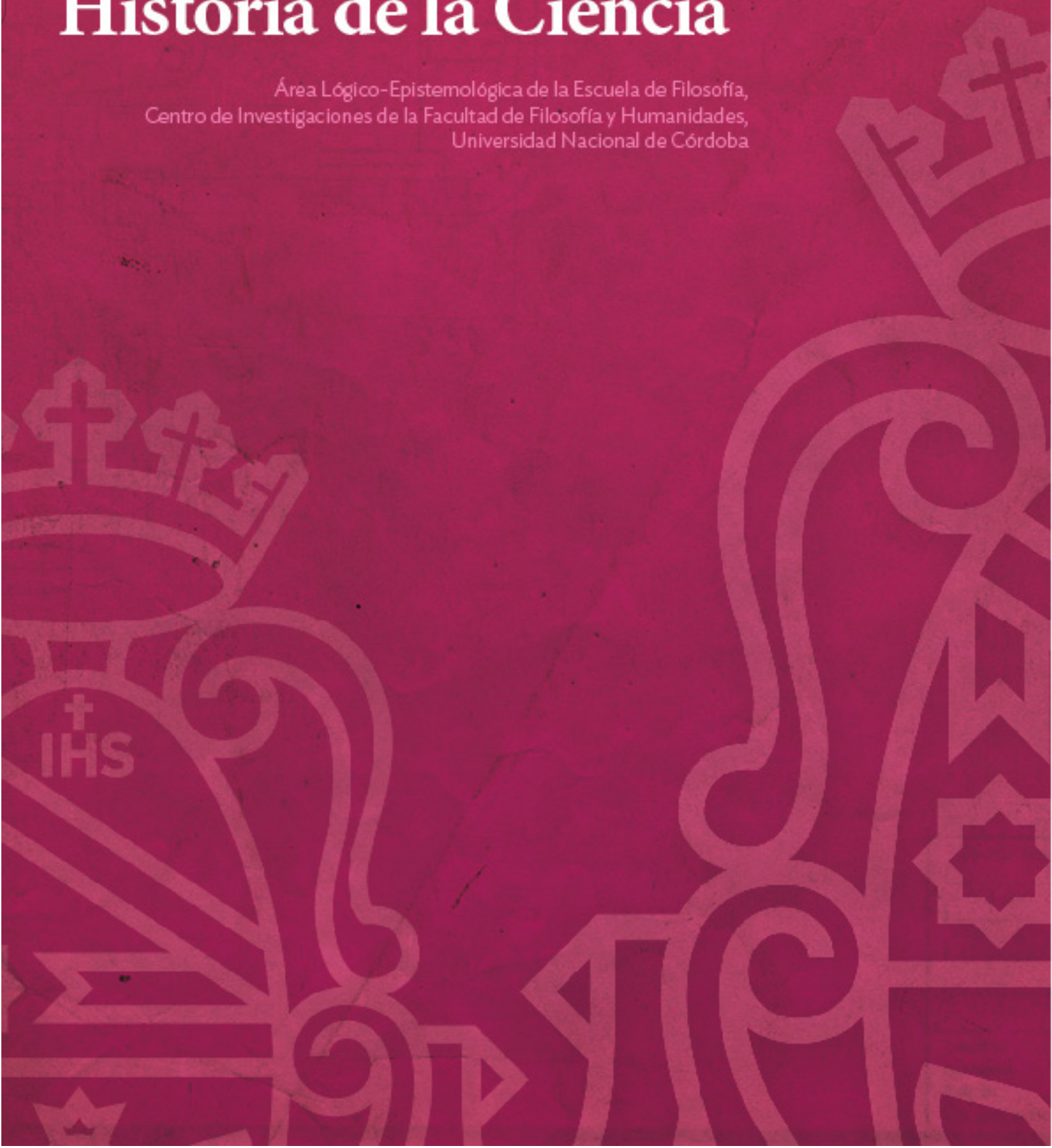


ISSN 2525-1198

Volumen 1
Nº 2
Mayo 2017

Epistemología e Historia de la Ciencia

Área Lógico-Epistemológica de la Escuela de Filosofía,
Centro de Investigaciones de la Facultad de Filosofía y Humanidades,
Universidad Nacional de Córdoba



Comité editorial

Editora Responsable

Marisa Velasco, Universidad Nacional de Córdoba (Argentina)

Editores

Pío García, Universidad Nacional de Córdoba (Argentina)

Luis Salvático, Universidad Nacional de Córdoba (Argentina)

A. Nicolás Venturelli, Universidad Nacional de Córdoba, CONICET (Argentina)

Hernán Severgnini, Universidad Nacional de Córdoba (Argentina)

Comité Académico

Mario Casanueva, Universidad Autónoma Metropolitana (México)

Silvio Seno Chibeni, Departamento de Filosofía, Unicamp (Brasil)

Miguel Angel Fuentes, Instituto de Sistemas Complejos (Chile), Santa Fe Institute (Estados Unidos)

Lucía Lewowicz, Universidad de la Republica (Uruguay), Max Planck Institute for the History of Science (Alemania)

Oswaldo Pessoa Jr., Departamento de Filosofia, Universidade de São Paulo (Brasil)

Anna Carolina K.P. Regner, Instituto Latino Americano de Estudos Avançados Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Brasil)

Víctor Rodríguez, Universidad Nacional de Córdoba (Argentina)

Secretario

Julián Reynoso

Organismo Responsable

Área de Filosofía del Centro de Investigaciones de la Facultad de Filosofía y Humanidades y Escuela de Filosofía de la Universidad Nacional de Córdoba.

Pabellón Agustín Tosco, Ciudad Universitaria, Córdoba Capital.

Indexación

Directory of Open Access Journals

ISSN: 2525-1198

Epistemología e Historia de la Ciencia

Epistemología e Historia de la Ciencia es una revista digital, de aparición semestral, dedicada a la publicación de artículos originales de filosofía general de la ciencia y filosofías de las ciencias particulares, así como artículos de historia de la ciencia con orientación filosófica. Las áreas de interés son entendidas en un sentido amplio y teóricamente plural.

Editorial y correspondencia

Revista Epistemología e Historia de la Ciencia

Centro de Investigaciones Facultad de Filosofía y Humanidades (CIFYH), Pabellón Agustín Tosco, Ciudad Universitaria, Córdoba (5000), Argentina. Universidad Nacional de Córdoba.

Información adicional y envío de artículos

<https://revistas.unc.edu.ar/index.php/afjor/index>

Correo electrónico

revistaepistemologia@ffyh.unc.edu.ar

Índice

Adriana Spehrs	
Controversias en teoría de la decisión y modelos diagramáticos de causalidad.....	5
Jorge Norberto Cornejo	
La Teoría de Gerschman: cuestiones históricas y epistemológicas.....	18
Carolina Scotto	
Del problema de las “otras mentes” a la cognición social: una defensa de la epistemología naturalizada.....	43
Leonardo Díaz	
Las filosofías de Thomas Kuhn	67
Eric Scerri	
El descubrimiento de la tabla periódica como un caso de descubrimiento simultáneo.....	82
Andrés A. Ilcic	
Reseña: <i>Reconstructing Reality</i> de Margaret Morrison.....	98

Controversias en teoría de la decisión y modelos diagramáticos de causalidad

Adriana Spehrs¹

Recibido: 20 de marzo de 2017

Aceptado: 30 de mayo de 2017

Resumen. En esta comunicación, nos proponemos analizar la controversia entre los partidarios de la teoría evidencial de la decisión y los de la teoría causal de la decisión, a la luz de la denominada “Paradoja de Simpson”. Con esta intención, discutimos el tratamiento de esta paradoja por parte de J. Pearl, quien considera imprescindible la adopción de un enfoque causal en el abordaje de este problema cuando se plantea en contextos de toma de decisiones. A continuación, procuramos poner de manifiesto las limitaciones del análisis causal de la Paradoja de Simpson propuesto por Pearl. En particular, argumentamos que la tentativa de formular un criterio causal para la resolución de la Paradoja de Simpson no permite dirimir la controversia relativa a la superioridad de la teoría causal de la decisión sobre la teoría evidencial de la decisión. Pues la teoría causal de la decisión sólo garantizaría una decisión correcta si conociéramos la estructura causal subyacente al problema práctico particular sobre el que deliberamos.

Palabras clave: decisión – causalidad – modelos.

Title: Controversial issues in Decision Theory and Diagrammatic Causal Models

Abstract. The debate between Evidential Decision Theory and Causal Decision Theory can be analyzed from the point of view of the so-called "Simpson Paradox". J. Pearl (2009, 2013) promotes a causal approach to this paradox, when it arises in decision-making contexts. We try to highlight the shortcomings of this causal analysis of Simpson Paradox. In particular, we contest the attempt to formulate a causal criterion for solving Simpson Paradox because it does not settle the issue concerning the purported superiority of Causal Decision Theory on Evidential Decision Theory. It is because Causal Decision Theory would only guarantee to draw the right decision if we knew the underlying causal structure of the particular decision problem to be solved.

Keywords: decision theory – probability - causality.

1. Presentación

En esta comunicación, nos proponemos analizar la controversia entre los partidarios de la teoría evidencial de la decisión y los de la teoría causal de la decisión, a la luz de la denominada “Paradoja de Simpson”. Con esta intención, discutimos el tratamiento de esta paradoja por parte de J. Pearl (2009), quien considera imprescindible

¹ Universidad de Buenos Aires-

✉ adrianaspehrs@yahoo.com.ar

Spehrs, Adriana (2017). Controversias en teoría de la decisión y modelos diagramáticos de causalidad. *Epistemología e Historia de la Ciencia*, 2(1), 5-17. ISSN: 2525-1198



la adopción de un enfoque causal para el abordaje de esta dificultad, cuando se plantea en contextos de toma de decisiones. A continuación, procuramos poner de manifiesto las limitaciones del análisis causal de la Paradoja de Simpson propuesto por Pearl, así como las consecuencias que de aquellas se derivan en relación con la controversia entre los defensores del enfoque evidencial y los partidarios de la corriente causal en teoría de la decisión.

2. El debate entre el enfoque evidencial y el causal en teoría de la decisión

La teoría de la decisión elabora criterios aplicables a situaciones en las cuales un agente delibera acerca de la conveniencia de ejecutar una determinada acción de un conjunto que incluye otras alternativas, cuando no puede predecir con certeza cuál será el resultado de su elección. Esto se debe a que la ejecución de cualquiera de las acciones alternativas ocasionará uno de varios resultados posibles, según cuál sea el estado de la naturaleza o conjunto de circunstancias ajenas al control del agente decisor que tenga lugar. Si este agente conoce la distribución de probabilidades de tales estados, enfrenta un problema de decisión en un contexto de riesgo; pero cuando no conoce tal distribución, decide en un contexto de incertidumbre.

De acuerdo con la teoría de la utilidad esperada, el agente que efectúa una decisión racional es aquel que maximiza su utilidad esperada². Esta se calcula como un promedio de las utilidades que los posibles resultados le reportan al agente, ponderado por las respectivas probabilidades de obtener tales resultados al adoptar cada uno de los cursos de acción disponibles. Es importante señalar, en este punto, que la función de probabilidad empleada como ponderadora de la utilidad que se atribuye a los resultados asociados a los cursos de acción alternativos ha suscitado interesantes controversias, que condujeron a algunos especialistas a la adopción de una variante alternativa al enfoque evidencial original en teoría de la decisión.

La teoría evidencial de la decisión –en adelante, TED- emplea como ponderadora de la utilidad de los resultados una función de probabilidad condicional: la probabilidad de que acontezca determinado resultado B, dado que el agente ejecutó cierta acción A. Pero este enfoque evidencial en teoría de la decisión ha sido cuestionado por su incapacidad para recomendar un curso de acción intuitivamente razonable en ciertos casos en los cuales una causa probabilística común a dos eventos da lugar a una correlación estadística entre ambos, aunque ninguno de ellos sea efecto del otro. Por ejemplo, supongamos que una persona está decidiendo si fumar o no, y sabe que hay una fuerte correlación entre fumar y padecer cáncer. Pero asumamos, además, que esa persona también sabe –o está convencida de- que esa correlación se debe a un determinado factor genético G que tiende a causar tanto la acción de fumar como padecer cáncer, de modo tal que una vez establecida la presencia o ausencia de esta causa probabilística común ya no hay otro vínculo que correlacione ambos efectos. Supongamos, además, que el individuo en cuestión prefiere fumar sin padecer cáncer a no fumar y no padecer cáncer, y que prefiere fumar y padecer cáncer que no fumar y padecer esa enfermedad. En estas condiciones, la TED le aconsejaría no fumar, porque la

² Esta teoría fue formulada por von Neumann y Morgenstern (1944).

elevada correlación entre fumar y contraer cáncer da lugar a que la probabilidad de padecer cáncer si fuma sea mayor que la de padecerlo si no fuma, aunque fumar no tienda a producir cáncer. Es decir, según la TED, la utilidad esperada de no fumar será mayor que la de fumar, porque esta teoría trata la conexión evidencial entre la acción de fumar y el resultado indeseable de una causa común a ambos como una razón para no ejecutar la acción. Así, este ejemplo parece indicar que la TED es una teoría de la decisión incorrecta.

En contraste, de acuerdo con la teoría causal de la decisión –TCD-, esa persona debería fumar. En efecto, para determinar el valor relativo de una acción, los partidarios de la TCD promueven las asignaciones no condicionales de grados de probabilidad a hipótesis condicionales subjuntivas de la forma “si hiciera A, resultaría B”, y desestiman las asignaciones de probabilidades condicionadas a la ejecución de la acción. Es decir, en lugar de calcular la utilidad esperada de fumar mediante las creencias del agente acerca de cuál sea probablemente la estructura causal del mundo condicionada a la ejecución de esa acción –como propone la TED- los defensores de la TCD consideran que la utilidad esperada de fumar estará determinada por la creencia no condicional del agente acerca de cuál es, probablemente, la estructura causal del mundo. La consecuencia de emplear probabilidades no condicionales es que la asignación de valores a las acciones resulta inmune al tipo de correlaciones basadas en causas comunes que tornan incorrectas algunas de las decisiones sugeridas por la TED.

En suma, la discrepancia entre ambas propuestas se origina en la tentativa de los partidarios de la TCD de dar cuenta del vínculo causal entre los cursos de acción disponibles y sus resultados, en lugar de considerar la mera correlación estadística entre ambos, como proceden los defensores de la TED. Pero si bien la TCD acierta al reconocer que no toda correlación estadística refleja una conexión causal, plantea la dificultad que establecer cómo podría determinarse la probabilidad del condicional subjuntivo que expresa la relación causal. Es importante señalar, en este punto, que la pretensión de resolver esta disputa identificando probabilidades condicionales con la probabilidad de enunciados condicionales ha suscitado debates aún más urticantes que el que nos ocupa. En efecto, Lewis ha argumentado que la probabilidad de un enunciado condicional no puede ser identificada con la probabilidad de que sea verdadero el enunciado condicional correspondiente –en caso de que el antecedente de éste tenga probabilidad no nula- sin trivializar la distribución de probabilidad en cuestión.³

³ En efecto, D. Lewis (1976) probó que si la probabilidad condicional $p(B/A)$ se identifica con la probabilidad del condicional $p(A \rightarrow B)$, como la probabilidad condicional se define como un cociente de probabilidades – i.e. $p(B/A) = p(A \wedge B)/p(A)$ cuando $p(A) > 0$ -, entonces:

1. si $p(A \wedge B) > 0$ y $p(A \wedge \neg B) > 0$, entonces $p(B/A) = p(B)$
2. p asigna un valor de probabilidad no nulo a lo sumo a dos pares de enunciados incompatibles
3. p asume como máximo 4 valores. Quedarían excluidas, así, distribuciones de probabilidades como la de obtener ninguno, uno, dos, tres o cuatro ases de un mazo bien barajado de cartas, que asume más de cuatro valores diferentes de probabilidad: $12/13$, $1/13$, $1/221$, $1/5525$ y $1/270725$.

