012). Cada una de estas etapas produce cambios en el estilo, lo generaliza, lo hace autónomo a través de nuevas formas y permite ampliar la colección de objetos y proposiciones que se hacen inteligibles gracias a él. Este escenario es sumamente fértil para la aparición de controversias.

La visión estratificada de la historia nos parece idónea para explicar los diferentes estados de desarrollo de los estilos, así como para comprender la dinámica de las controversias que se generan a causa de estos movimientos. La idea de estrato traída desde la geología sugiere un proceso de sedimentación que lleva diferentes elementos desde una superficie menos firme hacia un fondo más sólido, es decir, diferentes estratos ocupan diferentes niveles de profundidad. Sin embargo, al igual que los estratos geológicos, la profundidad no garantiza la permanencia y mucho menos la inmovilidad, pues en la medida en la que los estratos se mueven de la superficie hacia el fondo, algunas de las capas ya formadas podrían moverse para salir a la superficie. En el ejemplo que vamos a presentar más adelante, veremos cómo presuposiciones muy pro-

fundas –como la naturaleza determinista de la realidad– salen a la superficie y se convierten en tema de controversia debido a la introducción del estilo estadístico.

### *3.1 Estratos de condiciones de posibilidad*

Son varios los autores que han usado la metáfora de los estratos para referirse a la formación de los conceptos a lo largo de la historia (cf. Braudel; Jardine; Galison; Pickstone; Lloyd y Sivin). Sin embargo, Elwick señala que, en el caso de Ian Hacking, la influencia más fuerte sobre la metáfora de la estratificación viene, sin duda, de Foucault y su arqueología. Así pues, el concepto de estilo de razonamiento hace énfasis en las condiciones de posibilidad que se han dado en un momento específico para el surgimiento de un conjunto de conocimientos particulares. La emergencia de un estilo concreto necesita de ciertas condiciones históricas (instituciones, relaciones entre las instituciones, prácticas sociales, eventos históricos, estilos cognitivos [Cotgrove], entre otros). Sin este conjunto de condiciones de posibilidad, estilos particulares no serían posibles. A su vez, el surgimiento de estos estilos posibilita ciertas prácticas, conceptos, objetos, declaraciones y estándares científicos, entre otros. En este sentido, los estilos requieren de estratos de condiciones subyacentes y, asimismo, ellos son estratos que abren otras posibilidades.

Como argumenta Elwick, ver los estilos de razonamiento como requisitos previos necesarios, pero no suficientes para el conocimiento científico evita la tentación de usarlos como determinantes causales para explicar cómo piensan y actúan los científicos. Deja espacio para la contingencia, la mediación, los marcos institucionales, las culturas profesionales y otros factores locales en el surgimiento de programas, métodos, problemas y soluciones de investigación específicos. (Monaldi 309)

La metáfora de los estratos ofrece una analogía satisfactoria que permite presentar un modelo de cambio conceptual para el establecimiento de los diferentes estándares científicos. Las posibilidades que abre radican tanto en la movilidad como en la asimilación de creencias en diferentes niveles de profundidad. Pero esta movilidad no es homogénea: los estratos más profundos se mueven más lentamente que los estratos superficiales y estas diferentes velocidades de cambio son muy importantes para comprender la duración de las controversias sobre estilos. Del mismo modo, la imagen de los estratos ayuda a comprender la relación mutua entre contexto social, presuposiciones de trasfondo y la formación de los estilos. También permite visualizar diferentes niveles de condiciones de posibilidad que juegan algún papel en la formación

y aceptación del estilo, así como la forma en que los estilos se profundizan y se convierten ellos mismos en condiciones de posibilidad.

### 3.2 Herramienta de análisis para controversias sobre estilos

A partir de estos conceptos que acabamos de mostrar queremos proponer una herramienta que facilitará el análisis de las controversias sobre estilos. En primer lugar, vamos a presentar un esquema de tres niveles de estratos en los que es posible ver cómo la emergencia de los estilos se relaciona con los contextos propios de cada época, al tiempo que se evidencia su propia influencia en las disciplinas científicas y los diferentes elementos que las componen (métodos, teorías, objetos, etc.) (figura 1). En segundo lugar, presentaremos un esquema que permite dar una mirada más detallada a la forma en que los estilos adquieren diferentes grados de sedimentación de acuerdo con diferentes niveles de profundidad (figura 2). Para caracterizar cada nivel, hemos tenido en cuenta la clasificación que hace Baltas de las presuposiciones de trasfondo, dado que las características de dichas presuposiciones son idóneas para explicar las dinámicas de sedimentación de los estilos. Como mencionamos rápidamente en la introducción, Baltas distingue cuatro niveles de presuposiciones: presuposiciones constitutivas (en el nivel más profundo o ciegamente aceptado); por encima de estas se encuentran las presuposiciones interpretativas; en un nivel superior encontramos las presuposiciones de participación y, finalmente, en la parte más superficial, están las presuposiciones de preferencia. Más adelante veremos cómo se articulan estos niveles con la sedimentación de los estilos.

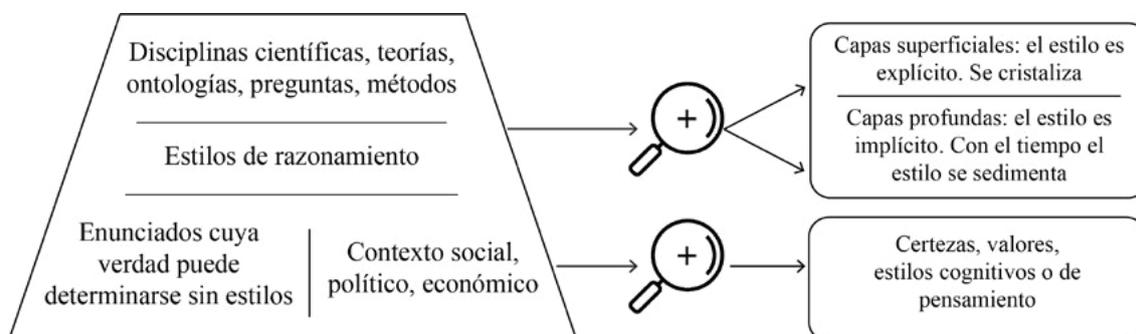


Figura 1: Niveles de estratos

De una forma más global, en la figura 1, los estratos están agrupados en tres niveles, cuya profundidad depende de la relevancia entre las condiciones de posibilidad y lo que emerge de estas condiciones. Cuanto más relevante es un estrato para el desarrollo o sostenimiento de otro conjunto de estratos, más profundo es su nivel.