No obstante, es suficiente que se acepte tanto el principio del tercero excluido condicional como la independencia estadística de la acción A y el condicional $(A \rightarrow B)$ para que para que la probabilidad de éste último sea igual a la probabilidad condicional $p(B/A)$. Así, la discrepancia entre ambas teorías resulta evidente en los casos en que son independientes la acción y el condicional correspondiente.

3. Los ejemplos que atentan contra la TED y la Paradoja de Simpson

En el ejemplo comentado en la sección precedente, referido la correlación estadística positiva entre fumar y padecer cáncer, se asume que hay un factor genético G que tiende a causar tanto la afición a fumar como padecer cáncer. Por eso, la probabilidad de padecer cáncer --evento que designaremos “C”- si fuma --evento que designaremos “F”- y se tiene ese factor --evento que designaremos “G”-, será igual a la probabilidad de padecer cáncer si no fuma y se tiene el factor G. La afirmación de que padecer cáncer sea más probable si fuma que si no fuma puede expresarse así:

$$p(C/F) > p(C/\neg F).$$

Similarmente, la anulación de esta correlación entre las variables C --padece cáncer- y F --fuma-, cuando se considera la tercera variable, G --que es una causa común de C y F- puede representarse así:

$$p(C/F \wedge G) = p(C/\neg F \wedge G)$$

$$p(C/F \wedge \neg G) = p(C/\neg F \wedge \neg G)$$

Ahora bien, creemos que este tipo de ejemplos, esgrimidos por los partidarios de la TCD para poner de manifiesto la inadecuación de la TED, pueden analizarse a la luz de una versión débil de la denominada “Paradoja de Simpson”. En su versión fuerte, esta paradoja se plantea cuando la asociación estadística entre dos variables X e Y revierte su signo si se la condiciona con respecto a una tercera variable Z, cualquiera sea el valor de ésta⁴. Es decir, si desagregamos los datos en subpoblaciones, cada una de las cuales representa un valor de esta variable Z, puede cambiar el signo de la asociación estadística medida en las subpoblaciones con respecto al de la asociación medida con los datos agregados.

Consideremos, por caso, los datos de la tabla A, que corresponden a la cantidad de varones y de mujeres que padecen cierta enfermedad E, que fueron tratados o no con cierta droga D, y que se recuperaron o no:

Tabla A:

	No consume D		Consumo D		No consume D	Consumo D
	Recuperado	No recuperado	Recuperado	No recuperado	Tasa de recuperación	Tasa de recuperación
Varón	7	3	18	12	70% >	60%
Mujer	9	21	2	8	30% >	20%
Total	16	24	20	20	40% <	50%

Esta tabla indica que de un total de 40 varones, sólo 18 de los 30 que consumieron la droga D se recuperaron, aunque también se recuperaron 7 de los 10 que no la consumieron. En el caso de las mujeres, 2 de las 10 que consumieron la droga D se

⁴ Versión publicada ya por M. Cohen y E. Nagel (1934).

recuperaron, pero también se recuperaron 9 de las 30 que no la consumieron. De este modo, podemos afirmar que 20 de las 40 personas que consumieron la droga se recuperaron, mientras que sólo se recuperaron 16 de las 40 personas que no la consumieron. Así, podemos observar aquí una reversión de las desigualdades de las tasas de recuperación. En efecto, esta tasa es mayor entre quienes consumen la droga D que entre quienes no lo hacen, cuando se la calcula empleando los datos de la población completa de las personas que padecen la enfermedad E sin considerar su sexo. Pero cuando se calcula dicha tasa de recuperación dentro de la subpoblación de los varones, resulta menor entre quienes consumen la droga D que entre quienes no lo hacen. Y lo mismo sucede cuando calculamos esta tasa dentro de la subpoblación de las mujeres. Es decir:

1. La probabilidad de que se recupere de la enfermedad E una persona que consume la droga D es mayor que la probabilidad de que se recupere una persona que no la consume:

$$p(R/D) > p(R/\neg D)$$

2. La probabilidad de que se recupere de la enfermedad E un varón que consume la droga D es menor que la probabilidad de que se recupere un varón que no la consume:

$$p(R/D \wedge V) < p(R/\neg D \wedge V)$$

3. La probabilidad de que se recupere de la enfermedad E una mujer que consume la droga D es menor que la probabilidad de que se recupere una mujer que no la consume:

$$p(R/D \wedge \neg V) < p(R/\neg D \wedge \neg V)$$

Esta paradoja plantea un problema de decisión: ¿debemos tomar en cuenta la asociación entre las variables “recuperarse” y “consumir D” en la población completa? ¿O debemos considerar la relación que presentan estas variables en cada una de las subpoblaciones generadas por la tercera variable, el sexo? Simpson (1951) observó que, según cuál fuera la historia subyacente a los datos, a veces era más razonable la interpretación compatible con los datos desagregados y otras veces la compatible con los datos agregados. Pero no disponemos de un criterio estadístico generalmente aplicable que indique si es correcto considerar los datos correspondientes al agregado constituido por la población completa o los datos obtenidos al desagregar aquella en dos o más subpoblaciones. Al menos, no disponemos de un criterio tal que impida inferir conclusiones erróneas. Así, podría darse el caso de que se obtengan los mismos datos cuando se registran las tasas de recuperación entre aquellas personas afectadas por la enfermedad E que fueron o no tratados con la droga D, pero ahora clasificada de acuerdo a si padecen o no alteraciones en su presión sanguínea, tal como se muestra en la tabla B:

Tabla B:

	No consume D		Consume D		No consume D	Consume D
	Recuperado	No recuperado	Recuperado	No recuperado	Tasa de recuperación	Tasa de recuperación
Sin cambios de presión	7	3	18	12	70% >	60%
Con cambios de presión	9	21	2	8	30% >	20%
Total	16	24	20	20	40% <	50%

En esta tabla podemos observar la misma reversión de desigualdades, pues los datos permiten afirmar que:

1. La probabilidad de que se recupere de la enfermedad E una persona que consume la droga D es mayor que la probabilidad de que se recupere una persona que no la consume:

$$p(R/D) > p(R/\neg D)$$

2. La probabilidad de que se recupere de la enfermedad E una persona que no sufre de alteraciones en su presión y que consume la droga D es menor que la probabilidad de que se recupere una persona que no sufre de tales alteraciones y no consume la droga:

$$p(R/D \wedge V) < p(R/\neg D \wedge V)$$

3. La probabilidad de que se recupere de la enfermedad E una persona que sí sufre de alteraciones en su presión y que consume la droga D es menor que la probabilidad de que se recupere una persona que sí sufre de tales alteraciones y que no consume la droga:

$$p(R/D \wedge \neg V) < p(R/\neg D \wedge \neg V)$$

Es importante destacar que la tabla A revela que hay una asociación estadística entre el sexo y el consumo de la droga D. En efecto, en esta tabla vemos que hay un número mayor de varones enfermos que consumen la droga en cuestión que de varones enfermos que no lo hacen. Esta tabla muestra, además, que hay un número mayor de mujeres enfermas que no consumen D que de mujeres enfermas que sí lo hacen. Similarmente, en la tabla B se evidencia una asociación estadística entre las personas que padecen alteraciones en su presión sanguínea y las que consumen la droga D. Más precisamente, la tabla B muestra que hay una mayor cantidad de personas afectadas por la enfermedad E que no padece alteraciones en la presión y consumen D que de personas afectadas por la enfermedad E que no padecen tales alteraciones y no consumen esa droga. Además, en la tabla B vemos que hay un número mayor de personas enfermas que padecen alteraciones en la presión y no consumen D que de personas enfermas que padecen tales alteraciones y consumen la droga en cuestión. En consecuencia, un partidario de la TED consideraría que tanto el caso cuyos datos figuran en la tabla A como el caso cuyos datos se muestran en la tabla B admiten la misma solución. Aunque, como veremos a continuación, esta opinión es discutible. Pero, además, la TED no provee

criterio alguno para establecer si el análisis aplicable a ambos casos debe fundarse en los datos del agregado constituido por la población completa de las personas afectadas por la enfermedad E o en los datos desagregados, clasificados considerando la tercer variable, el sexo, en el primer caso, y el padecimiento de alteraciones en la presión sanguínea, en el segundo.

4. El análisis causal de la paradoja de Simpson

A pesar de las similitudes que destacamos en los dos casos anteriores en los que se manifiesta la Paradoja de Simpson, los partidarios del enfoque causal argumentan que hay una diferencia crucial entre ambos, una diferencia que revela la existencia de un criterio causal para guiar la toma de decisiones. En efecto, en el ejemplo de la tabla A se asume que el consumo de la droga D no influye sobre la tercera variable -el sexo- sino que ésta podría haber determinado la elección de consumir o no la droga en cuestión, generando la asociación estadística entre ambas variables. Entonces, si se presentara el caso de que un médico debe decidir si suministrar o no la droga D a una persona que no es parte de la muestra analizada y cuyo sexo el médico desconoce, se deberán considerar como variables independientes el sexo y el consumo de D. Pues la asociación estadística entre estas dos variables que se puso de manifiesto en el análisis de la muestra no se presentará en este nuevo caso, ya que no es la persona enferma quien decide consumir voluntariamente la droga D o no hacerlo, sino el médico. Por ese motivo, ante este nuevo caso no sólo no incluido en la muestra analizada sino, además, no intercambiable con los casos incluidos en ella, debemos considerar la probabilidad de recuperación condicionada también con respecto a la tercera variable, el sexo. Es decir, en este caso debemos tomar en cuenta los datos desagregados en la subpoblación de los varones y la subpoblación de las mujeres.

En contraste, en el ejemplo de la tabla B se asume que las alteraciones en la presión no influyen en la decisión de consumir o no la droga D, sino que el consumo de esta droga podría haber influido en que las personas sufran o no tales alteraciones, generando una asociación estadística entre ambas variables que no sólo se manifestará en el caso de las personas incluidas en la muestra analizada. Entonces, ante el caso de un individuo no incluido en esa muestra, las variables “sufrir alteraciones en la presión” y “consume D” también deben tratarse como variables dependientes. Por eso, en el caso de cualquier nuevo individuo no incluido en la muestra, pero sí intercambiable con los casos incluidos en ella, no debería considerarse la probabilidad de recuperación condicionada también con respecto a si se padece o no de tales alteraciones. Lo correcto, ahora, sería tomar en cuenta los datos agregados, los correspondientes a la población constituida por las personas que padecen la enfermedad E sin subdividirlos en la clase de los sufren y la de los que no sufren alteraciones en la presión.

En este punto, es importante destacar que la reversión de desigualdades que subyace a la Paradoja de Simpson es sólo un fenómeno aritmético propio del cálculo de razones: dados dos pares de razones tales que $(a/c) < (A/C)$ y $(b/d) < (B/D)$, puede suceder que la fracción formada por el cociente entre la suma de los numeradores de las menores –a y b– y la de los denominadores de las menores – c y d–, sea mayor a la razón formada por el cociente de la suma de los numeradores de las mayores –A y B–

y la de los denominadores de las mayores $-C$ y $D-$, es decir: $[(a + b)/(c + d)] > [(A + B)/(C + D)]$. También conviene recordar que, en el ejemplo analizado de la segunda sección, referido a la asociación estadística entre fumar y padecer cáncer, esta correlación entre esas variables desaparece cuando se toma en cuenta la tercera variable $-$ tener el factor genético $G-$ en lugar de revertirse el signo de la asociación estadística entre las dos primeras variables $-$ consumir la droga D y recuperarse $-$, como sucede en los casos tratado en las tablas A y B. No obstante, el ejemplo de la desaparición de la correlación entre fumar y padecer cáncer es una variante debilitada de la Paradoja de Simpson. En esta variante resultan iguales las probabilidades condicionales de padecer cáncer si se fuma y si no se fuma cuando se consideran los datos desagregados en dos subpoblaciones, la de las personas que tienen el factor genético G y la de quienes no lo tienen, es decir:

$$p(C/F \wedge G) = p(C/\neg F \wedge G) \text{ y } p(C/F \wedge \neg G) = p(C/\neg F \wedge \neg G).$$

Pero las probabilidades condicionales de padecer cáncer si se fuma y si no se fuma no son iguales cuando se consideran los datos agregados, los de la población completa sin tomar en cuenta poseen o no ese factor genético⁵, es decir: $p(C/F) > p(C/\neg F)$. Por eso, el agente racional que delibera acerca de si le conviene fumar o no, debe decidir previamente si tomar en cuenta los datos del agregado poblacional, o si debe considerar los datos desagregados en las subpoblaciones de quienes tienen el factor genético G y la de quienes no lo tienen.

5. El empleo de grafos causales en el tratamiento de la Paradoja de Simpson

Pearl señala que el método estadístico estándar para tratar con potenciales factores de confusión tales como el sexo en el ejemplo de la tabla A y padecer alteraciones en la presión en el ejemplo de la tabla B, consiste en condicionar las probabilidades con respecto a cualquier factor que pudiera causar tanto el consumo de la droga como la recuperación $-$ esto es, en términos estadísticos, “mantener fijos” tales potenciales factores de confusión. Así, si se cree que la variable sexo, influye en la elección de consumir o no la droga D y que también influye en la recuperación de quienes padecen la enfermedad E , entonces el efecto de consumir la droga debe evaluarse separadamente entre varones y mujeres. Esto es lo correcto en el ejemplo asociado a la tabla A, ya que la proporción de varones que toman la droga es mayor que la proporción de los varones que no lo hacen, inversamente a lo que sucede con las mujeres. Y la proporción de varones que se recuperan $-$ independientemente de que consuman esa droga o no $-$ es también mayor que la proporción de las mujeres que se recuperan. En suma, si se supone que el sexo es la única causa común o factor confusor interviniente, entonces las dos desigualdades ya mencionadas $p(R/D \wedge V) < p(R/\neg D \wedge V)$ y $p(R/D \wedge \neg V) < p(R/\neg D \wedge \neg V)$ representan la influencia causal de consumir la droga D sobre la variable recuperarse de la enfermedad E , en las respectivas subpoblaciones. En cambio, $p(R/D) > p(R/\neg D)$ expresa meramente el peso evidencial de consumir o no droga D , en ausencia de información sobre el sexo del paciente. No obstante, Pearl aclara que las

⁵ Este efecto fue descripto por K. Pearson (1899) y G. Yule (1903).

expresiones usualmente empleadas en estadística “mantener fijo V”, “ajustar por V” y “controlar por V” connotan intervenciones externas, así que pueden generar malas interpretaciones. Pues, en el análisis estadístico sólo podemos simular que mantenemos fijo el valor de una variable como V considerando casos con iguales valores de V, es decir, condicionando la probabilidad con respecto a los posibles valores de esa variable V –que, en este caso, representamos como “V” y “¬V”.

Pearl reconoce que la Paradoja de Simpson es consecuencia de las propiedades aritméticas de las proporciones, pero considera que tal peculiaridad aritmética deviene paradójica sólo cuando se interpretan causalmente las correlaciones estadísticas entre las variables. Pues, en tal caso se derivan consecuencias causales que juzgamos imposibles como, por ejemplo, que una droga sea dañina tanto para varones como para mujeres, pero beneficiosa para las personas en general. Por eso Pearl sostiene que la solución de la Paradoja de Simpson requiere consideraciones causales y no estadísticas. Así, en su opinión, el ejemplo correspondiente a la tabla B, en que es correcto fundar nuestras decisiones considerando los datos del agregado poblacional, tiene una estructura causal diferente del ejemplo correspondiente a la tabla A, en el cual lo correcto es emplear los datos desagregados en subpoblaciones. Pues, en el ejemplo de la tabla B la tercera variable, padecer o no cambios en la presión sanguínea, es influenciada por el tratamiento, por la variable consumir la droga D. En cambio, en el ejemplo de la tabla A, la tercera variable, el sexo, es una causa común de las variables asociadas D y R, ya que el valor de V está determinado previamente al tratamiento –consumir la droga D– y no resulta afectado por éste. Así, con los mismos datos a veces tenemos que decidir considerando la población como un todo, es decir, no condicionar la probabilidad de recuperación por la tercera variable, como en el ejemplo de la tabla B, lo que conducirá a suministrar la droga D. Pero otras veces las decisiones requieren considerar las subpoblaciones, es decir, condicionar la probabilidad de recuperación también con respecto a la tercera variable, como en el ejemplo de la tabla A, que conducirá a no suministrar la droga en cuestión.

Para analizar qué procesos generadores de datos dan origen a la paradoja, Pearl emplea grafos dirigidos acíclicos –denominados, usualmente, “DAGs”-. Este tipo de diagramas representan la estructura causal determinada por todas las relaciones causales entre las variables de un conjunto K, cada una de las cuales se corresponde con un nodo del grafo. En un DAG, una variable Y es efecto directo de otra X –o bien, X es causa directa de Y– si y sólo si hay una flecha del nodo correspondiente a la variable X al nodo asociado a Y –es decir: $X \rightarrow Y$ -. Los senderos que conectan la variable tratamiento o causa X y el resultado o efecto Y pueden representar asociaciones causales genuinas o espurias: las flechas dirigidas directamente de X a Y representan asociaciones causales, los demás representan asociaciones espurias, tal como $X \rightarrow Z \rightarrow Y$. Esta clase de senderos debe ser bloqueado condicionando la función de probabilidad con respecto a un conjunto de variables apropiado. También deben bloquearse, por representar asociaciones espurias, los senderos que apuntan a la variable tratamiento o causa

Pearl (2014) propone resolver la Paradoja de Simpson empleando un criterio gráfico aplicable a esta clase de diagramas causales denominado “*back door path*”, cuyo propósito es asegurarnos de que los senderos espurios que van de la variable tratamiento

X a la variable resultado Y quedan interceptados por una tercera variable –o conjunto de ellas- (Cf. Pearl, 1993). En el caso de una tercera variable Z cualquiera de un caso de Paradoja de Simpson, el autor considera que la condición más general para evitar la reversión de desigualdades –o su anulación– consiste en exigir que esa tercera variable Z no resulte influenciada por la variable tratamiento o causa X, así que debemos asegurarnos de que:

1. la variable Z no es descendiente de X.
2. la variable Z bloquea todo sendero que termine con una flecha dirigida hacia X.

La primera restricción se aplica a casos tales como el siguiente, en donde hay un sendero dirigido de X hacia Y que no es directo pues atraviesa la variable Z:

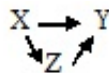


Figura 1

La segunda restricción se aplica a casos tales como el siguiente, donde hay una flecha dirigida hacia la variable X, considerada causa de Y:

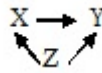


Figura 2

De acuerdo con la teoría de los grafos dirigidos acíclicos formulada por Pearl (1988), las siguientes estructuras pueden exhibir reversión de desigualdades, y cada uno de estos grafos puede emular cualquier distribución generada por el otro. El primer grafo representa, según el autor, la estructura causal del ejemplo correspondiente a la tabla A, mientras que el segundo representa la del ejemplo asociado a la tabla B. En ambos grafos, D es la variable tratamiento o causa y R es la variable respuesta o efecto, mientras que la tercera variable es V en el primer grafo y P en el segundo. Esta tercera variable puede ser una causa común de las variables tratamiento y resultado, como en el grafo A, o puede no influir sobre la variable tratamiento sino ser un efecto suyo, como el grafo B.

Grafo correspondiente al ejemplo de la tabla A:

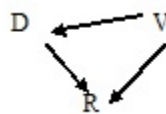


Figura 3

En este primer grafo observamos que hay un *back door path* dirigido hacia D, así que debemos condicionar la probabilidad de R también con respecto a la variable V.

Grafo correspondiente al ejemplo de la tabla B:

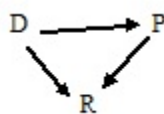


Figura 4

En este segundo grafo observamos que no hay un *back door path* dirigido hacia D, así que no debemos condicionar la probabilidad de R también con respecto a la variable P.

Empleando este criterio, si en el grafo A queremos estimar el efecto de la variable causa o tratamiento D sobre la variable efecto o resultado R, como hay un sendero *back door* dirigido hacia D desde V, pues la tercera variable V es causa común de D y de R -es decir: $D \leftarrow V \rightarrow R$ - entonces es necesario condicionar la probabilidad de R también con respecto a V para bloquear ese sendero. Y cuando es necesario condicionar la probabilidad de la variable efecto o resultado con respecto a una tercera variable, la información correcta la proveen los datos desagregados en subpoblaciones correspondientes a los diferentes valores de esa variable, como sucede en el ejemplo A.

En cambio, para estimar el efecto de la variable tratamiento o causa D sobre su efecto o resultado R en el grafo B no debemos condicionar con respecto a la tercera variable P, porque no hay en ese grafo un sendero *back door* para bloquear dirigido a la variable D desde P, pues P es un efecto de la variable tratamiento D y no una causa suya -i.e. P no es causa común: $R \leftarrow D \rightarrow P$. Más aún, no hay que condicionar la probabilidad de recuperación con respecto a la variable P porque ésta está en el camino causal que deseamos evaluar, así que si condicionamos con respecto a ella enmascaramos una de las dos vías a través de la cual la variable causa o tratamiento D opera sobre la recuperación, pues P resulta influenciada por D. Así que en el ejemplo B la información correcta la proveen los datos del agregado poblacional.

6. Las limitaciones del enfoque causal

Según Pearl, aunque los grafos causales que representan los ejemplos correspondientes a las tablas A y B contienen los mismos datos, se decide consumir o suministrar la droga D en ejemplo B y no hacerlo en ejemplo A sobre la base de consideraciones causales, no por algún criterio estadístico. Sin embargo, en este punto consideramos importante destacar que la aplicación del criterio causal que propone Pearl requiere del conocimiento previo de los vínculos causales entre las variables relevantes o, al menos, del supuesto de que se dispone de tal conocimiento. Así, en el ejemplo de la tabla A se presume que la variable sexo no resulta afectada por el consumo de la droga D, contrariamente a lo que se presupone en el ejemplo de la tabla B con respecto a la variable alteraciones en la presión sanguínea.

Ahora bien, el análisis efectuado hasta aquí pone de manifiesto que si sólo contamos con los datos de los valores que asumen las variables, pero no conocemos las relaciones causales entre éstas, el tipo de ejemplos que típicamente esgrimen los defensores de la TCD contra la TED no permite dirimir la controversia entre ambas. Pearl recurre a modelos gráficos de estructuras causales -los denominados “grafos dirigidos acíclicos”- y al criterio *back door path* a fin de defender la necesidad de adoptar un enfoque causal en el tratamiento de esta dificultad (cf. Pearl, 2000). Pero como cada grafo dirigido acíclico refleja la estructura causal determinada por todas las relaciones causales entre las variables representadas por sus nodos, su empleo requiere asumir que las

variables del grafo en cuestión constituyen un conjunto causalmente suficiente. Un conjunto causalmente suficiente de variables es aquel del cual puede afirmarse que cada variable que influye causalmente sobre alguna variable del conjunto, también pertenece a ese conjunto.

En otras palabras, como es evidente en los grafos que representan, respectivamente, los ejemplos A y B, la solución propuesta requiere de la previa aceptación de supuestos causales. En particular, en el ejemplo A es necesario conocer o presuponer que el sexo es causa común del consumo de la droga D y de la recuperación de la enfermedad, y que el consumo de la droga D no determina el valor que asume la variable sexo. En contraste, en el ejemplo B tenemos que saber o creer que la variable alteraciones en la presión no es causa común del consumo de la droga D y de la recuperación, sino que el consumo de D influye en el valor que asume la variable alteraciones en la presión sanguínea. Lo mismo puede afirmarse con respecto al caso del individuo que delibera acerca de si le conviene fumar o no, y que sabe que hay una correlación positiva entre fumar y contraer cáncer, pero que también sabe que tal correlación se anula cuando se consideran los datos desagregados, clasificados en dos subpoblaciones: la de quienes poseen el factor genético G y la de quienes no lo poseen. En este caso, la aplicación del criterio de Pearl requiere que el agente decisor conozca o suponga que conoce las relaciones causales entre las tres variables involucradas, y que el conjunto que ellas conforman sea un conjunto causalmente suficiente.

7. Consideraciones finales

Si bien la TED enfrenta el problema de no poder discriminar correlaciones estadísticas que representan vínculos causales genuinos de asociaciones espurias cuando se plantea un caso de la versión debilitada de la Paradoja de Simpson, su tratamiento mediante la TCD torna imprescindible disponer de un criterio para determinar si tenemos que considerar los datos de la población completa o los desagregados en subpoblaciones. Así, un criterio como el propuesto por Pearl requiere asumir hipótesis causales para establecer qué clase de referencia se debe emplear. Pero dada una hipótesis causal que recomiende una decisión –como consumir la droga D–, siempre es posible formular una hipótesis causal alternativa que justifique la decisión contraria. Pues, dado el origen aritmético de la Paradoja de Simpson, no es posible probar que no haya una partición de la población que sustente la hipótesis causal alternativa.

Por eso, el criterio gráfico de Pearl sólo es aplicable cuando asume que el conjunto de variables consideradas es un conjunto causalmente suficientemente. Con todo, este supuesto generalmente no puede justificarse con la información disponible, ya que equivale a asumir la inexistencia de causas comunes no consideradas que influyan sobre las variables incluidas en el modelo. En suma, la tentativa de formular un criterio causal para la resolución de la Paradoja de Simpson no permite dirimir la controversia relativa a la superioridad de la TCD sobre la TED. Pues la teoría causal de la decisión sólo garantizaría derivar una decisión correcta si conociéramos acabadamente la verdadera estructura causal subyacente al problema práctico particular sobre el que deliberamos.

8. Bibliografía

- Cohen, M.R: and Nagel, E. (1934). *An Introduction to Logic and the Scientific Method*. Harcourt, Brace and Company: New York.
- Lewis, D. (1976). Probabilities of conditionals and conditional probabilities. *The Philosophical Review*. Duke University Press, 85(3): 297–315.
- Pearl, J. (1988). *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems*. Morgan Kaufmann: San Mateo, CA.
- Pearl, J. (1993). Comment: Graphical models, causality, and intervention. *Statistical Science*, 8(3): 266–269.
- Pearl, J. (1995). Causal diagrams for empirical research. *Biometrika*, 82 (4): 669–710.
- Pearl, J. (1998). Graphs, causality, and structural equation models. *Sociological Methods and Research*, 27(2): 226–284.
- Pearl, J. (2000). *Causality: Models, Reasoning, and Inference*. Cambridge University Press, New York.
- Pearl, J. (2009). Causal inference in statistics: An overview. *Statistics Surveys*, Vol. 3: 96–146
- Pearl, J. (2014). Understanding Simpson’s Paradox. *The American Statistician*, 88(1): 8-13
- Pearson, K, Lee, A. and Bramley-Moore, L. (1899). Genetic (reproductive) selection: Inheritance of fertility in man. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, A 73: 534–539.
- Simpson, E. (1951). The interpretation of interaction in contingency tables. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 13: 238–241.
- von Neumann, J. and Morgenstern, O. (1944). *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton: Princeton University Press.
- Yule, G. (1903). Notes on the theory of association of attributes in statistics. *Biometrika*, 2: 121–134.

La Teoría de Gerschman: cuestiones históricas y epistemológicas

Jorge Norberto Cornejo¹

Recibido: 14 de marzo de 2017

Aceptado: 30 de mayo de 2017

Resumen. Los trabajos realizados por la bioquímica argentina Rebeca Gerschman en el campo de la toxicidad del oxígeno y de los radicales libres derivados del mismo han sido seminales para la investigación biomédica. La Teoría de Gerschman constituye un cuerpo de conceptos que permite explicar fenómenos en apariencia diferentes, tales como el estrés oxidativo y la acción orgánica de las radiaciones ionizantes. Sin embargo, la comunidad científica inicialmente experimentó un abierto rechazo hacia sus ideas. En el presente trabajo relataremos la historia de las investigaciones de la Dra. Gerschman, mencionando las problemáticas epistemológicas que presentaron. Encontraremos que se han avanzado una variedad de opiniones para explicar el rechazo referido: falta de apoyo experimental sólido, errores metodológicos, contradicción con otras investigaciones de la época, carácter anticipatorio, planteamiento de hipótesis *a priori*, naturaleza de cambio paradigmático revolucionario, heterodoxia, entre otras. Postulamos que probablemente el rechazo haya sido el resultado de una conjunción de todas estas causas. Un tema futuro de investigaciones epistemológicas podría consistir en analizar si, dado un hallazgo revolucionario que propone un cambio de paradigma, su habitual rechazo inicial encontraría una expresión diferente en los actores de la comunidad científica que manifestasen su juicio sobre el mismo.

Palabras-clave: Rebeca Gerschman - radicales libres – oxígeno - cambio de paradigma.

Title: The Gerschman Theory: History and Epistemological Issues

Abstract. The work done by the Argentine biochemist Rebeca Gerschman in the field of oxygen toxicity and free radicals derived from it have been seminal for biomedical research. The Gerschman Theory constitutes a body of concepts that makes it possible to explain apparently different phenomena, such as oxidative stress and the organic action of ionizing radiations. However, the scientific community initially experienced an open rejection of their ideas. In the present work we will tell the history of the investigations of Gerschman, mentioning the epistemological problems that presented. We will find that a variety of opinions have been advanced to explain the rejection: lack of solid experimental support, methodological errors, contradiction with other investigations of the time, anticipatory character, hypothesis *a priori*, nature of revolutionary paradigmatic change, heterodoxy, among others. We postulate that rejection was probably the result of a conjunction of all these causes. A future theme of epistemological research could be to analyze whether, given a revolutionary finding that proposes a paradigm shift, its usual

¹ Universidad de Buenos Aires - Facultad de Ingeniería - Depto. de Física - Gabinete de Desarrollo de Metodologías de Enseñanza

✉mognitor1@yahoo.com.ar

Cornejo, Jorge Norberto (2017). La teoría de Gerschman. *Epistemología e Historia de la Ciencia*, 2(1), 18-42. ISSN: 2525-1198



initial rejection would find a different expression in the actors of the scientific community who express their judgment on it.