Obsérvese que en el nivel más profundo (izquierda de la figura 1) hay todo un conjunto de enunciados –i. e. candidatos a verdadero o falso– que no dependen de un estilo de razonamiento para tener sentido. En palabras de Hacking,

[p]odemos saber bastante sin mucha especulación, razonamiento o reordenamiento activo o intervención sobre el mundo. Esto significa: no necesitamos ningún estilo de razonamiento para descubrir muchas cosas, porque no necesitamos, literalmente, razonar. Podemos sencillamente ir y mirar, y descubrir si algunos enunciados en efecto corresponden con cómo es el mundo. (1992a 133)

Dichas proposiciones sobre el mundo son, a su vez, las condiciones sobre las cuales pueden emerger maneras particulares de razonar y responder frente a situaciones problemáticas, cuyas soluciones demandan algo diferente de solo “ir y mirar”. Junto a estas proposiciones también encontramos el contexto social, político y económico, y todo lo que pueda ser considerado como condición de posibilidad para la emergencia de situaciones problemáticas y preguntas.

A partir de este nivel, pueden emerger los estilos (nivel intermedio) que posibilitan, a su vez, prácticas, métodos, disciplinas, teorías y ontologías para afrontar dichos problemas y preguntas (nivel superficial). Cuando los elementos que están en la base hacen posible la emergencia de nuevos estilos de razonamiento, se produce la cristalización de un estilo en una comunidad científica determinada. Más adelante, el segundo esquema (figura 2) mostrará cómo es el proceso de desarrollo y asimilación de los estilos a través de diferentes niveles. Así como los estilos son posibles gracias a los estratos más profundos, ellos mismos son condiciones de posibilidad para la aparición de ciertas proposiciones que pasarán a considerarse como científicas en la medida en que el estilo cobre autonomía. Es importante subrayar aquí que no se trata de una teoría causal sobre la emergencia de los estilos. Es decir, los estilos no son causados por la capa más profunda, pero son posibles gracias a ella, y si las condiciones de posibilidad desaparecen antes de que el estilo cobre autonomía, entonces el estilo, sus proposiciones, preguntas, métodos y objetos también desaparecerán. Sin las condiciones establecidas en la base el estilo no sería posible; pero su surgimiento no es necesario, sino puramente contingente.

Si hacemos un acercamiento al interior de cada uno de estos niveles, es posible identificar otros elementos y estratos adicionales (derecha de la figura 1). La base contiene lo que podríamos llamar formas de vida o certezas (cf. Wittgenstein), presuposiciones metafísicas (cf. Collingwood), y valores de las comunidades científicas y de la sociedad de la época. En ese orden de ideas, este nivel contiene las condiciones de posibilidad más básicas que otorgan sentido a la construcción de una visión de mundo. Es importante aclarar que el carácter “básico” de estas condiciones no significa que son “incuestionables” o “inamovibles”. Son básicas en tanto que posibilitan, pero pueden transformarse, ser discutidas u incluso olvidadas, así sea lentamente. Justo por encima de ellas, en el nivel donde se ubican los estilos de razonamiento, encontramos otros estratos que se organizan según el estado de sedimentación del estilo. La figura 2 permite visualizar estos distintos grados de sedimentación.

### Proceso de estratificación de los estilos

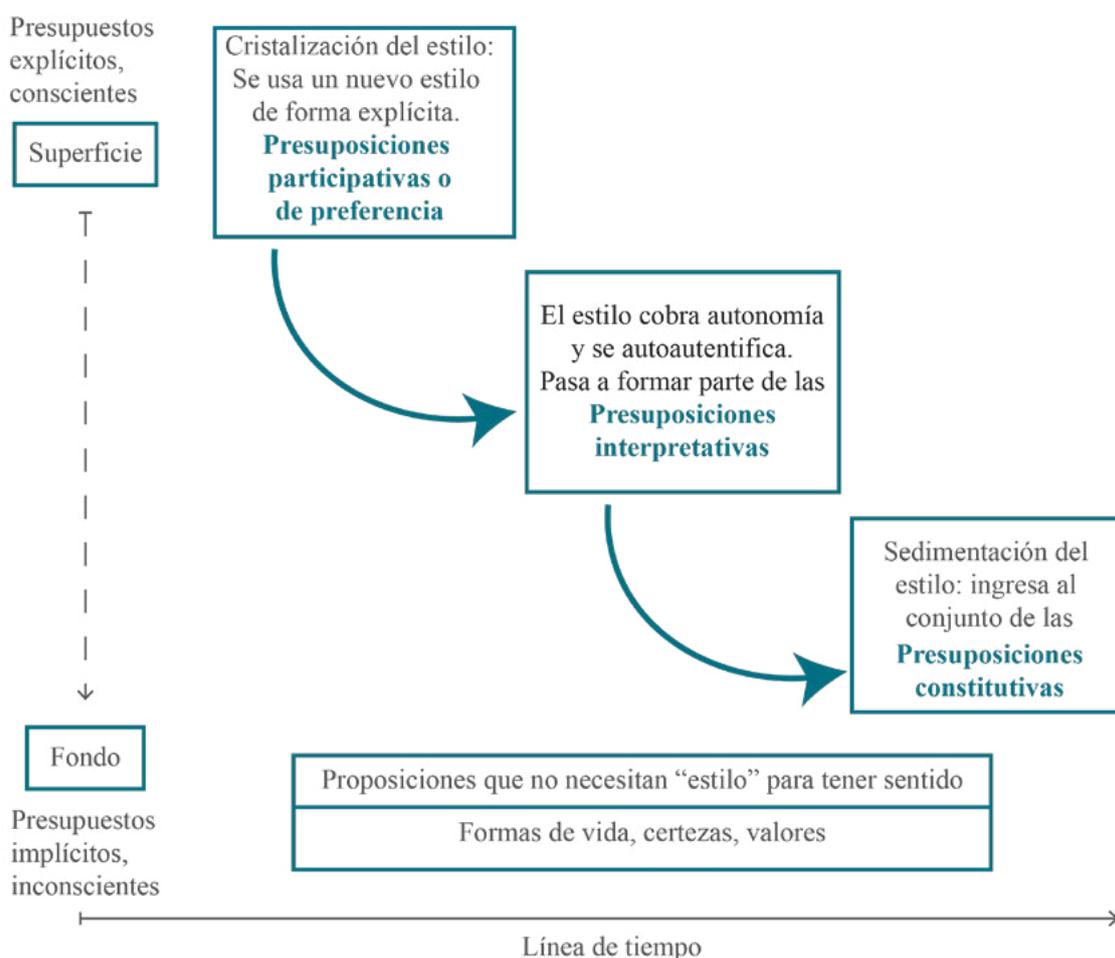


Figura 2: Estratificación de los estilos

A diferencia del esquema anterior, la figura 2 hace énfasis en el desarrollo diacrónico de los estratos y permite identificar las diferentes etapas de desarrollo de los estilos a través del tiempo. Utilizando las categorías de Baltas, queremos mostrar cómo, en la evolución de un estilo de razonamiento, este puede atravesar los diferentes niveles de presuposiciones de trasfondo, lo cual tiene un efecto importante en la dinámica de las controversias sobre estilos. La figura 2, entonces, facilita la identificación del estado de evolución del estilo con miras a esclarecer el tipo de controversias predominantes en cada nivel. Vale decir que, si en algunos de los estadios de sedimentación el estilo es rechazado por la comunidad, las controversias de los siguientes niveles no tendrán lugar.