Keywords: Rebeca Gerschman - free radicals – oxygen - change of paradigm.

1. Introducción - los radicales libres

Dentro de la historia de la biomedicina existe un campo de investigación, con importantes y definidas consecuencias prácticas, en el que los trabajos de una investigadora científica argentina han sido seminales. Nos referimos al campo de los radicales libres y a la bioquímica, Dra. Rebeca Gerschman (1903-1986). En el presente trabajo relataremos la historia de sus investigaciones en esta temática, y algunos de los problemas epistemológicos que presentaron sus experimentos y teorías. Nos detendremos especialmente en los problemas que determinaron el rechazo experimentado inicialmente por sus ideas. Previamente, introduciremos el concepto de radical libre, a los efectos de una mejor comprensión del tema.

Un *radical libre* es una especie química, orgánica o inorgánica, atómica o molecular, que posee un electrón desapareado o impar en su última capa, lo que le otorga una configuración espacial que genera una elevada inestabilidad y una gran capacidad para reaccionar químicamente con otros átomos o moléculas. Esta última condición proviene de que el electrón impar o solitario “busca una pareja” a los efectos de alcanzar una situación estable, y para ello le sustrae un electrón a una molécula vecina, modificando su estructura y transformándola, a su vez, en otro radical libre (Pryor *et al*, 2006). La mayoría de las moléculas biológicas usualmente sólo poseen electrones apareados (Fürst, 1996).

Algunos radicales libres son eléctricamente neutros, mientras que otros poseen carga eléctrica positiva o negativa. Casi todos son altamente reactivos y tienen una vida media muy breve, del orden de los microsegundos. Sin embargo, a pesar de esto último y debido precisamente a su alta reactividad, son capaces de difundirse por la totalidad de una célula e interactuar en regiones alejadas de su punto de formación. La existencia de los radicales libres fue demostrada originalmente por Gomberg (1900) cuando mostró la presencia en fase gaseosa de tales arreglos moleculares (Camps *et al*, 2010). Previamente, durante el siglo XIX, la existencia de los radicales libres había sido sistemáticamente negada (Pryor, 1976 y 1968). Una vez confirmada su existencia, hacia 1911 se los denominó radicales libres para diferenciarlos de grupos similares fijos en las moléculas orgánicas. Los hallazgos de Gomberg impulsaron la investigación en radicales libres durante toda la primera mitad del siglo XX (O’Lery, 2016), de modo tal que el tema experimentó un largo proceso de construcción y consolidación conceptual (Forman *et al*, 2014) que exigió la revisión de algunos de los conceptos y principios de la química del siglo XIX (O’Lery, 2012) y que fue sintetizado en sus nociones fundamentales por Waters (1946).

El desarrollo de la teoría de radicales libres es sumamente interesante desde la historia de la ciencia. Para Freeman (2000, p. 478): “Ambos avances representan maravillosas historias de descubrimiento y creatividad y han manifestado una profunda influencia en el pensamiento y las actividades de miles de médicos y científicos.”

Entre las investigaciones históricamente relevantes en radicales libres destacan las de Michaelis (1951 y 1939), quien propuso que la oxidación de todas las moléculas orgánicas bivalentes ocurre con la formación de un radical libre intermediario, de forma tal que los radicales libres funcionan como una especie de vehículos para las oxidaciones biológicas.

Ahora bien, al referirnos a la cuestión de los procesos orgánicos de naturaleza oxidativa surge con fuerza el rol de un elemento químico fundamental para la vida: el oxígeno. En efecto, como el oxígeno es el oxidante por excelencia, la vida misma, por lo menos la de los organismos *aerobios estrictos*, es decir, aquellos que necesitan oxígeno diatómico para sobrevivir, se caracteriza como una constante reacción de oxidación-reducción (*redox*), pues la incorporación de oxígeno a los seres vivos da como resultado permanentes procesos oxidativos y las reducciones, es decir, los procesos opuestos de las oxidaciones, que los acompañan.

Desde el punto de vista terminológico, aquí resulta necesario formular una aclaración. La forma en que se emplean algunos términos técnicos en química es ligeramente diferente al uso que se hace de los mismos términos dentro de la investigación biomédica. En esta última disciplina en la categoría de radicales libres suelen incluirse los radicales libres propiamente dichos junto con otras moléculas que, sin ser verdaderos radicales libres, tienen importancia en los procesos de formación o en las interacciones químicas de los mismos, o bien presentan un comportamiento equivalente. El nombre más correcto para las moléculas que intervienen en los procesos biológicos de oxidación es el de “*especies reactivas del oxígeno*” (ERO o ROS, por *reactive oxygen species*), que comprende a los radicales libres propiamente dichos, a diversos iones del oxígeno y a algunos peróxidos² que normalmente se comportan como oxidantes. En el presente trabajo emplearemos los términos ERO y radical libre intercambiamente, tal como es frecuente en la literatura biomédica.

Debido a su rol en la fisiología humana, resultan fundamentales las siguientes ERO, identificadas originalmente por Michaelis (1951): el anión superóxido (O_2^-), el peróxido de hidrógeno o agua oxigenada (H_2O_2), el radical hidroxilo (OH^*), el radical hidroperoxilo ($H O_2^*$) y el oxígeno singlete o singlete (1O_2). También se incluye entre las ERO el ozono (O_3), pero no será considerado en nuestro estudio³.

Las ERO se forman como consecuencia del metabolismo normal del oxígeno y cumplen un rol muy importante en el sistema inmunológico y en el transporte de iones en los tejidos. Por ejemplo, las plaquetas o trombocitos, que participan en la reparación de heridas y en la coagulación de la sangre, liberan especies reactivas del oxígeno para atraer más plaquetas hacia los sitios de lesión. Asimismo, la capacidad oxidante de las ERO las vuelve eficaces en la destrucción de agentes patógenos, por lo que las células fagocitarias tienden a liberarlos en la proximidad de moléculas que el sistema inmunológico reconoce como extrañas (Diez Gómez *et al*, 2001).

² Óxidos que presentan más oxígeno que un óxido común.

³ Tampoco consideraremos las especies reactivas del nitrógeno (RNS) que, si bien son importantes a nivel biológico, no guardan relación con la Teoría de Gerschman.

Sin embargo, esta presión oxidativa, como se denomina a la acción orgánica de las ERO, tiene efectos tóxicos colaterales, tales como daños en el ADN o la oxidación no deseada de ciertas proteínas y de algunos ácidos grasos. El incremento patológico de las ERO se conoce como *estrés oxidativo* (Sies, 1985). De acuerdo con Pryor *et al* (2006) las vías de acción de las ERO todavía son materia de investigación, pero puede afirmarse que niveles bajos de ERO pueden ser mutagénicos (Céspedes Miranda *et al*, 2000), mientras que niveles muy altos pueden generar severos daños celulares, y aún necrosis tisular (Bushong, 2005).

Debido a ello, si bien la atmósfera terrestre permitió el desarrollo de organismos complejos que utilizan el oxígeno como una eficaz fuente de energía al mismo tiempo la presión oxidativa implicó un serio problema de adaptación que la evolución se vio forzada a resolver (Gerschman, 1981, véase la cita que efectúa de un concepto de Paracelso). En un organismo aerobio estricto aproximadamente el 95% del oxígeno consumido durante la respiración celular es reducido completamente a agua, pero el porcentaje restante participa en la formación y en la actividad de las ERO. De hecho, ningún ser vivo podría resistir la permanencia en un medio rico en oxígeno, tal como la atmósfera de nuestro planeta, si no dispusiera de las defensas adecuadas.

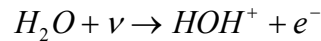
Por ello, de forma muy temprana en la evolución se desarrollaron las enzimas y factores antioxidantes, junto a otros procesos adaptativos, que son capaces de controlar la presencia y efectos de las ERO. Entre tales factores antioxidantes se encuentran la enzima superóxido dismutasa, la catalasa, el ácido ascórbico o vitamina C, el ácido úrico, el glutatión y otros. Estos antioxidantes se hallan en los organismos vivos en concentraciones bajas, y su función es retrasar o prevenir significativamente la oxidación del denominado *sustrato oxidable*, es decir, del conjunto de lípidos, proteínas y otras moléculas que puede experimentar los efectos oxidativos de las especies reactivas del oxígeno. Para Cisneros Prego (1994, p. s/n):

Las especies reactivas del oxígeno constituyen átomos, iones y moléculas con uno o más electrones impareados en el orbital más externo; así como moléculas derivadas del oxígeno que tengan alta capacidad reactiva. Estas especies pueden provocar daño en diferentes tejidos al interactuar con moléculas de importancia biológica. Por su potencial efecto destructivo el organismo utiliza potentes mecanismos para evitar la acumulación de estas formas radicálicas; entre éstos se encuentran medios antioxidantes endógenos constituidos por algunos sistemas enzimáticos y otros exógenos constituidos por algunas vitaminas.

Este equilibrio entre oxidantes y antioxidantes puede ser alterado por distintos factores, que se transforman de ese modo en causa de diversas patologías (Companioni Gásquez, 1994). Entre tales factores aquí nos interesan las radiaciones ionizantes, particularmente los rayos X y los rayos gamma, de amplio empleo en diagnóstico y terapéutica médica (Álvarez Fontanet, 1994).

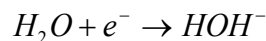
Cuando la radiación ionizante incide sobre un ser vivo la mayor probabilidad es que interactúe con una molécula de agua. En tal caso ocurre la denominada *radiólisis del agua*, es decir, la ruptura de la molécula. Éste es un proceso complejo, que presentamos en las siguientes líneas en forma simplificada.

Tratándose de radiación *ionizante*, el primer paso en la radiólisis es la pérdida de un electrón por parte de la molécula de agua, que así se transforma en un ión molecular con carga eléctrica positiva. Representamos este hecho mediante la siguiente fórmula química:

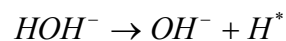
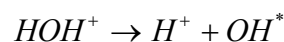


en la que el símbolo ν representa un fotón de radiación y e^- un electrón. La molécula de agua ionizada y el electrón desprendido conforman un *par iónico* (Cornejo, 2015a; Bushong, 2005).

Después de esta ionización inicial, pueden darse dos situaciones diferentes. En primer lugar, el par iónico así formado puede volver a unirse, formando nuevamente una molécula de agua estable. Si eso es lo que ocurre, no hay daño biológico. Pero el electrón desprendido también puede unirse a otra molécula de agua, ionizándola negativamente, según la siguiente reacción:



Los dos iones así formados, el HOH^+ y el HOH^- , son relativamente inestables, y se pueden disociar todavía en moléculas más pequeñas, tal como indican las reacciones que siguen:



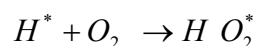
El resultado final de la radiólisis es, entonces, la formación de dos iones H^+ y OH^- , y dos radicales libres, el hidrógeno atómico H^* y el ya mencionado radical hidroxilo OH^* . El asterisco en estos últimos indica que son moléculas que poseen un importante exceso de energía.

Los dos iones en cuestión, el H^+ y el OH^- , no son raros, se pueden recombinar entre sí y por lo tanto su presencia no entraña riesgos de tipo biológico. El problema ocurre con los dos radicales libres. Por ejemplo, el OH^* , con una vida útil de millonésimas de segundo, una vez formado oxida en forma casi instantánea a cualquier molécula que se encuentre próxima (Bushong, 2005).

El H^* y el OH^* todavía se pueden recombinar y formar así otros radicales libres o compuestos de comportamiento similar, por ejemplo:



El producto así formado es el ya mencionado *peróxido de hidrógeno* o agua oxigenada, tóxico a nivel celular.



Este último, el *radical hidroperoxilo*, es un compuesto igualmente tóxico y, al unirse con otra molécula de su misma clase, también puede formar peróxido de hidrógeno.

Todavía pueden formarse otros radicales libres, conocidos como *radicales libres orgánicos*, que comparten con los precedentes el hecho que su exceso de energía se puede transferir a las moléculas de ADN y romper sus enlaces químicos. Estos radicales libres orgánicos se forman sólo cuando se encuentran presentes moléculas de oxígeno (Bushong, 2005).

2. Rebeca Gerschman y el artículo de 1954

De acuerdo con Cornejo (2015 a y b) y Cornejo y Montiel (2012) el punto de inflexión en el estudio de los radicales libres en general, y del equilibrio entre oxidantes y antioxidantes en particular, lo constituye la obra de la bioquímica argentina Rebeca Gerschman. Los datos biográficos de la Dra. Gerschman, en particular su colaboración con el Dr. Bernardo Houssay en el Instituto de Fisiología y su trabajo con el Dr. Wallace Fenn en la Universidad de Rochester, New York, pueden consultarse en las obras recién mencionadas. Aquí nos interesa particularmente analizar su trabajo sobre la acción orgánica de los radicales libres, dado a conocer en 1954 y que con el tiempo se volvería una referencia obligada en las publicaciones sobre radicales libres y toxicidad del oxígeno (O'Lery, 2016).

En efecto, en el año referido la Dra. Rebeca Gerschman publicó junto con un grupo de colaboradores un breve artículo de sólo cuatro páginas en la revista *Science*, titulado "Oxygen poisoning and X-irradiation: a mechanism in common". Un anticipo del contenido del trabajo había sido brindado por la Dra. Gerschman en 1953 en una conferencia dictada en la Universidad de Rochester. Sin embargo, fue en 1954 cuando hizo pública por primera vez su hipótesis acerca de la analogía existente entre la toxicidad del oxígeno y los efectos de la radiación X; por ello, suele considerarse a 1954 como el inicio formal de la investigación en radicales libres desde un punto de vista biomédico (Gilbert, 2012).

Aunque generalmente es poco conocido, y las bibliografías suelen limitarse a citar el artículo en inglés, vale la pena resaltar que, casi al mismo tiempo que en *Science*, se publicó una versión en español del mismo trabajo, en la revista "Ciencia e Investigación", órgano de la Asociación Argentina Para el Progreso de las Ciencias, institución fundada por el Dr. Bernardo Houssay. Esta versión se tituló: "La intoxicación por el oxígeno y por los rayos X: Un mecanismo en común" y es importante destacar la rapidez con la que un artículo científico de envergadura alcanzó a ser publicado en lengua vernácula. Posiblemente la influencia del Dr. Houssay, mentor de la Dra. Gerschman, haya sido decisiva en este punto, así como su presciencia al advertir la relevancia que el trabajo alcanzaría en la historia de la ciencia (Cornejo, 2015a).

El trabajo de 1954 fue consecuencia de la labor desarrollada por Gerschman en el Departamento de Fisiología y Economía Vital de la Facultad de Medicina y Odontología de la Universidad de Rochester, bajo la supervisión del Dr. Wallace O. Fenn (1893-1971), de amplia trayectoria científica en el campo de la acción tóxica de los gases respiratorios. Fenn le comentó a Gerschman su interés en la acción protectora que las glándulas

suprarrenales ejercen durante las situaciones de estrés mediante la activación de la corteza suprarrenal y la inyección de ácido ascórbico en la sangre. Le sugirió que, como consecuencia del hecho referido, la reserva de dicho ácido en la corteza suprarrenal debía disminuir. Tal reducción, por lo tanto, sería una forma de medir la actividad suprarrenal, y Rebeca Gerschman procedió a verificar experimentalmente la idea con ratones sometidos a estrés generado por elevadas concentraciones de oxígeno (Gerschman, 1981).

Primeramente Gerschman confirmó que, en efecto, el oxígeno en exceso genera una disminución del ácido ascórbico suprarrenal. Esta disminución iba acompañada por efectos tóxicos que generalmente conducían los ratones a la muerte. Y también advirtió que la extirpación de la glándula suprarrenal reducía grandemente los efectos tóxicos del oxígeno (Gerschman y Fenn, 1953 y 1952).

Llegó entonces a manos de la Dra. Gerschman un trabajo en el que se comprobaba que en animales sometidos a altas concentraciones de oxígeno un incremento en la actividad metabólica reducía la expectativa de vida. Reunió las ideas y sospechó que, al extirpar las glándulas suprarrenales la tasa metabólica de los ratones se reducía, y ello los protegía frente a los efectos tóxicos del oxígeno (Gerschman *et al.*, 1958b).

Posteriormente, Gerschman accedió a un viejo artículo sobre la utilización de oxígeno hiperbárico en los tratamientos de radioterapia, publicado hacía veinte años y ya casi olvidado. En el mismo, Ozorio de Almeida (1934) señalaba una cierta similitud existente entre la acción tóxica del oxígeno y las patologías inducidas por la radiación ionizante; en palabras del artículo de 1954, se generaban lesiones histológicas llamativamente semejantes en los testículos de las ratas.

Gerschman se enfrascó entonces en el estudio de todo el conocimiento que, respecto del tema, estaba disponible en esa época, hasta que pudo articular un modelo coherente. A partir de esas lecturas se fusionaron ideas de numerosos científicos. Bernardo Houssay, Claude Bernard, Paul Bert, Leonor Michaelis, Ozorio de Almeida y otros se dan la mano en las cuatro páginas del trabajo de 1954, y encuentran una unidad que probablemente ellos mismos no habían imaginado (Cornejo, 2015a).

Para comenzar, la Dra. Gerschman analizó los conceptos clásicos de Paul Bert, quien había estudiado las respuestas fisiológicas del ser humano cuando es sometido a diversas presiones y composiciones gaseosas. Bert halló que el oxígeno puro a alta presión genera una toxicidad aguda en el sistema nervioso, que se manifiesta con estados convulsivos que recuerdan a la epilepsia (el “efecto Paul Bert”, ver Bert, 1878).

Ahora bien, y a pesar de que la toxicidad del oxígeno se estudiaba desde el siglo XIX, en la década de 1950 estas ideas todavía resultaban controversiales para la comunidad científica. Muchos especialistas no podían concebir que los radicales libres apareciesen como productos normales del proceso de consumo de oxígeno por organismos aerobios estrictos. Hermes Lima (2004) dice que todos los investigadores consideraban que el oxígeno era el “chico bueno” del metabolismo, y que no podían aceptar que cumpliera un rol diferente. Pryor *et al.* (2006), en forma muy gráfica, compararon el oxígeno con Jano, el dios que tenía dos caras, en este caso una que da la vida y otra que la quita.

3. La Teoría de Gerschman

El artículo de 1954 fue consecuencia de esta laboriosa re-lectura de la literatura científica efectuada por la Dra. Gerschman, más los resultados de los experimentos conducidos por su propio grupo. En dicho artículo fue presentada la que tiempo después sería conocida como la “Teoría de Gerschman”. Es un modelo que, como dijimos previamente, se caracteriza por unificar y sintetizar numerosas ideas que formaban parte del ambiente científico de la época. Ideas dispersas sobre temas que, en principio, no parecen estar relacionados, pero que con la Teoría de Gerschman alcanzaron una armoniosa unidad (Cornejo, 2015a y b).

La Teoría de Gerschman fue construida a partir de e incluye a:

- a. El concepto de equilibrio del medio interno, desarrollado por Claude Bernard hacia 1860 y denominado *homeostasis* por W.B. Cannon en 1932 (Curtis, 2016).
- b. El comportamiento paradójico del oxígeno, conocido desde los trabajos realizados por Paul Bert, a su vez discípulo de Bernard, en 1878.
- c. Los estudios efectuados en 1934 por Ozorio de Almeida sobre las alteraciones patológicas que las radiaciones ionizantes producen en los tejidos mediante la formación de radicales libres.
- d. El conocimiento disponible en la época sobre la química de la radiación, fundamentalmente la formación de peróxido de hidrógeno y especies reactivas del oxígeno a través de la radiólisis del agua, descrito por Stein y Weiss (1948), entre otros.
- e. La teoría de la reducción parcial del oxígeno de Michaelis (Gerschman, 1964).
- f. La prolongación de la vida de ratones sometidos a oxígeno hiperbárico por tratamiento con sustancias radioprotectoras. Es decir, las mismas sustancias que pueden servir como protectores biológicos frente a la acción de las radiaciones ionizantes funcionan como protectoras frente a las elevadas concentraciones de oxígeno. Tal es el caso de la vitamina E, la vitamina P y el cobalto. Por otro lado, la insulina aumenta tanto la sensibilidad a la radiación como la sensibilidad a la intoxicación por el oxígeno (Gerschman *et al*, 1958b).
- g. Los experimentos de la propia doctora Gerschman sobre el efecto sinérgico del oxígeno hiperbárico y la radiación X (Cornejo, 2015a).

Podemos ver esto en la Figura 1.

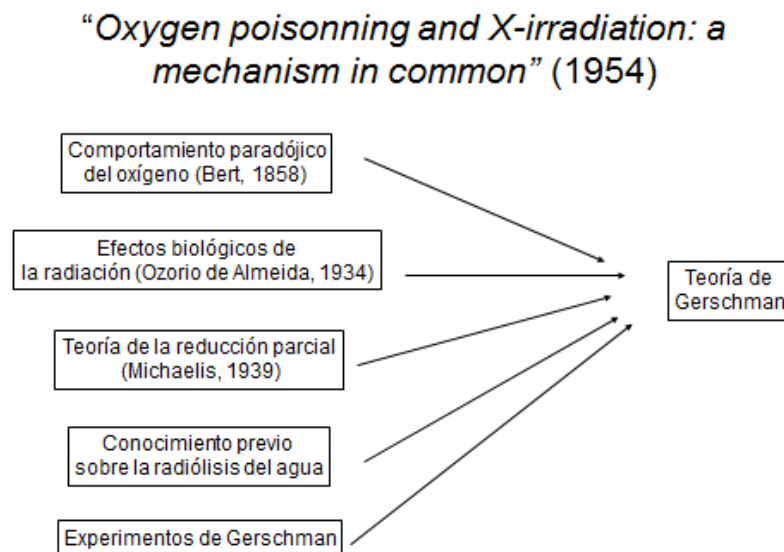


Figura 1. La conformación de la Teoría de Gerschman (Cornejo, 2015a). La idea de equilibrio del medio interno de Claude Bernard atraviesa todas las influencias indicadas.

Gerschman y sus colaboradores eran perfectamente conscientes de la naturaleza integradora de su trabajo, y nunca se atribuyeron más originalidad de la que realmente les correspondía. Citando el primer párrafo del artículo de 1954 (p. 346):

Un examen de varios diferentes datos aislados de la literatura nos llevó a formular la hipótesis de que la intoxicación por oxígeno y la lesión producida por la irradiación tienen por lo menos una base común de acuerdo, posiblemente mediante la formación de radicales libres oxidantes. Este artículo es un resumen de las informaciones que condujeron a la hipótesis y también presenta *ciertas pruebas* que la apoyan.

Y más adelante:

El estudio de la literatura ha mostrado en varios trabajos ciertas semejanzas entre los efectos de la intoxicación por el oxígeno y los de la irradiación por rayos X. Si se considera que un metabolismo aumentado podría acrecentar la producción de radicales libres y viceversa, no puede sorprender que se hayan observado variaciones de la toxicidad del oxígeno relacionadas con la actividad metabólica. Así por ejemplo se ha observado que una disminución del metabolismo tiene un efecto protector contra la intoxicación por el oxígeno, mientras que un aumento metabólico es perjudicial. Varios trabajos indican que esto es también cierto en la irradiación por rayos X, *aunque no está aclarado*. (Gerschman *et al*, 1954b, p. 346-347; el resaltado es nuestro)

Con los efectos biológicos eventualmente causados por la radiación ionizante había otro problema. Dicha radiación, como lo indica su misma denominación, tiene la propiedad de arrancar electrones de los átomos, de forma tal que cuando incide sobre un organismo vivo algunos electrones son desprendidos y se liberan en los tejidos del cuerpo. Abusando del vocabulario, podríamos imaginar que la radiación le “agrega” electrones libres a los tejidos. Por ello, la radiación ionizante era conocida como un *agente reductor*.

Esto dificultaba aceptar que la acción orgánica de las radiaciones ionizantes en general, y de los rayos X en particular, es consecuencia de procesos oxidativos.

4. Los experimentos de Gerschman

La descripción de los experimentos de Rebeca Gerschman puede sugerir que los mismos eran relativamente sencillos; sin embargo, su realización concreta en la década de 1950 debió ser sumamente compleja. Gerschman trabajó con una cámara hiperbárica diseñada por ella misma, es decir, un recinto lleno de aire en el que podía modificar la presión parcial de oxígeno y así aumentar progresivamente la concentración del mismo. La Dra. Gerschman colocó ratones en la cámara y fue midiendo el tiempo de vida de los mismos en función de la presión parcial del oxígeno, obteniendo un gráfico similar al reproducido en la Figura 2, en el que se advierte con claridad que el aumento de oxígeno en la cámara daba como resultado una reducción en el tiempo de vida de los ratones.

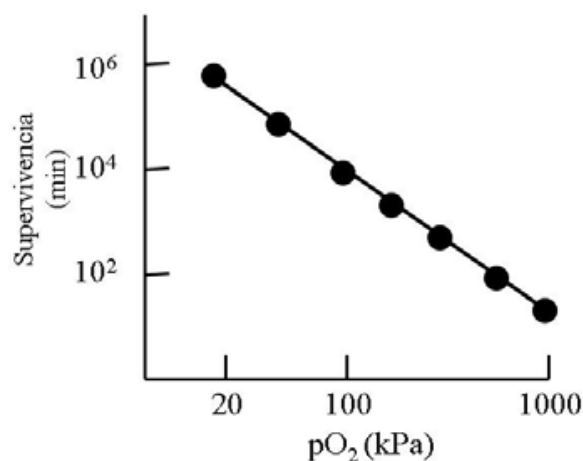


Figura 2. La toxicidad del oxígeno El gráfico (en escala doble logarítmica) muestra la reducción en la supervivencia de ratones al incrementar la presión parcial de oxígeno. Tomado de Boveris (2005), construido a partir de datos de Gerschman y Boveris (1964, citado por Boveris [2005], reproducido en Cornejo, 2015a).

Posteriormente, y a partir de su lectura del trabajo de Ozorio de Almeida (1934), Gerschman convenció al Dr. Henry H. Blair, Director del Departamento de Radiobiología de la Universidad de Rochester, acerca de la necesidad de combinar el oxígeno a alta presión con la radiación X, a los efectos de establecer si los efectos de uno y otra se reforzaban mutuamente. Incorporó entonces a la cámara un tubo de rayos X, de forma tal que, a medida que los ratones eran irradiados, o dejando un intervalo de tiempo después de la irradiación, efectuaba el incremento paulatino en la concentración de oxígeno (Boveris, 1966). El tiempo total de irradiación era de aproximadamente 35 minutos, y la dosis de exposición de 8800 roentgen⁴.

Los experimentos combinando oxígeno y rayos X fueron de dos tipos, a saber:

⁴ El roentgen es una unidad de medida de la exposición a la radiación, actualmente casi en desuso. 8800 roentgen es una dosis altísima; por ejemplo, en los seres humanos aparecen efectos radioinducidos tempranos a partir de los 1000 roentgen aproximadamente.

- a. medir la supervivencia de ratones irradiados e hiperoxigenados, ya sea simultáneamente o con diferentes intervalos, y
- b. estudiar la acción protectora que, contra la intoxicación por oxígeno, producen sustancias de naturaleza química variada, principalmente antioxidantes, que ya eran conocidas como capaces de incrementar la resistencia a la radiación.

La Dra. Gerschman encontró lo que denominó una “sinergia”, o “efecto sinérgico”, entre la acción del oxígeno y la de la radiación. En otras palabras, los efectos del oxígeno parecían potenciarse al agregar radiación X y viceversa, los efectos biológicos de esta última se incrementaban en presencia de oxígeno. En palabras del artículo de 1954:

No sólo se ha demostrado que la anoxia disminuye los efectos letales agudos de las radiaciones ionizantes sobre ratas y ratones y sobre otros sistemas biológicos, sino también que el aumento de las tensiones de oxígeno refuerza el efecto de la irradiación. (Gerschman et al, 1954b, p. 347).

Esta sinergia era pequeña en cada caso individual, pero significativa a nivel estadístico, lo que actualmente se conoce como una característica general de los efectos biológicos causados por las radiaciones ionizantes (Bushong, 2005).

En la Figura 3 reproducimos la Tabla de Datos de los experimentos de la Dra. Gerschman, obtenida del trabajo publicado en español, mientras que en la Figura 4 reproducimos el gráfico en el que la Dra. Gerschman resumió el mencionado efecto sinérgico.

TABLA N° 2. — *Efecto de irradiación previa sobre supervivencia de ratones en altas presiones de oxígeno, con intervalos variables entre la irradiación y la exposición al oxígeno.**

Series	Intervalo	N° de experimento	Presión (atm.)	Sexo	Tiempo medio supervivencia (min.)			Error Std de la dif.**	“P” %
					O ₂	rad. + O ₂	Dif.		
I	Simult.	3	5	m	71.3	56.9	14.4	5.3	0.7
Ia	5 hr	2	5	m	65.0	59.0	6.0	6.4	34.8
II	2 min	2	6	f	49.1	33.9	15.2	2.8	0.0
III	30 min	3	6	f	44.5	39.1	5.4	2.3	1.9
IV	2 hr	4	6	f	35.9	31.4	4.5	1.9	1.8
V	5 hr	3	6	f	35.9	37.2	—1.3	2.3	56.9
VI	18 hr	3	6	f	40.9	42.8	—1.9	2.3	40.7

* En cada experimento se usaron 20 ratones: 10 irradiados y 10 testigos (ocasionalmente falló la observación de algún ratón).

** Nota sobre el análisis estadístico de los valores: No hubo evidencia de heterogeneidad de variancia de un grupo de animales a otro del mismo sexo. Los machos variaron más que las hembras. Dentro de algunas series de los experimentos no hubo evidencia de interacción.

Figura 3. Tabla de datos incluida en el trabajo de 1954, reproducida en Cornejo (2015a)

En el eje vertical de la Figura 4 se representa la disminución en el tiempo de vida de los ratones cuando se aplicaba radiación + oxígeno, frente a la supervivencia si sólo se aplicaba oxígeno. En el eje horizontal se grafica el tiempo transcurrido entre las aplicaciones de la radiación y del oxígeno. Queda claro que cuanto menor era el intervalo de tiempo entre una y otra aplicación, mayor era la reducción en la supervivencia de los ratones, es decir, el efecto se volvía más significativo.