En la figura 2 encontramos dos dimensiones: una obedece al grado de sedimentación de los diferentes estilos y presuposiciones –dimensión vertical– y la otra muestra de forma diacrónica cómo el grado de sedimentación se profundiza a lo largo del tiempo –dimensión horizontal–. Esto quiere decir que, para que un estrato pase de un nivel superior a uno inferior, es necesario que transcurra un periodo de tiempo que puede ser mayor o menor dependiendo del conjunto de condiciones de posibilidad en las que se inserte el estilo y sus controversias asociadas. En el fondo encontramos, como habíamos señalado en la figura 1, los enunciados que no necesitan un estilo de razonamiento, las formas de vida, las certezas, los valores y las presuposiciones metafísicas subyacentes. Como se puede ver, estos elementos se mantienen relativamente estables a través del tiempo y cambian lentamente. Adicionalmente, también hacen parte de esta base de condiciones de posibilidad el contexto social, político y económico, que tiene sus propios ritmos de cambio.

Por encima de esto, encontramos los niveles en los cuales los estilos pueden sedimentarse. De arriba hacia abajo vemos lo siguiente. En el nivel más superficial, vemos los presupuestos más explícitos, es decir, aquellos que son adoptados conscientemente por algunos miembros de la comunidad científica –i. e. las presuposiciones de preferencia y las participativas–. En el marco de estas presuposiciones se da la cristalización de los estilos, en la que ciertos métodos, prácticas y preguntas entran a formar parte del estándar en comunidades científicas determinadas. Este cambio se da de forma explícita y generalmente mediado por múltiples controversias superficiales (cf. Baltas) que se desatan en diferentes frentes, principalmente asociadas a la legitimidad o la viabilidad del uso del estilo. Lo interesante en este punto es que, de acuerdo con la imagen de los estratos, si bien algunos desacuerdos causados por la introducción de un nuevo estilo pueden considerarse resueltos en este nivel, en la medida en que el estilo se sedimenta, los desacuerdos iniciales pueden transformarse en controversias cada vez más profundas.

Una vez que los estilos se cristalizan, las controversias iniciales sobre la legitimidad de su uso comienzan a desatar controversias de corte más epistémico. Esto sucede porque el estilo empieza a usarse para plantear enfoques teóricos que expliquen conjuntos cada vez más amplios de fenómenos, o se usa para plantear preguntas antiguas con nuevas formas y nuevos métodos. La generalización del estilo exige, entonces, que se construya una interpretación coherente del mundo en la que el nuevo estilo pueda jugar un papel en la construcción de nuevo conocimiento. Así es como el estilo se autoautentifica y cobra autonomía, pasando a niveles más profundos. Por esta razón, el siguiente nivel en los grados de asimilación de los estilos pertenece a las presuposiciones interpretativas, pues se convierten en parte de un suelo más sólido sobre el cual se pueden interpretar conjuntos o sistemas cada vez más amplios de fenómenos, y por eso se convierten en una herramienta para comprender el mundo. El tiempo que dure este nuevo estado de sedimentación depende de cada estilo y de cada disciplina, pues puede suceder que un estilo ya aceptado en una disciplina y por una comunidad científica particular no sea aceptado en principio por otra comunidad que se dedica a otra disciplina. Esto depende de los cambios en las condiciones de posibilidad dadas en la base.

El proceso de autoautenticación del estilo pasa por su aceptación en comunidades cada vez más amplias, hasta que logra independizarse de las condiciones de emergencia. Lo más particular de este nivel es que, como dijimos antes, las controversias que pueden desarrollarse alrededor de su implementación obedecen más a discusiones de tipo epistémico: se discute principalmente el significado de los elementos novedosos que el estilo introduce. Ya el asunto de la legitimidad del estilo ha sido zanjado. La comunidad o diferentes comunidades están de acuerdo en la utilidad y adecuación del uso del estilo en ciertas explicaciones. Ahora lo que se debe resolver es cuál es su capacidad para ampliar el campo de fenómenos que pueden interpretarse a través de él y cómo este produce efectivamente nuevo conocimiento en cada campo. En este punto, los actores en disputa deben resolver el problema de cómo es la estructura conceptual del mundo a través de la mirada del nuevo estilo.

Finalmente, con el uso prolongado de un estilo de razonamiento, las comunidades pioneras en su uso terminarán adoptándolo de forma tácita, y así el estilo pasa a ser parte del estrato de las presuposiciones constitutivas. Las discusiones y controversias que se desataron en el proceso de cristalización del estilo se disuelven o se resuelven, así como las discusiones acerca de su significado. El estilo cobra completa autonomía, pero antes de hacerlo puede pasar por una serie de controversias profundas. En este nivel las discusiones pasan a tener un carácter más ontológico. Lo que deben resolver los actores de estas

controversias es hasta qué punto el mundo –la realidad– es como el estilo de razonamiento propone. Ya nadie se pregunta por las razones por las cuales el estilo constituye un estándar para las comunidades científicas. Por el contrario, empieza a defenderse como la forma correcta de hacer ciencia. En palabras de Hacking,

[l]o que una vez fueron arenas movedizas se convirtió en lo que se experimenta como la razón correcta y dura como una roca [...] El sedimento, endurecido durante mucho tiempo por grandes presiones en la roca, es una colección de logros fundamentados en el ingenio humano, las propensiones innatas y la interacción con todo. Como cualquier depósito sedimentario, puede sufrir cambios radicales en el futuro, pero no se puede deshacer. (Hacking 2012 600, énfasis agregado).

En este nivel de sedimentación, los estilos pasan a ser presuposiciones constitutivas, pues determinan la identidad de las prácticas científicas y del mundo, y se convierten en presuposiciones tácitas, extendidas y generalizadas en muchos ámbitos de la ciencia. Con la cristalización, cambian los compromisos ontológicos de la comunidad, y los objetos introducidos por el estilo dejan de ser solo herramientas o conceptos. Ahora bien, lo interesante de todo esto, como ya lo hemos señalado, es que, aunque los estilos van ocupando estratos cada vez más profundos y, por tanto, tácitos, ello no quiere decir que no puedan abandonarse en algún momento. Como señala Hacking en la cita anterior, eso que se experimenta “como la razón dura como una roca [...] puede sufrir cambios radicales en el futuro” (2012 600). No hay ninguna garantía de que las presuposiciones que se asumen inconscientemente, en determinadas comunidades científicas, sigan permaneciendo inconscientes. Lo que sí se debe resaltar es que, cuanto más sedimentado esté un estilo, más aparatoso será el cambio si la comunidad decide ponerlo en duda. Más aún, cuanto más profundo es el estrato, más difícil será que el estilo llegue a generar nuevos desacuerdos.

Hasta aquí hemos mostrado cómo es posible integrar la noción de estilo de razonamiento con la imagen de los estratos para caracterizar las controversias sobre estilos, las cuales pueden cambiar en el tiempo y abarcar diferentes niveles de profundidad. Veamos a continuación el ejemplo de la controversia cuántica entendida como una controversia sobre estilos, derivada de la introducción del estilo estadístico en la física. A través del ejemplo será más fácil entender cómo se transforman las controversias desde los niveles más superficiales hasta los más profundos.

## 4. Controversia cuántica: una controversia sobre el estilo estadístico en la física

Veamos, a modo de ejemplo, el caso de la sedimentación del estilo estadístico en la física y algunas de las controversias que aparecieron, como consecuencia, durante la segunda mitad del siglo XIX y la primera del siglo XX. Aunque pueden encontrarse ejemplos de la continuación de este proceso en la actualidad, para ilustrar nuestro modelo vamos a limitarnos a este periodo. Si bien la cristalización del estilo estadístico se produjo –según Hacking (cf. 1975 1, 57, 176)– en la segunda mitad del siglo XVII a partir de la postulación de la teoría de la probabilidad por parte de Pascal, la aplicación más relevante de estos métodos en la física no se llevó a cabo sino hasta la formulación estadística de la segunda ley de la termodinámica por parte de Maxwell y Boltzmann (1861-1866).

Usando los esquemas de análisis, veremos entonces tres niveles de sedimentación del estilo, así como las condiciones de posibilidad subyacentes, correspondientes a las presuposiciones que hemos tomado de la taxonomía de Baltas: i) una parte más superficial de cristalización del estilo en la física, correspondiente a las presuposiciones de preferencia o participación, y que se ilustra con el desarrollo de la estadística Maxwell-Boltzmann; ii) un proceso intermedio, correspondiente a las presuposiciones interpretativas y que abarca la expansión del uso de los métodos estadísticos a diferentes fenómenos del dominio cuántico; iii) una etapa más profunda, relativa a las presuposiciones constitutivas y que se ilustra con la adopción del principio de indeterminación y la interpretación probabilista de la función de onda; iv) las condiciones de posibilidad subyacentes en las que sobre todo haremos una descripción muy sucinta de algunos elementos del contexto sociopolítico de la época. De acuerdo con la herramienta de análisis propuesta, la sedimentación del estilo estadístico en la física se vería como se muestra en la figura 3.

---

\*\*\* En este estilo prima la postulación de modelos por analogía para dar cuenta de los fenómenos. Estos modelos pueden ser matemáticos, geométricos o de otra índole. Un ejemplo paradigmático del uso de este estilo es Kepler (cf. Cardona).

### Estratificación del estilo estadístico en la física

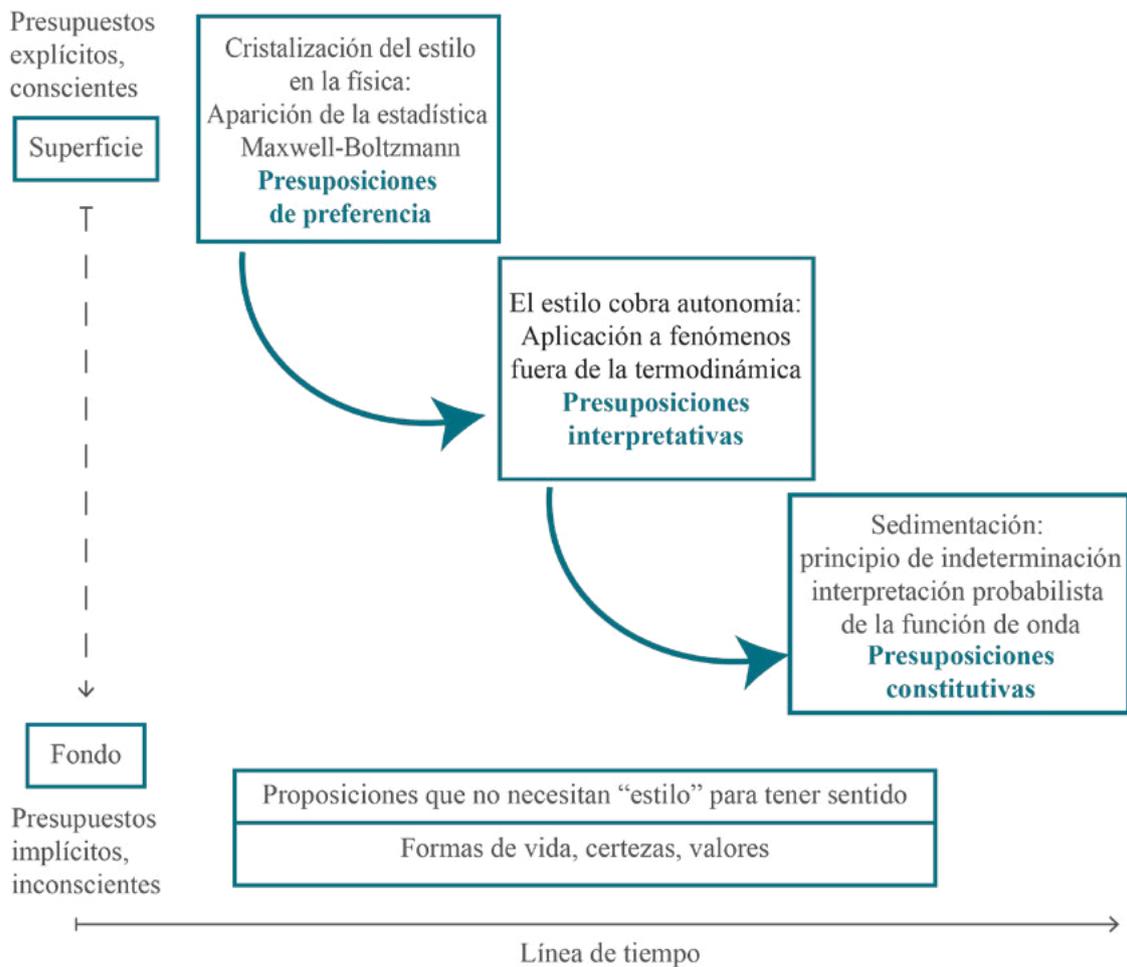


Figura 3: Estratificación del estilo estadístico

#### 4.1 Etapa de las presuposiciones de preferencia o participación

En este primer nivel, el estilo estadístico es introducido como un método novedoso en la física. Al comienzo es solo una herramienta de cálculo útil para hacer predicciones sobre el estado de los sistemas termodinámicos. La introducción de este estilo implicó la introducción de nuevos objetos –la colectividad o ensemble–, la introducción de nuevas formas de explicación –la explicación estadística–, así como la introducción de nuevos métodos –el cálculo de probabilidades–. La decisión de introducir esta nueva herramienta por parte de