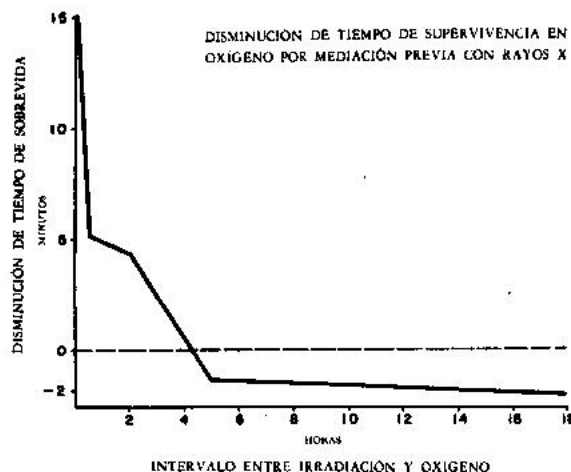


FIG. 1. — Las ordenadas son diferencias en tiempo (minutos) de supervivencia entre los ratones, expuestos a los rayos X más oxígeno y los ratones expuestos al oxígeno solo. Las abscisas son los intervalos entre el fin de la irradiación y la exposición al oxígeno. El intervalo más corto es de 2 minutos. Los animales quedaron en alta tensión de oxígeno hasta la muerte, y los tiempos de supervivencia se midieron desde el momento que se alcanzaron las 6 atmósferas hasta el momento de la muerte. El acortamiento máximo causado por la irradiación previa fue de 31 por ciento. Los datos de las series II - VI figuran en la tabla 2.

Figura 4. Gráfico incluido en el trabajo de 1954, reproducido en Cornejo (2015a)

Comprender e interpretar los experimentos no fue tarea sencilla. Por ejemplo, Gerschman observó que, si la aplicación de oxígeno se producía cinco o más horas después de la irradiación, los ratones no experimentaban ningún incremento en sus procesos patológicos. Esto fue motivo de confusión, pero más tarde se demostró que era consecuencia de que los ratones se encontraban en un estado de anorexia e inanición tal que era muy poco lo que el oxígeno podía agregarles a nivel patológico (Cornejo, 2015a). Otra observación importante fue que, si los ratones recibían antioxidantes, su resistencia a la acción combinada de oxígeno y radiación se incrementaba.

La Dra. Gerschman formuló entonces su hipótesis: el oxígeno y las radiaciones ionizantes interactúan con los sistemas biológicos a través del mismo mecanismo, consistente en la formación de especies reactivas del oxígeno, y la subsecuente generación de procesos oxidativos (Cornejo, 2015 a y b). En sus propias palabras:

Cuando la radiación X y el oxígeno se aplican simultáneamente o con un intervalo de 2 minutos, se observa una neta disminución del tiempo de supervivencia en el oxígeno. El efecto es aún significativo, aunque más pequeño, cuando se aplica el oxígeno 30 minutos a 2 horas después de la irradiación, y falta completamente o es ligeramente negativo después de un intervalo de 5 horas. De los referidos experimentos y de las consideraciones presentadas, parecería que la irradiación y la intoxicación por el oxígeno producen algunos de sus efectos letales por lo menos mediante un mecanismo

común, probablemente la formación de radicales libres oxidantes (Gerschman et al, 1954b, p. 350).

Quedó así conformada la “Teoría de Gerschman”, que podemos resumir en los siguientes postulados básicos (Cornejo, 2015 a y b):

- a. La formación de radicales libres del oxígeno constituye un mecanismo molecular común de daño cuando los animales son sometidos a altas presiones de oxígeno y/o a la radiación ionizante. Si un ser vivo es sometido a radiación ionizante, la presencia de abundantes cantidades de oxígeno en los tejidos favorecerá la formación de radicales libres y, por lo tanto, la producción de efectos degenerativos radioinducidos. Por lo tanto, el oxígeno es el radiosensibilizante universal.
- b. La toxicidad del oxígeno es un fenómeno continuo. Según Gerschman, que aquí discrepa con Michaelis⁵, no todos los procesos oxidativos requieren la formación de radicales libres intermediarios, pero existe evidencia de que tales compuestos efectivamente se forman durante las oxidaciones que tienen lugar en el metabolismo normal.
- c. Un aumento en la presión parcial de oxígeno o una disminución de la defensa antioxidante llevan igualmente al daño molecular y tisular.

La idea, entonces, implica considerar que aquellos agentes que generan un exceso de radicales libres, como el oxígeno o la radiación, son fuente de patologías y daños orgánicos como consecuencia de la generación de rupturas en el equilibrio oxidantes-antioxidantes.

5. Después de 1954

El trabajo de la Dra. Rebeca Gerschman no terminó en 1954, si bien continuó centrado en la misma idea fundamental. Por ejemplo, conociendo que las radiaciones ionizantes producen efectos genéticos, y a partir de las mutaciones inducidas por la radiación en la bacteria *Esterichia coli*, Gerschman postuló que, a partir de la analogía entre radiación y oxígeno, las concentraciones elevadas de este último debían producir mutaciones similares. Fenn, Gerschman *et al* (1957) demostraron la existencia efectiva de tales mutaciones, resultado del daño cromosómico producido por el incremento en el número de radicales libres. Las investigaciones sobre la acción de las especies reactivas del oxígeno en bacterias como *Esterichia* y *Salmonella* continúan, a través del trabajo de distintos científicos, en el presente siglo (Pryor, 2006).

En la misma línea de investigación la Dra. Gerschman estudió la acción de ambientes saturados de oxígeno sobre la capacidad de las células de levadura para formar colonias, comparando dicha acción con la correspondiente a los rayos X y la radiación ultravioleta (Stuart *et al*, 1962; Gerschman *et al*, 1958a).

Gerschman también realizó estudios *in vitro* acerca de la acción del oxígeno sobre el ADN, demostrando los cambios que se producen en la viscosidad del mismo. En 1958, con experimentos en ratones, corroboró *in vivo* sus previas observaciones.

⁵ Recordar que Michaelis afirmaba que todos los procesos oxidativos ocurren mediados por la formación de radicales libres.

Otras investigaciones de la Dra. Gerschman, posteriores a 1954, implicaron el estudio de la acción de las elevadas presiones del oxígeno sobre el protozoo *Paramecium caudatus* (Gerschman *et al*, 1958a). Primero, Gerschman verificó que, en una atmósfera de oxígeno puro, los *Paramecium* son destruidos aproximadamente en dos horas. Y luego, junto con sus colaboradores, filmó una película en la que se mostraba paso a paso el efecto del oxígeno sobre el *Paramecium*. En la misma, una vez más, se advertía la semejanza entre la acción deletérea del oxígeno y la de la radiación ionizante.

Hacia la misma época Rebeca Gerschman también condujo investigaciones con plantas, en colaboración con S.M. Siegel, del Instituto de Investigaciones de la Union Carbide. Aquí podemos detectar nuevamente la influencia de Paul Bert, pues este investigador estaba interesado en lograr un modelo abarcativo de la interacción del oxígeno con los animales superiores, con las plantas y con los microorganismos, es decir, con el conjunto completo de los seres vivos.

En 1959, Siegel y Gerschman publicaron un trabajo conjunto sobre el tema. En la introducción del mismo afirman que, si bien se habían realizado numerosas investigaciones sobre el rol del oxígeno en el crecimiento de las plantas, no podía decirse lo mismo sobre la cuestión de la toxicidad de este elemento. Estudiaron entonces la acción de presiones elevadas de oxígeno sobre plantas vasculares y exploraron si las sustancias con efectos radioprotectores para los animales podrían también ser aplicables a los vegetales.

Trabajando sobre 22 especies diferentes, Siegel y Gerschman demostraron la existencia de efectos tóxicos de considerable magnitud generados por el exceso de oxígeno en las plantas. Estos efectos incluían decoloración, desecación, pérdida de hojas y eventualmente la muerte definitiva de la planta. Comprobaron además que los antioxidantes y radioprotectores son efectivos para controlar, o al menos moderar, tales efectos.

Por otra parte, Campbell (1938) había estudiado el rol jugado por la temperatura corporal sobre la toxicidad del oxígeno en especies animales. Así como Gerschman había demostrado la analogía entre la acción del oxígeno y la de los rayos X, en el trabajo sobre plantas Siegel y Gerschman comprobaron que la misma analogía puede extenderse cuando los vegetales son sometidos a un shock térmico, es decir, a un importante incremento de temperatura. Ello los condujo a la conclusión, que explícitamente declararon provisoria, que existe un patrón biológico común de acción para muchos fenómenos de naturaleza patogénica que en apariencia resultan diferentes.

La acción de los radicales libres y otros compuestos oxidantes sobre los vegetales es un tema de amplia investigación en la actualidad (del Río, 2015).

6. La superóxido dismutasa

La superóxido dismutasa (SOD) es una enzima intracelular antioxidante cuya función biológica es proteger a las células de las agresiones producidas por las ERO generadas en los procesos de respiración celular. Fue descubierta en 1969 por Joe McCord e Irwin Fridovich. Se trata, por lo tanto, de un antioxidante que se genera naturalmente en los tejidos de los mamíferos, y cuya función orgánica convalida fuertemente las ideas de Rebeca Gerschman, dado que la existencia de la SOD implica el

reconocimiento inmediato de la existencia fisiológica de un radical libre, en particular, del anión superóxido (O_2^-), en la medida en que éste funciona como el sustrato de dicha enzima (O'Lery, 2012). En palabras de García Triana *et al* (1994, p. s/n):

La participación activa de las superóxido dismutasas en su papel protagónico de primer nivel para eliminar la acción nociva del radical superóxido cobra particular interés en la misma medida que se ha demostrado la activa participación de las formas radicálicas en un número cada día creciente de enfermedades de gran interés médico-social.

Pryor *et al* (2006) consideran que el hallazgo del rol biológico de la SOD fue realmente de naturaleza revolucionaria y, si bien al principio también fue recibido con cierto escepticismo, finalmente se impuso en el ideario de la comunidad científica biomédica y fue, además, el primer hallazgo de muchos otros que siguieron, relativos a la existencia y a la función de los antioxidantes en el cuerpo humano. La función de éste y otros catalizadores biológicos es, justamente, transformar las ERO en moléculas menos peligrosas o reparar los daños que éstas ya hayan producido. En 1978, McCord y Fridovich publicaron una revisión definitiva del rol de la superóxido dismutasa en los procesos inflamatorios y en la reparación de las lesiones celulares, en perfecta sintonía con la Teoría de Gerschman.

De hecho, el propio Fridovich (1975; citado por Gilbert, 2012, p. 23 y 24), refiriéndose al trabajo de Gerschman de 1954, afirmó que:

La similitud entre la letalidad de oxígeno y la radiación ionizante llevó, en 1954, a la teoría de que la reactividad de los “indisciplinados” radicales libres es la causa de la toxicidad del oxígeno. Esta era una teoría clarividente, considerando la escasez de información relativa a la creación y eliminación de determinados radicales libres en los sistemas biológicos, disponible en ese momento. Los acontecimientos de los últimos años han proporcionado una sólida base para una discusión razonable de los fundamentos de la toxicidad del oxígeno.

Actualmente los postulados de Gerschman se mantienen vigentes y constituyen la base para múltiples investigaciones. La medicina moderna ha asignado un papel preponderante al estrés oxidativo y a las formas reactivas del oxígeno en múltiples procesos fisiopatogénicos, tales como cáncer, envejecimiento, diabetes, aterosclerosis, trastornos cerebrovasculares, inflamatorios y otros. La terminología, en algunos aspectos, ha cambiado; por ejemplo, el término “estrés oxidativo” tiende a ser reemplazado por “señalización oxidativa” (del Río, 2015). Ello, sin embargo, no disminuye su importancia: la toxicidad de los reactivos del oxígeno se ha vuelto un tema trascendente incluso para el trasplante de órganos, particularmente para el trasplante de riñón (Saldaña Bernabeu *et al*, 1999).

7. Cuestiones epistemológicas

Algunos aspectos epistemológicos de las ideas de Gerschman han sido analizados por O'Lery (2016, 2013 y 2012), con el objetivo de realizar una reconstrucción de la teoría desde el punto de vista estructuralista y de analizar su carácter articulador de un nuevo

paradigma dentro de las perspectivas de Kuhn. En el presente trabajo nos interesa analizar algunas cuestiones epistemológicas que pueden haber generado el rechazo que inicialmente experimentó la teoría.

Para ello, volvamos a 1954. Es interesante contrastar los comentarios de los evaluadores del trabajo de Gerschman con la posterior recepción del mismo en la comunidad científica. De hecho, Rebeca Gerschman se emocionó profundamente cuando abrió el sobre que contenía la evaluación del manuscrito que ella y sus colaboradores habían remitido a la revista *Science*. Textualmente, decía: “Nos hemos elevado a un plano superior de observación en el cual la similitud entre los dos efectos resulta establecida, primero por citas en la literatura, en segundo lugar por la presentación de nuevos datos que muestran los efectos acumulativos” (Gilbert, 2012, p. 23). En adición a esto, en una carta fechada el 28 de enero de 1954, el editor de *Science* le decía que: “Estoy muy contento de afirmar que el paper de Gerschman et al no sólo será aceptado para su publicación en *Science*, sino que también será programado como un artículo relevante” (esta cita y la precedente se encuentran en Gilbert, 2012, p. 23).

La reacción de la comunidad científica, sin embargo, fue muy distinta. Las primeras observaciones de Gerschman, lejos de ser aceptadas, suscitaban en sus colegas críticas y posturas que cubrían una amplia gama, desde la indiferencia hasta el rechazo. Según Gutteridge y Halliwell (2000), autores de un trabajo sobre la historia de los radicales libres, estos conceptos no generaron interés en muchos científicos. Como un ejemplo concreto de la reacción suscitada por la publicación inicial de la Teoría de Gerschman citemos un trabajo de 1963, realizado por investigadores del National Naval Medical Centre, quienes afirman que la formación de peróxido de hidrógeno a partir de radicales libres debe ser tomada con cierto escepticismo. Seguidamente mencionan datos experimentales que, si bien no son totalmente opuestos a las ideas de Gerschman, al menos contribuyen a ponerlas en duda (Thomas *et al*, 1963).

¿Cuáles fueron las causas de este rechazo? En primer lugar, digamos que los experimentos llevados a cabo por la Dra. Gerschman no fueron concluyentes, sino que se encontraban en un segundo lugar respecto de su revisión bibliográfica, tal como se advierte en la nota del evaluador mencionada previamente. El mismo Dr. Fenn afirmó que la interpretación de los experimentos probablemente no fuera directa. Fenn aducía que la acción de la radiación sobre un ser vivo es un proceso muy complejo, poco específico, y que los ratones podían morir como consecuencia de efectos radioinducidos que no tenían relación con el oxígeno. En su opinión, las pruebas acerca de la relación entre el oxígeno y la radiación eran sólo indirectas, y resultaba necesario repetir los experimentos bajo diferentes condiciones, modificando algunas de las variables y parámetros en juego. Sin embargo Fenn aclaró que, si bien no podía considerar que la tesis de Gerschman estuviera demostrada, sentía que las futuras investigaciones no conducirían a rechazarla (Fenn, 1962).

De hecho, en 1966, doce años después de la publicación del artículo de 1954, Fenn y dos de sus colaboradores publicaron un trabajo en el que contrastaron favorablemente las ideas de Gerschman, sometiendo simultáneamente a radiación X y altas concentraciones de oxígeno a la mosca de la fruta (*Drosophila*). En la introducción del artículo Fenn dice que la similitud entre radiación y oxígeno era conocida desde hacía

tiempo, pero que nunca había sido enfatizada como en la teoría de los radicales libres de Gerschman (Thomas *et al*, 1966).

Por otra parte, en el trabajo experimental de Rebeca Gerschman pueden notarse algunas deficiencias metodológicas, a saber:

- a. Como dijimos, Gerschman conoció que las radiaciones producen alteraciones patológicas en los tejidos mediante la formación de radicales libres a través del trabajo de Ozorio de Almeida (1934), realizado en las primeras épocas de la investigación sobre radiación. Es cierto que Gerschman posteriormente profundizó en la literatura sobre radiobiología disponible en su época, pero nunca realizó experimentos sistemáticos propios referidos exclusivamente a la acción de las radiaciones ionizantes a nivel celular y tisular.
- b. En sus experimentos, la Dra. Gerschman fue tomando nota del tiempo que tardaban los ratones en morir para diferentes valores de la presión de oxígeno. Pero *siempre mantuvo fijo el valor de la dosis de radiación*, lo que podría ser su aspecto metodológico más criticable. Si se tienen dos variables, A y B, es lógico modificar primero A, dejando B constante, y luego variar B dejando fijo A. Aquí entendemos por qué el Dr. Fenn sugería repetir los experimentos modificando las condiciones (Cornejo, 2015 a y b).

De todas formas, la propia Dra. Gerschman había afirmado en el artículo de 1954 que sus experimentos proporcionaban “ciertas pruebas” que apoyaban sus hipótesis, sin pretender ninguna clase de confirmación definitiva.

Ahora bien, además de las deficiencias metodológicas del trabajo de Gerschman, se han presentado otras alternativas para explicar el rechazo experimentado inicialmente por su teoría. Por ejemplo, según Daniel L. Gilbert, co-autor del trabajo de 1954, parte de aquel inicial rechazo se debió a la falta de conocimientos básicos en la comunidad científica para comprender los novedosos planteos de Gerschman (Gilbert, 1996). Freeman (2000, p. 478) expone una idea similar, refiriendo el escepticismo con que la teoría fue recibida simultáneamente por biólogos y químicos:

Estos investigadores recibieron una resonante crítica por esta hipótesis porque la mayoría de los biólogos no estaban muy familiarizados con el dominio especializado de la química de la radiación. En una expresión armónica de escepticismo, la mayoría de los químicos consideraban que los radicales libres eran demasiado reactivos y de corta duración para tener algún impacto biológico.

El Dr. Alberto Boveris, ex-decano de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad de Buenos Aires, atribuyó el rechazo a una característica epistemológica específica de las ciencias biomédicas, consistente en el cuestionamiento de las investigaciones de tipo teórico, o de las hipótesis de trabajo carentes de una base experimental rigurosamente sólida, y la exclusiva aceptación de las hipótesis obtenidas *a posteriori* de un gran número de experimentos. Por supuesto que el trabajo de la Dra. Gerschman tenía apoyo experimental, propio y a partir del trabajo de otros autores, pero

el hecho es que sus hipótesis fueron planteadas a priori de los experimentos efectuados por ella misma en la Universidad de Rochester (Cornejo, 2015a).

El Dr. Boveris también mencionó cierta reticencia de los gobiernos a informar sobre los experimentos que involucren el empleo de radiaciones ionizantes. No estamos en condiciones de abrir juicio sobre estas expresiones del Dr. Boveris; las mencionamos sólo para mostrar la diversidad de opiniones existentes sobre el tema.

También debemos tener en cuenta que los experimentos conducidos por algunos investigadores daban resultados confusos, que coincidían sólo en parte con lo propuesto por Rebeca Gerschman. Investigadores de la Universidad de Cornell, por ejemplo, trabajando con el parásito *Mormoniella*, encontraban que la similitud radiación-oxígeno se cumplía en las etapas larvianas del animal, pero que la respuesta de los adultos a estos dos factores era muy diferente, dado que se volvían más resistentes a la radiación pero más sensibles al oxígeno (Boveris, 1996).

O'Lery (2016), partiendo de la caracterización kuhniana de los descubrimientos científicos y los cambios paradigmáticos, postula que los hallazgos de Gerschman formaban parte de un proceso de cambio revolucionario de paradigma, iniciado con los descubrimientos experimentales de Gomberg y consolidado progresivamente con los trabajos de Michaelis y de Gerschman, entre otros. Afirma que, de acuerdo con Kuhn (2010), es la investigación que sigue a un paradigma la que permite inducir los cambios paradigmáticos. Según esta postura, el descubrimiento del primer radical libre por Gomberg sería una novedad empírica que implicó la toma de consciencia de una anomalía, mientras que la Teoría de Gerschman formaría parte del proceso de asimilación y consolidación de un desarrollo teórico nuevo necesario para la consolidación del paradigma novedoso. Este proceso habría durado más de medio siglo (O'Lery, 2012). El inicial rechazo de la teoría sería, entonces, una expresión de la resistencia al cambio de paradigma. En forma relativamente similar se expresa del Río (2015) para quien fue el carácter revolucionario de la teoría lo que motivó su inicial rechazo.

Otro punto a tomar en consideración es la cuestión de la heterodoxia. Al respecto, el 24 de octubre de 2001, en la sesión pública de la Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires, el Académico Correspondiente Dr. Meny Bergel pronunció una conferencia sobre "Ciencia y periodismo científico". Durante la misma, entre otras cuestiones, el Dr. Bergel abordó el problema de la relación entre periodismo y ciencia heterodoxa.

En su opinión, la heterodoxia recibe un trato discriminatorio por parte de los medios y los periodistas. Afirma que el científico heterodoxo no goza del apoyo de la sociedad ni de los medios de comunicación, por lo que ve disminuidas las posibilidades de que su obra trascienda a la sociedad. Según el Dr. Bergel, el científico heterodoxo es autor de teorías o concepciones de alto nivel, de difícil comprensión por su propia naturaleza heterodoxa, y se le rechaza porque, en general, no es comprendido.

Lo más interesante para nosotros es lo que Bergel refiere a continuación:

Tal vez lo referido explique por qué temas heterodoxos en nuestro país, jamás, nunca jamás, fueron abordados, aún superficialmente, por el periodismo científico. Tales la teoría heterodoxa sobre la etiopatogenia del SIDA, del eminente virólogo Peter Duesberg, de Estados Unidos; la teoría

metabólica de la lepra, del leprólogo Meny Bergel, creada hace medio siglo; *la teoría de la acción continua del oxígeno como injuria en los seres vivos, formulada a mediados del siglo pasado por la eminente bióloga Rebeca Gerschman* y tantas otras. En todos estos casos, los periodistas científicos se mantuvieron ajenos a estas revolucionarias concepciones. (p. 482; El resaltado es nuestro).

Hacemos notar el hecho que Bergel se considera a sí mismo un científico heterodoxo, lo que sesga su postura, y el error de referirse a Rebeca Gerschman como “bióloga”. Pero más allá de eso, vale la pena efectuar alguna referencia hacia las opiniones vertidas por el Dr. Bergel.

Según Cornejo (2015a) es discutible calificar a la Dra. Gerschman de “heterodoxa”, por lo menos en sentido radical. Fue una científica que trabajó en el marco de las formas y procedimientos ortodoxos y aceptados por la comunidad científica, pero cuyas intuiciones efectivamente trascendieron dicha ortodoxia. Quizás lo correcto sería ubicarla “en el borde de la ortodoxia”. Y esto en la época en que desarrolló su labor científica, puesto que en la actualidad lo básico de sus concepciones ha ingresado al marco estrictamente ortodoxo de la investigación biomédica.

Pero es cierto que, durante mucho tiempo, el periodismo científico pasó casi totalmente por alto el relato de su trabajo y de sus logros.

Nos encontramos, entonces, con una variedad de opiniones para explicar el rechazo experimentado inicialmente por la Teoría de Gerschman: falta de apoyo experimental sólido, errores metodológicos en sus experimentos, contradicción con otras investigaciones de la época, carácter anticipatorio, planteamiento de hipótesis *a priori*, resistencia estatal a informar sobre efectos de las radiaciones en seres humanos, naturaleza de cambio paradigmático revolucionario, rechazo de la heterodoxia, entre otras. Desde nuestro punto de vista, lo más probable es que el rechazo haya sido el resultado de una conjunción de todas estas causas. A partir de esto, un futuro tema de investigaciones epistemológicas podría consistir en analizar si, dado un hallazgo revolucionario que propone un cambio de paradigma, el habitual rechazo experimentado inicialmente por el mismo se expresaría de distinta forma en los diferentes actores de la comunidad científica que hubiesen de manifestar su juicio sobre dicho cambio. En otras palabras, habría una casi unanimidad en el rechazo, pero una amplia variedad de opiniones para justificarlo.

Esta propuesta implicaría la posibilidad de que, en primer lugar, las diferencias en las críticas fueran consecuencia de que las diversas corrientes disciplinares presentan tradiciones con estilos y prácticas diferentes. El énfasis en lo experimental puede variar desde una disciplina científica a otra. Una tradición de investigación puede rechazar la formulación de hipótesis *a priori* de los experimentos, otra puede aceptarla para después someterlos a contrastación. En tal sentido, la forma de proceder de un investigador biomédico, por ejemplo, es muy diferente a la forma en que la física recibió la relatividad generalizada de Einstein. La obra de Gerschman fue evaluada por científicos de variadas formaciones: bioquímicos, biólogos y biomédicos, entre otros. Según esta línea de análisis, la expresión “actores de la comunidad científica” se revelaría como una categoría no claramente definida, tendiente a homogeneizar las prácticas científicas y hacer una unidad de algo cuya nota distintiva es la heterogeneidad. Y tal heterogeneidad se haría

evidente en la forma de evaluar una teoría novedosa que afectó simultáneamente a distintas disciplinas y, por lo tanto, a distintas tradiciones de investigación científica.

Además, las diversas formas de comunicación de la ciencia (publicaciones arbitradas por pares, periodismo científico) evalúan de manera diferente los hallazgos científicos. El periodismo científico puede considerarse poco interesante para el público no especializado una publicación incluida en una revista prestigiosa. Heterogeneidad en la comunidad científica y heterogeneidad en la comunicación de la ciencia, quizás la conjunción de ambas pueda explicar las diferencias en el rechazo experimentado por la Teoría de Gerschman.

8. Conclusiones

El hilo conductor en la obra de la Dra. Gerschman fue la noción de equilibrio orgánico y las patologías que surgen como resultado de la perturbación del mismo (Cornejo, 2015a y b). Si puede considerarse cierto que detrás de la obra de todo científico se encuentra un principio subyacente que la fundamenta, unifica y dota de significado, el equilibrio biológico, en múltiples y variadas facetas, fue el principio básico en el ideario de la Dra. Gerschman. Su obra consistió en *pensar el equilibrio*, y los agentes que lo perturban. Entre tales agentes los que absorbieron todo su trabajo fueron los radicales libres, y el equilibrio en cuestión el correspondiente a oxidantes y antioxidantes (Cornejo, 2015 a y b).

Hacia la década de 1950 este era un campo aún poco explorado; en la actualidad, los estudios experimentales sobre radicales libres se han multiplicado con el objetivo básico de establecer la magnitud de la participación de estos compuestos en la patogenia de las enfermedades que se les atribuyen (Acosta Valdés *et al*, 2006).

La propia Dra. Gerschman declaró que, después de analizar la bibliografía disponible en su época sobre la acción tóxica del oxígeno advirtió que las explicaciones dadas sobre dicha acción no resultaban convincentes, y ello la motivó a buscar un principio básico sencillo que pudiese explicarla adecuadamente y encontró dicho principio en la alteración del equilibrio (Gerschman, 1981).

Quizás el haber hallado una correspondencia entre la acción tóxica del oxígeno y de las radiaciones ionizantes no parezca un logro extraordinario. De hecho, otros investigadores se encontraban trabajando en líneas similares al mismo tiempo que Gerschman. Sin embargo, según Sohal (1987, p. 124): “(...) pero la visión de que el oxígeno es potencialmente tóxico en todas las concentraciones y que los efectos deletéreos se deben a la producción de radicales libres fue enunciada claramente por Gerschman”. Una opinión equivalente fue expresada por Acosta Valdés *et al* (2006). Es decir, lo novedoso de las hipótesis de Gerschman no era proponer la acción tóxica del oxígeno, que se estudiaba desde los tiempos de Paul Bert, sino que respondían a la pregunta sobre cuál era el mecanismo de dicha toxicidad (O’Lery, 2016). Y para Schmeck (1957, p. 21), en una nota en la revista oficial de la Universidad de Rochester:

El hecho de que dos agentes distintos produzcan prácticamente el mismo efecto en una forma de vida determinada es un conocimiento valioso para un científico investigador. Proporciona una oportunidad para la referencia cruzada y la comparación. Esto abre el camino para una comprensión más

completa de la acción básica por la cual ambos agentes logran sus efectos. Cuando se logra un entendimiento completo, los científicos están en condiciones de responder a esa pregunta siempre fundamental: ¿Qué se puede hacer para alterar estos efectos para el bien de la humanidad?

A pesar de su relevancia, la Teoría de Gerschman fue inicialmente rechazada. En el presente trabajo no hemos profundizado en las implicaciones de dicha teoría para la cuestión del envejecimiento, que ha sido analizada por O'Lery (2016, 2013 y 2012), ni en su empleo en el campo de la ecología (Brown *et al*, 2004). Nos hemos limitado a la cuestión específica del rol de los radicales libres en la biología humana y en cómo los mismos pueden servir como explicación para fenómenos en apariencia diferentes. Nos han interesado las distintas razones que fueron en su momento esgrimidas para justificar el rechazo; encontramos que no existió, en principio, una razón única, lo cual puede indicar que el rechazo a un cambio de paradigma encuentra expresiones diferentes en los distintos grupos y científicos individuales que se hacen eco de tal rechazo.

Nos gustaría cerrar este trabajo con una frase de Daniel Gilbert (2012, p. 24): "Rebeca Gerschman nunca recibió el reconocimiento que mereció ampliamente durante su vida".

9. Bibliografía

- Acosta Valdés, M.; Quintana Torres, J.; Macías Llanes, M. y Alonso Rodríguez, D. (2006). Retos tecnológicos para un diagnóstico actual por el laboratorio: estrés oxidativo en pediatría. *Humanidades Médicas*, 6 (3), 1-27.
- Álvarez Fontanet, E. (1994). Consecuencias del estrés oxidativo de la piel por radiaciones ultravioleta. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 14 (1), s/n. Disponible online en: http://www.bvs.sld.cu/revistas/ibi/vol14_1_95/ibi04195.htm. Acceso: 3 de marzo de 2017.
- Bergel, M. (2001). *Ciencia y periodismo científico*. Buenos Aires: Estudio Sigma.
- Bert, P. (1878). *La pression barometrique, recherches de physiologie experimental*. París, Francia: Masson.
- Boveris, A. (1996). Rebeca Gerschman: a brilliant woman scientist in the fifties. *Free Radical Biology and Medicine*, 21 (1), 5-6.
- Boveris, A. (2005). La evolución del concepto de radicales libres en biología y medicina. *Ars Pharmaceutica*, 46 (1), 85-95.
- Brown, J. ; Gillooly, J. ; Allen, A.; Savage, V. y West, G. (2004). Toward a Metabolic Theory of Ecology. *Ecology*, 85 (7), 1771-1789.
- Bushong, S. (2005). *Manual de radiología para técnicos – Física, biología y protección radiológica*. Madrid, España: Elsevier España.
- Campbell, J.A. (1938). Effects of oxygen pressure as influenced by external temperature, hormones and drugs. *Journal of Physiology*, 92, 29-31.
- Camps, D.; Ruffino, S.; Majul, E. y Joison, A. (2010). *Bioquímica del estrés oxidativo*, Buenos Aires: Lulu.