Maxwell y Boltzmann debe ser considerada dentro de las presuposiciones de preferencia o participación, pues se trata de una decisión consciente y explícita de introducir un nuevo estilo dentro de un programa de investigación que aún no lo había utilizado. Durante el tiempo que duró este desarrollo –la primera formulación de Maxwell es de 1861 y la versión final de la ley de distribución de Maxwell-Boltzmann es de 1877– y aún durante algunos años después –aproximadamente hasta 1895–, la comunidad científica discutió la pertinencia de adoptar este nuevo método. Las controversias que se desarrollaron durante esta primera etapa giraron alrededor de la legitimidad de esta herramienta para calcular el estado de un sistema termodinámico. La mecánica clásica usa herramientas de cálculo que permiten una relación de correspondencia uno a uno respecto a las causas de los fenómenos de los cuales pretende hacer predicciones, de ahí deriva la idea de necesidad y causalidad de la ley mecánica. En cambio, la ley estadística predice una tendencia, una inclinación del sistema como colectividad hacia ciertos comportamientos probables. Este cambio en la forma de calcular implicó, entonces, cambios en la forma de explicar, y esta diferencia y sus consecuencias se fueron desvelando en la medida en que las controversias se profundizaron.

Controversias tales como las que se dieron en torno de la irreversibilidad y la interpretación de los resultados probabilísticos en la mecánica fueron algunas de las más relevantes (cf. Brush 1976b; Lombardi; Kuhn). El desarrollo de estas controversias tuvo profundas consecuencias con la aceptación de nuevas formas de explicación de los fenómenos mecánicos. Es así como los temas de debate se mueven hacia estratos más profundos. Las primeras menciones sobre una interpretación puramente probabilista de la segunda ley aparecen en Boltzmann en 1877, en la respuesta a las objeciones que Loschmidt había planteado a su artículo de 1872. En esta respuesta hay un cambio respecto de las explicaciones cinéticas usuales: el comportamiento de las moléculas de un gas solía explicarse a partir de mecanismos de colisión entre ellas; el nuevo enfoque de Boltzmann recurre a la probabilidad de configuración de una cierta distribución de las moléculas. Con esto descarta la explicación mecánica y adopta una nueva forma de explicación puramente estadística. Las consecuencias de esto fueron profundas en la comprensión de la noción de causalidad ligada a la idea de necesidad, pues con la explicación estadística no puede hacerse un seguimiento unívoco de las causas eficientes, solo puede predecirse el estado más probable del sistema. Este precedente impactó la convicción de la comunidad en la posibilidad de tener teorías deterministas para la explicación de los fenómenos mecánicos.

Este periodo de fuertes controversias sobre la ley de distribución Maxwell-Boltzmann –1877-1895– se corresponde con la etapa de desarrollo del estilo estadístico que Hacking llamó autonomía de la ley estadística (cf. 1992a). En este periodo, la comunidad científica discutió y acordó adoptar la explicación estadística de la segunda ley como genuina de la física, y esta pasó a ser una forma más de interpretación para los fenómenos termodinámicos. Sin embargo, con el tiempo, esta forma de explicación se fue aplicando a nuevos fenómenos, con lo que el estilo abandona la superficie y su estatus de preferencia o participación comienza a adentrarse en el nivel de la interpretación.

#### *4.2 Etapa de las presuposiciones interpretativas*

La primera aplicación de la ley estadística fuera del ámbito de la termodinámica la hizo Planck, quien aplicó la ley de distribución Maxwell-Boltzmann a la teoría de la radiación. Algunos años después, Einstein propuso nuevas aplicaciones para el movimiento browniano y para lo que hoy llamamos el efecto fotoeléctrico. La aplicación de la mecánica estadística a estos nuevos fenómenos no estuvo exenta de controversias. En cada caso, fue necesario rellenar los vacíos que surgieron como consecuencia de la introducción de nuevos objetos, nuevas proposiciones y nuevos modos de explicación. Las discusiones en esta etapa se dirigieron paulatinamente hacia el significado de los resultados probabilísticos en cada uno de estos fenómenos y hacia sus consecuencias explicativas. Como en esta etapa la asimilación del estilo por parte de la comunidad se dio en el nivel intermedio, se hizo cada vez más importante el rol interpretativo; en otras palabras, la explicación estadística se hizo cada vez más necesaria. Esta etapa presentó múltiples desacuerdos al interior de la comunidad: entre 1895 y 1912 –aproximadamente– se discutió la teoría del cuerpo negro y se depuró la noción de discontinuidad cuántica; dentro de estas controversias se discutió la hipótesis atómica, la estructura de la materia y la naturaleza ondulatoria o corpuscular de la luz (cf. Kuhn). También, una vez que la comunidad científica aceptó ciertas mediciones como evidencia de la existencia del átomo, se centralizó la discusión en la estructura atómica y el significado de las diferentes formulaciones que se plantearon para su descripción. En la medida en que estas discusiones se fueron desarrollando, las nociones de determinismo, causalidad y necesidad –que constituían el fondo “duro como la roca” de la interpretación mecanicista del mundo– fueron puestas en duda y, dado el carácter interpretativo que tiene en este nivel el estilo estadístico, la comunidad terminó por aceptar las limitaciones epistémicas del determinismo derivadas del cálculo de probabilidades.

Por esta razón una de las consecuencias de este proceso fue la renuncia al determinismo epistémico. Este concepto tan arraigado en la tradición científica ocupó, durante varios siglos, el nivel de las presuposiciones constitutivas. Sin embargo, la cristalización del estilo estadístico detonó un proceso de erosión –como lo llama Hacking– de esta noción tan sedimentada (cf. 1990). Fue la confluencia de diferentes condiciones de posibilidad las que condujeron a que se cambiara el determinismo de la mecánica clásica por las regularidades estadísticas.

### *4.3 Etapa de las presuposiciones constitutivas*

La siguiente etapa en este proceso se da con la fusión del estilo estadístico y el estilo del modelado hipotético\*\*\*. Durante este periodo aparece la estadística Bose-Einstein que introduce una forma diferente de contar estadísticamente respecto a su antecesora, la estadística Maxwell-Boltzmann. En esta nueva estadística la noción de individuo se desdibuja aún más dando completa prioridad a la colectividad como elemento base de la realidad (cf. Monaldi). Más tarde aparecen las primeras formulaciones completas de la mecánica cuántica: la Mecánica Matricial, la Mecánica Ondulatoria y la Formulación de Dirac. La aparición de las dos primeras formulaciones introdujo un giro hacia el realismo en las controversias que se habían venido desarrollando, especialmente en la discusión sobre el determinismo. Cada una de estas formulaciones implicaba unos compromisos ontológicos incompatibles entre las dos versiones. Esto quiere decir que quienes aceptaban un formalismo necesariamente debían rechazar los presupuestos del otro, lo que condujo al surgimiento de nuevos enfrentamientos en la comunidad científica. Sin embargo, ambos formalismos tenían el mismo éxito predictivo para los mismos fenómenos. Lo que agudizó el debate sobre el realismo: ¿cómo puede decidirse cuál de los dos mundos descritos en estos formalismos era el mundo real? Este giro hacia el realismo se profundizó debido al uso generalizado de la mecánica estadística. Esto llevó a que no solo se limitara su uso para dar explicaciones probabilísticas de los fenómenos, sino que también se empezó a concebir la probabilidad como una analogía genuina de la realidad. En este sentido, la probabilidad se convirtió en un elemento constitutivo de los fenómenos que explica.

Con la formulación de la indeterminación como principio, y la ecuación de Schrödinger en la que el cuadrado de las amplitudes de onda se interpretó como densidad de probabilidad, se dio el paso que llevó al estilo estadístico al nivel de las presuposiciones constitutivas. Las principales controversias en este punto giraron en torno al significado del indeterminismo como principio

fundamental de la teoría cuántica y sus implicaciones en la descripción cuántica del mundo, así como el significado de la función de onda en su interpretación probabilística y sus consecuencias para el realismo de la teoría. Estas discusiones necesariamente tuvieron un matiz realista: ¿es el mundo intrínsecamente probabilístico? ¿Existe un azar subyacente y fundamental a todos los fenómenos? Las discusiones que se desarrollaron en el V Congreso Solvay (1927) alrededor de estos temas dejaron claro que la necesidad de introducir un principio de indeterminación trascendía la visión de un indeterminismo epistémico. Los partidarios de la interpretación estándar de la mecánica cuántica se limitaron a decir que no era función de la física el decidir sobre estas implicaciones realistas del indeterminismo o de la probabilidad. Sin embargo, el azar se instaló en la base de los fenómenos cuánticos.

Con el consenso logrado por la comunidad científica en el V Congreso Solvay, muchas de estas discusiones se consideraron resueltas. Con todo, después de varias décadas, las preguntas que habían quedado planteadas volvieron a surgir con nuevos argumentos. Por esta razón, no podemos afirmar que el estilo estadístico en la física haya logrado una sedimentación completa en la capa de las presuposiciones constitutivas, pues sigue generando desacuerdos en algunos puntos –como la controversia sobre mediciones débiles–, pero sí podemos afirmar que muchas de sus consecuencias ya son parte del nivel de las presuposiciones constitutivas de la ciencia actual.

#### *4.4 Condiciones de posibilidad subyacentes*

Finalmente, de acuerdo con la propuesta presentada, encontramos el nivel más profundo que está a la base de los estilos. Esta capa presenta una configuración, durante este periodo, en la que el contexto social, político y económico juega un papel muy importante. La complejidad de los procesos sociales, culturales y políticos que se desencadenaron en este tiempo tuvieron un fuerte impacto en el desarrollo del estilo y en el curso que tomaron las controversias vigentes. Con el surgimiento de la macrociencia, las prácticas científicas cambiaron considerablemente: aumentó el número de investigadores en cada programa de investigación, aumentó la colaboración internacional y cambiaron los tiempos de desarrollo de las investigaciones, así como los estándares de la comunidad. Esto impactó fuertemente sobre los estratos de las presuposiciones participativas. El aumento en la financiación de programas específicos, ya fueran de interés estatal o comercial, dirigió la atención a problemas muy concretos que tuvieron un fuerte impacto en el desarrollo de estas controversias, como lo fueron los problemas de la interacción radiación-materia y la estructura ató-

mica. Por otro lado, las dos guerras mundiales volcaron los intereses de investigación hacia temas militares, lo que condicionó las capas más superficiales de los estratos de preferencia. Todo esto además tuvo un impacto en los valores, las formas de vida y las certezas. Pero haría falta un estudio más profundo para mostrar esta compleja relación. Al respecto, los estudios de Forman, Brush (cf. 1976<sup>a</sup>), Schroeder-Godehus o Sánchez-Ron, entre otros, pueden ser muy ilustrativos.

### 5. Conclusiones

En este artículo presentamos la categoría de controversias sobre estilos y ofrecemos una herramienta de análisis para identificar distintos estratos en el transcurso de su desarrollo. Las controversias sobre estilos tienen una estructura que presenta diferentes velocidades de cambio: mientras que unos elementos cambian rápidamente –en los estratos más superficiales–, otros se transforman más despacio –estratos intermedios– y algunos pueden permanecer inalterados durante el tiempo que duran las controversias. Asimismo, esta herramienta permite ver la forma en que evolucionan y surgen distintos tipos de subcontroversias asociadas a los múltiples niveles.

Si bien las controversias sobre estilos ya habían sido identificadas en la literatura, no existen categorías previas que permitan dar cuenta de la evolución de este tipo de controversias. Lo que mostramos aquí es que el enfoque de la historia por estratos, junto con el concepto de estilos de razonamiento, resulta sumamente enriquecedor. La imagen de los estratos favorece la comprensión del cambio conceptual en la medida en que permite identificar las relaciones entre diferentes condiciones de posibilidad y el surgimiento de ciertos conceptos y prácticas. Al aplicar esta visión al estudio de las controversias científicas, podemos identificar también cómo estos elementos juegan un papel en el desarrollo y posterior resolución de desacuerdos científicos.

Finalmente, hemos ofrecido un ejemplo de cómo la herramienta puede utilizarse para estudiar la controversia cuántica como un caso de una controversia sobre el estilo estadístico en la física y mostrar cómo esta ha evolucionado según los diversos estratos. Creemos que nuestra propuesta será útil para aproximarse a controversias cuya duración ha sido persistente en el tiempo y donde la dinámica de la discusión ha cobrado múltiples matices en distintos momentos de su desarrollo. En el ejemplo se evidencia cómo el concepto de determinismo y la percepción de la probabilidad sufren diferentes cambios en

la medida en que el estilo de razonamiento estadístico se sedimenta. Se observa el cambio conceptual asociado a cada nivel de estratificación y las consecuencias en la configuración de los fenómenos y de la realidad misma.

## BIBLIOGRAFÍA

- Baltas, Aristides. "Classifying Scientific Controversies." *Scientific Controversies: Philosophical and Historical Perspectives*. Edited by Peter K. Machamer et al. Oxford: Oxford University Press, 2000. 40-50.
- Boltzmann, Ludwig. "On the Relation of a General Mechanical Theorem to the Second Law of Thermodynamics." *The Kinetic Theory of Gases*. Translated by S. G. Brush. Londres: Imperial College Press, 1877/2003.
- Boon, Mieke. "Two Styles of Reasoning in Scientific Practices: Experimental and Mathematical Traditions." *International Studies in the Philosophy of Science* 25.3 (2011): 255-278.
- Braudel, Fernand. *The Mediterranean and the Mediterranean World in the Age of Philip II*. Translated by S. Reynolds. Nueva York: Harper & Row, 1972.
- Brush, Stephen George. "Irreversibility and Indeterminism: Fourier to Heisenberg." *Journal of the History of Ideas* 37.4 (1976a): 603.
- Brush, Stephen George. *Statistical Physics and the Atomic Theory of Matter, from Boyle and Newton to Landau and Onsager*. Princeton: Princeton University Press, 1983.
- Brush, Stephen George. *The Kind of Motion We Call Heat: A History of the Kinetic Theory of Gases in the 19th Century*. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1976b.
- Brush, Stephen George. *The Kinetic Theory of Gases*. Londres: Imperial College Press, 2003.
- Cardona, Carlos Alberto. "Kepler: Analogies in the Search for the Law of Refraction." *Studies in History and Philosophy of Science Part A* 59 (2016): 22-35.

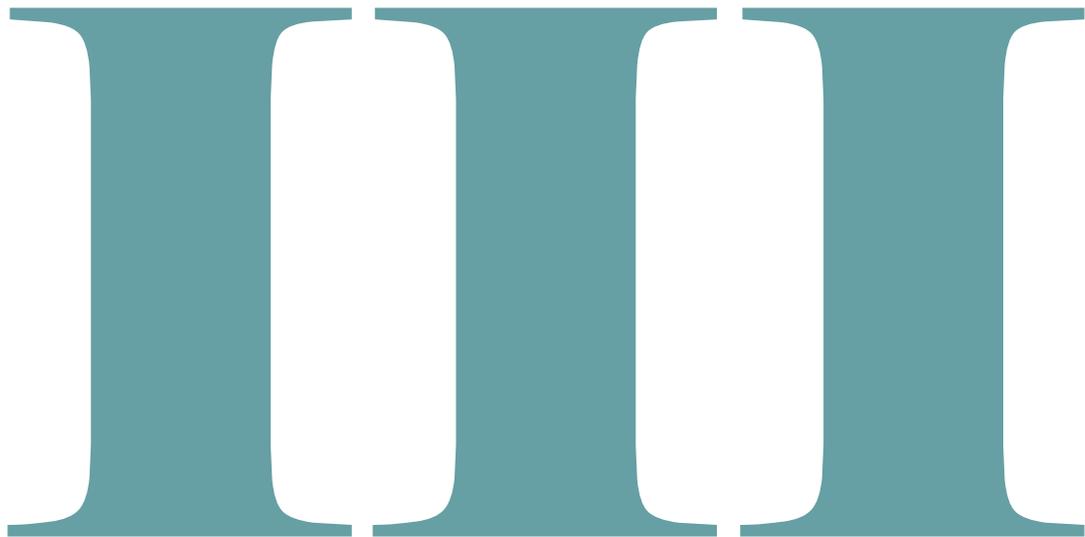
## II. ARTÍCULOS

---

- Collingwood, Robin G. *An Essay on Metaphysics*. Oxford: Clarendon Press, 1940/2004.
- Cotgrove, Stephen. "Styles of thought: science, romanticism and modernization." *British Journal of Sociology* 29.3 (1978): 358-371.
- Crevaschi, Sergio, y Dascal, Marcelo. "Malthus and Ricardo: Two Styles for Economic Theory." *Science in Context* 11.2 (1998) 229-254.
- Crombie, Alistair C. *Styles of Scientific Thinking in the European Tradition: The History of Argument and Explanation, Especially in the Mathematical and Biomedical Sciences and Arts*. Londres: Gerald Duckworth & Company, 1994.
- Elwick, James. "Layered history: Styles of reasoning as stratified conditions of possibility." *Studies in History and Philosophy of Science* 43 (2012): 612-627.
- Engelhardt, H. Tristram, y Caplan, Arthur L., eds. *Scientific Controversies: Case Studies in the Resolution and Closure of Disputes in Science and Technology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987.
- Fleck, Ludwik. *Genesis and Development of a Scientific Fact*. Edited by Robert K. Merton y Thaddeus J. Trenn, translated by Thaddeus J. Trenn y Fred Bradley, Chicago: University of Chicago Press, 1979.
- Forman, Paul. "Weimar Culture, Causality, and Quantum Theory, 1918-1927: Adaptation by German Physicists and Mathematicians to a Hostile Intellectual Environment." *Historical Studies in the Physical Sciences* 3 (1971): 1-115.
- Foucault, Michel. *La arqueología del saber*. Traducido por Aurelio Garzón del Camino, Buenos Aires: Siglo XXI, 1969/2017.
- Fujimura, Joan H., y Chou, Danny. "Dissent in Science: Styles of Scientific Practice and the Controversy over the Cause of AIDS." *Social Science & Medicine* 38.8 (1994): 1017-136.
- Galison, Peter. *Image and Logic: A Material Culture of Microphysics*. Chicago: University of Chicago Press, 1997.

- Goodwin, William. "Structure and Scientific Controversies." *Topoi* 32.1 (2013): 101–110.
- Gutiérrez, Juliana. "Hermann von Helmholtz, Ewald Hering and Color Vision: A Controversy over Styles of Reasoning?" *Manuscrito* 44.1 (2021): 37-97.
- Hacking, Ian. *The Emergence of Probability: A Philosophical Study of Early Ideas about Probability, Induction and Statistical Inference*. Cambridge: Cambridge University Press, 1975.
- Hacking, Ian. "Language, Truth and Reason." *Rationality and Relativism*. Edited by Martin Hollis y Steven Lukes, Cambridge (Mass): The MIT Press, 1982.
- Hacking, Ian. *The Taming of Chance*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
- Hacking, Ian. "Statistical Language, Statistical Truth, and Statistical Reason: The Self-Authentication of a Style of Scientific Reasoning." *The Social Dimensions of Science*. Edited by Ernan McMullin, Notre Dame (Ind.): University of Notre Dame Press, 1992a. 130-157.
- Hacking, Ian. "Style for historians and philosophers." *Studies in History and Philosophy of Science* 23.1 (1992b): 1-20.
- Hacking, Ian. "'Language, Truth and Reason' 30 years later." *Studies in History and Philosophy of Science Part A* 43.4 (2012): 599-609.
- Jardine, Nicholas. *The Scenes of Inquiry: On the Reality of Questions in the Sciences*. Oxford: Clarendon Press, 2000.
- Kuhn, Thomas. *La teoría del cuerpo negro y la discontinuidad cuántica, 1894-1912*. Traducido por Miguel Paredes Larrueca. Madrid: Alianza Editorial, 1978.
- Lloyd, Geoffrey, y Sivin, Nathan. *The Way and the World: Science and Medicine in Early China and Greece*. New Haven: Yale University Press, 2002.
- Lombardi, Olimpia. "El problema de la irreversibilidad, de Fourier a la teoría del caos." *Espacios controversiales: hacia un modelo de cambio filosófico y científico*. Edited by Oscar Nudler. Buenos Aires: Miño y Dávila, 2009. 129-161.

- Loschmidt, Johann Josef. "Über den Zustand des Wärmegleichgewichtes eines Systems von Körpern mit Rücksicht auf die Schwerkraft." *Kais. Akad. Wiss. Wien, Math. Naturwiss* 73 (1876): 128–142.
- Machamer, Peter K., et al., eds. *Scientific Controversies: Philosophical and Historical Perspectives*. New York: Oxford University Press, 2000.
- McMullin, Ernan. "Scientific controversy and its termination." *Scientific controversies: Case studies in the resolution and closure of disputes in science and technology*. Edited by H. Tristram Engelhardt y Arthur L. Caplan, Cambridge: Cambridge University Press, 1987. 49-92.
- Monaldi, Daniela. "The Statistical Style of Reasoning and the Invention of Bose-Einstein Statistics." *Berichte Zur Wissenschaftsgeschichte* 42.4 (2019): 307-337.
- Pickstone, John V. "Ways of knowing: Towards a historical sociology of science, technology and medicine." *The British Journal for the History of Science*, 26 (1993): 433-458.
- Sánchez Ron, José Manuel. *Historia de la física cuántica*. Barcelona: Crítica, 2001.
- Schroeder-Gudehus, Brigitte. *Les Scientifiques et La Paix: La Communauté Scientifique Internationale Au Cours Des Années 20*. Montreal : Presses de l'Université de Montreal, 1978.
- Shapin, Steven, y Schaffer, Simon. *Leviathan and the Air-pump: Hobbes, Boyle, and the Experimental Life*. Princeton: Princeton University Press, 1985.
- Varela Machado, Olga. "La controversia sobre el determinismo en la física durante la primera mitad del siglo XX." *Ideas y Valores* 71. Supl. 8 (2022).
- Wittgenstein, Ludwig. *Sobre la certeza*. Editado por G. E. M Anscombe y G. H. von Wright, Traducido por Josep Lluís Prades y Vicent Raga. Barcelona: Gedisa, 1969/2000.



**Conclusiones**



---

## Conclusiones y proyecciones

El objetivo general de los artículos aquí presentados estuvo enfocado en analizar las distintas controversias que se desarrollaron alrededor de la noción de determinismo en la física, principalmente entre la segunda mitad del siglo XIX y la primera mitad del siglo XX. La novedad de este análisis viene dada por las hipótesis de partida, en las que se articulan la persistencia de ciertas controversias científicas (menos estudiadas en la literatura) y la interrelación de diferentes controversias durante algunos periodos de tiempo. El uso del modelo de los espacios controversiales de Nudler, junto al concepto de estilos de razonamiento de Hacking permitieron, hasta cierto punto, resolver los problemas asociados a estas hipótesis. Sin embargo, fue necesario plantear una herramienta de análisis adicional para explicar la forma en que estas controversias persistentes van cambiando con el transcurso del tiempo, de la mano de los cambios en las prácticas científicas y los contextos en los que estas prácticas se desarrollan. Esta herramienta de análisis la presentamos como una alternativa para el análisis de controversias cuyo eje de discusión se articula alrededor de un estilo de razonamiento.

Lo que más debe resaltarse respecto de la propuesta para el análisis de las controversias sobre estilos es que se trata de una herramienta que facilita la comprensión del cambio conceptual, teniendo en cuenta las prácticas y los contextos en los que estas se desarrollan. Así mismo, favorece la identificación de diferentes dinámicas durante el proceso de debate, pues la metáfora de los estratos se presta para una comprensión arqueológica de la transformación de las prácticas científicas y sus relaciones con diferentes presuposiciones que implican mucho más que solo presuposiciones científicas. En este caso en particular, la aplicación de este esquema a la controversia sobre el deter-

---

minismo en la física permitió desvelar y explicar la forma en cómo se pasó de compromisos ontológicos más débiles a compromisos ontológicos más fuertes en el desarrollo de la controversia, análogos a la transición que sufrió el uso de los métodos estadísticos en la física y que ya he resaltado en los artículos.

El tema central de este estudio es el determinismo, que ha estado en debate de forma recurrente en diferentes momentos de la historia y en diferentes disciplinas. Quiero hacer notar que una característica de este tema es que resulta de interés tanto para los filósofos, como para diferentes comunidades científicas. Aquí, me limito a un periodo de aproximadamente un siglo de evolución de la controversia y a su desarrollo en la comunidad de los físicos, pero las discusiones sobre el tema pueden rastrearse hasta la antigüedad clásica y siguen vigentes en nuestros días. El análisis de este pequeño periodo y de esta comunidad limitada, puede servir de insumo para reconstruir una perspectiva más amplia de este tema de desacuerdo. Es importante resaltar, además, que el determinismo no es el único tema que presenta recurrencia y transversalidad en la historia de la filosofía y de la ciencia. Existen diversos temas que comparten estas características, como el problema del atomismo, el infinito o la caracterización del espacio y el tiempo, entre otros. Para el caso del determinismo, es interesante resaltar la forma en cómo se relaciona con el desarrollo de ciertas novedades metodológicas en la física y cómo se mueve a través de diferentes compromisos ontológicos respecto de los fenómenos a los que se asocia.

Otras líneas de proyección que se derivan de este estudio es la aplicación del esquema de estilos y estratos a otras controversias. Partiendo de la hipótesis de que algunas controversias ya conocidas se pueden entender mejor si se estudian bajo el lente de los estilos de razonamiento, sería interesante ver si la herramienta aquí presentada resulta útil para analizar este tipo de desacuerdos. En este sentido las posibilidades pueden ser bastante amplias.