- Céspedes Miranda, E.; Rodríguez Capote, K.; Llopiz Janer, N. y Cruz Martí, N. (2000). Un acercamiento a la teoría de los radicales libres y el estrés oxidativo en el envejecimiento, *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 19(3), 186-90.
- Cisneros Prego, E. (1994). La glutatión reductasa y su importancia biomédica. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 14 (1), s/n. Disponible online en: http://www.bvs.sld.cu/revistas/ibi/vol14_1_95/ibi03195.htm. Acceso: 3 de marzo de 2017.
- Companioni Gásquez, M. (1994). Ácido araquidónico y radicales libres: su relación con el proceso inflamatorio. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 14 (1), s/n. Disponible online en: http://www.bvs.sld.cu/revistas/ibi/vol14_1_95/ibi02195.htm. Acceso: 3 de marzo de 2017.
- Cornejo, J. y Montiel, I. (2012). Gerschman, Houssay y la ciencia en Argentina. *Revista Res Gesta*, 48, 129-158.
- Cornejo, J. (2015a). *Rebeca Gerschman: ideas de una científica argentina*. Buenos Aires: Argentina: Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias.
- Cornejo, J. (2015b). La correspondencia entre William Fenn, Bernardo Houssay y Rebeca Gerschman. *Revista de Historia de la Medicina y Epistemología Médica*, VII (2), 1-9.
- Curtis, H. (2016). *Claude Bernard 1865*. Publicado online em <http://www.curtisbiologia.com/a1865>. Acceso: 2 de marzo de 2017.
- del Río, L. (2015). ROS and RNS in plant physiology: an overview. *Journal of Experimental Botany*, 66(10), 2827-2837.
- Diez Gómez, N.; Macías Betancourt, R. y Pedroso Ibáñez, I. (2001). El factor de activación plaquetaria y su relación con el daño oxidativo. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 20 (1), 64-69.
- Fenn, W.; Gerschman, R.; Gilbert, D.; Terwilliger, D. y Cothran, F. (1957). Mutagenic effects of high oxygen tensions on *Esterichia coli*. *Proceedings of National Academy of Sciences*, 43 (12), 1027-1032.
- Fenn, W. (1962). Physiological Effects of High Pressures of Nitrogen and Oxygen. *Circulation*, 26, 1134-1143.
- Forman, H.; Davies, K. y Ursini, F. (2014). How Do Nutritional Antioxidants Really Work: Nucleophilic Tone and Para-Hormesis Versus Free Radical Scavenging *in vivo*. *Free Radicals in Biology and Medicine*, 66, 24-35.
- Freeman, B. (2000). Oxygen: The Air-Borne Nutrient That Both Sustains and Threatens Life. *Nutrition*, 16 (7-8), 478-481.
- Fürst, P (1996). The role of antioxidants in nutritional support. *Proceedings of the Nutrition Society*, 55, 945-961.
- García Triana, B.; García Morales, O.; Clapes Hernández, S.; Rodes Fernández, L. y García Piñeiro, J. (1994). Enzimas que participan como barreras fisiológicas para eliminar los radicales libres: I. Superóxido dismutasas. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 14 (1), s/n. Disponible online en:

- http://www.bvs.sld.cu/revistas/ibi/vol14_1_95/ibi03195.htm. Acceso: 3 de marzo de 2017.
- Gerschman, R. y Fenn, W. (1952). Ascorbic acid content of adrenal in oxygen poisoning, *American Journal of Physiology*, 171, 26.
- Gerschman, R. y Fenn, W. (1953). Ascorbic acid content of adrenal glands of rat in oxygen poisoning. *American Journal of Physiology*, 176, 6-8.
- Gerschman, R.; Gilbert, D.; Nye, S.; Dwyer, P. y Fenn, W. (1954). Oxygen poisoning and X-irradiation: a mechanism in common. *Science*, 119 (3097), 623-626.
- Gerschman, R.; Gilbert, D.; Nye, S.; Dwyer, P. y Fenn, W. (1954). La intoxicación por el oxígeno y por los rayos X: Un mecanismo en común. *Ciencia e Investigación*, Tomo 19, 346-350.
- Gerschman, R.; Gilbert, D. y Frost, J. (1958a). Sensitivity of *Paramecium caudatus* to high oxygen tensions and its modification by cobalt and manganese ions. *American Journal of Physiology*, 192, 572-575.
- Gerschman, R.; Gilbert, D. y Caccamise, W. (1958b). Effect of various substances on survival time of mice exposed to different high oxygen tensions, *American Journal of Physiology*, 192, 563-565.
- Gerschman, R. (1964). Biological effects of oxygen. En F. Dickens. y E. Neil (eds.), *Oxygen in the animal organism*, Londres: Pergamon Press, 475-494.
- Gerschman, R. (1981). Historical Introduction to the “Free Radical Theory” of Oxygen Toxicity. En D. L. Gilbert (ed.), *Oxygen and Living Processes: a Interdisciplinary Approach*, New York, USA: Springer-Verlag, 44-46.
- Gilbert, D.L. (1996). Rebeca Gerschman: a personal remembrance, *Free Radical Biology & Medicine*, 21(1), 1-4.
- Gilbert, D. L. (2012). Perspective on the History of Oxygen and Life. En D.L. Gilbert y C. Colton (eds.), *Oxygen and Living Processes: a Interdisciplinary Approach*, New York, USA: Springer-Verlag, 1-43.
- Gomberg, M. (1900). An instance of trivalent carbon: triphenylmethyl. *Journal of the American Chemical Society*, 22 (11), 757-771.
- Gutteridge, J. y Halliwell, B. (2000). Free Radicals and Antioxidants in the Year 2000 – A Historical Look to the Future, *Annals New York Academy of Sciences*, 899, 136-147.
- Hermes Lima, M. (2004), Oxygen in Biology and Biochemistry: Role of Free Radicals. En K. Storey (Ed.), *Functional Metabolism – Regulation and Adaptation*, New York, Estados Unidos: K.B. Storey.
- Kuhn, T.S. ([1962] 2010). *La estructura de las revoluciones científicas*, México: Fondo de Cultura Económica.
- McCord, J. y Fridovich, I. (1978). The Biology and Pathology of Oxygen Radicals. *Annals of Internal Medicine*, 89, 122-127.
- Michaelis L (1939). Free radicals as intermediate steps of oxidation-reduction. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 7, 33–49.

- Michaelis, L. (1951). Theory of Oxidation-Reduction. En J. B. Sumner y K. Myrback, (eds.), *The Enzymes, Vol. 2, Part 1*, New York: Academic Press, 1-54
- O'Lery, M. (2012). Análisis estructuralista de la teoría de radicales libres y su vínculo con la bioquímica de óxido-reducción. *Ágora – Papeles de Filosofía*, 31(2), 251-270.
- O'Lery, M. (2013). *Reconstrucción estructuralista de la Teoría del envejecimiento por radicales libres*. Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Quilmes, Bernal, Argentina. Disponible en: <http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/118>. Acceso: 12 de febrero de 2017.
- O'Lery, M. (2016). La controversia Harman-Gerschman y la invisibilidad de las revoluciones científicas. En P. Lorenzano, C. Abreu, J. Ahumada, L. Federico, S. Ginnobili, M. O'lerly, y E. Salvático (eds.), *Filosofía e Historia de la Ciencia del Cono Sud- Selección de trabajos del VIII Encuentro realizado en Santiago de Chile en 2012*, Quilmes: AFHIC, 123 – 130.
- Ozorio de Almeida, A. (1934). Recherches sur l'action toxique des hautes pressions d'oxygène. *Comptes Rendus des Seances et Mémoires de la Société de Biologie*, 115, 1225-1227.
- Pryor, W. (1968). Organic free radicals. *Chemical and Engineering News*, 46, 70–89.
- Pryor, W. (1976). The role of free radical reactions in biological systems. En W. Pryor (ed.), *Free Radicals in Biology Vol I*, New York, USA: Academic, 1–50.
- Pryor, W.; Houk, K.; Foote, C.; Fukuto, J.; Ignarro, L.; Squadrito, G. y Davies, K. (2006). Free radical biology and medicine: it's a gas, man! *American Journal of Physiology Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 291, 491-511.
- Saldaña Bernabeu, A.; García Triana, B.; Casanova, A. y García Piñeiro, J. (1999). El estrés oxidativo en la fisiopatología del trasplante renal. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 18(3), 225-230.
- Schmeck, H. (1957). "Rapture of the Deep" – Poses a Puzzle for Physiologists. *Rochester Reviews*, Rochester: River Campus Libraries.
- Siegel, S. y Gerschman, R. (1959). A Study of the Toxic Effects of Elevated Oxygen Tension on Plants. *Physiologia Plantarum*, 12, 314-323.
- Sies, H. (1985). Oxidative stress: introductory remarks. En H. Sies, (ed.), *Oxidative Stress*. San Diego, USA: Academic Press, 1–7.
- Sohal, R. (1987). The free radical theory of aging: A critique. En M. Rothstein (ed.), *Review of Biological Research in Aging*. New York, USA: Alan R. Liss, 385–415.
- Stein, G. y J. Weiss (1948). Chemical effects of ionizing radiations. *Nature*, 161(4095), 650.
- Stuart, B.; Gerschman, R. y Stannard, J. (1962). Effect of High Oxygen Tension on Potassium Retentivity and Colony Formation of Bakers' Yeast. *The Journal of General Physiology*, 45 (6), 1019-1030.
- Thomas, J.; Baxter, R. y Fenn, W. (1966). Interaction of Oxygen at High Pressure and Radiation in *Drosophila*. *Journal of General Physiology*, 49 (3), 537-549.
- Waters, W.A. (1946). *The chemistry of free radicals*. Oxford, Inglaterra: Clarendon Press.

Thomas, J.; Neptune, E. y Sudduth, H. (1963). Toxic Effects of Oxygen at High Pressure on the Metabolism of d-Glucose by Dispersions of Rat Brain. *Biochemical Journal*, 88 (31), 31-44.

Del problema de las “otras mentes” a la cognición social: una defensa de la epistemología naturalizada

Carolina Scottó¹

Recibido: 25 de marzo de 2017

Aceptado 25 de mayo de 2017

Resumen. A casi 50 años de la propuesta de Quine (1969) de naturalizar la epistemología, vale la pena evaluar en qué sentido se considera actualmente un programa viable. En su variante “modesta”, significa practicar la filosofía, incluida la epistemología, de una manera consistente con los métodos y resultados de la investigación científica, bajo un supuesto general de continuidad ontológica y de compatibilidad e incluso de complementariedad epistemológica entre ciencias y filosofía. En este trabajo exploraré las virtudes epistémicas de esta variante de epistemología naturalizada. Con este objetivo, emplearé una metodología naturalista examinando al modo de un estudio empírico de casos la historia de los debates sobre del problema filosófico clásico acerca de las “otras mentes” hasta los enfoques actuales acerca de la así llamada cognición social. Estos debates han sido objeto de un intenso interés teórico por parte de los psicólogos del desarrollo, los etólogos cognitivos y los filósofos naturalistas de la mente, en las últimas décadas. Los diversos efectos teóricos positivos ejemplificados por la evolución del problema a partir de la interacción entre las tres disciplinas mencionadas, constituyen un interesante caso favorable para esta variante de epistemología naturalizada.

Palabras clave: otras mentes – teoría de la mente – cognición social – epistemología naturalizada.

Title: From “other minds” problem to social cognition: a defense of naturalized epistemology

Abstract. Almost fifty years after Quine’s (1969) proposal of naturalizing epistemology (1969), it is worth evaluating on which sense it is currently considered a viable program. On its “modest” version, that it means doing philosophy, epistemology included, consistently with the methods and results of scientific research, under a general assumption about ontological continuity and epistemological compatibility or even complementarity between sciences and philosophy. In this paper I will explore the epistemic virtues of this variety of naturalized epistemology. For this purpose, I will employ a naturalistic methodology, by examining in the manner of an empirical case study, the history of the debates on the classical philosophical problem of “other minds” to the current approaches about the so-called social cognition. These debates had been the subject of an intense theoretical interest by developmental psychologists, cognitive

¹ Instituto de Humanidades - (CONICET-UNC)

Una versión preliminar de este trabajo fue expuesta en las "XIII Jornadas de Comunicación de Investigación en Filosofía", en la mesa redonda "Epistemología naturalizada: discusiones actuales", realizadas entre el 13 y el 15 de octubre de 2016, en la Universidad Nacional del Litoral.

✉ carolinascott@gmail.com

Scottó, Carolina, (2017). Del problema de las “otras mentes” a la cognición social: una defensa de la epistemología naturalizada. *Epistemología e Historia de la Ciencia*, 2(1), 43-66. ISSN: 2525-1198



ethologists and naturalistic philosophers of mind, on last decades. The several positive theoretical effects exemplified by the evolution of the problem from the interactions between the three mentioned disciplines, constitutes an interesting favorable case for this version of naturalized epistemology.

Keywords: other minds – theory of mind – social cognition – naturalized epistemology.

A casi 50 años de la propuesta de Quine (1969) de naturalizar la epistemología, vale la pena evaluar en qué sentido se considera actualmente un programa viable. Aunque los intérpretes discrepan respecto de cuáles objetivos cabe atribuir al propio Quine, y a pesar de que los debates ocurridos desde entonces acerca del naturalismo y la naturalización, en cada una de las disciplinas filosóficas, muestran un amplio repertorio de alternativas, se acepta que las líneas generales de aquel programa se pueden condensar en las propuestas de: a) abandonar la epistemología tradicional a favor del estudio científico acerca de cómo de hecho conocemos, y b) practicar la filosofía, incluida la epistemología, de una manera consistente con los métodos y resultados de las investigaciones científicas. La primera se resume en la crítica al proyecto de una epistemología apriorística y prescriptiva o normativa, y en la propuesta de convertir a la teoría del conocimiento en una rama más de la ciencia natural, más específicamente “en un capítulo de la psicología” científica (Quine, 1969). Dado que el conocimiento es “un fenómeno natural robusto”, o mejor aún, una “clase natural” (Bermúdez, 2006), puede ser completamente entendido y explicado en términos científicos. Dicho de otra forma, la “epistemología naturalizada” propone *reemplazar* una teoría normativa de la justificación del conocimiento por una teoría empírica acerca de cómo (y para qué) funciona la cognición (Kornblith, 1994²). La segunda es la propuesta, relacionada pero diferente, de abordar todas las cuestiones filosóficas cooperando con las ciencias particulares, bajo un supuesto de continuidad ontológica y de compatibilidad e incluso de complementariedad epistemológica. Aquí caben, por cierto, distintas alternativas³. Aunque estas dos perspectivas son diferentes, como veremos enseguida, hay una posición que ambas comparten y que podría expresarse por medio de una tesis negativa: no hay un dominio de principios o verdades (del tipo que fueren) investigables (completamente) de manera *a priori*, y, por lo tanto, ni la epistemología ni cualquier otra rama de la filosofía pueden tener por objeto una investigación de ese carácter.

² Kornblith (1994) atribuye a Quine esta posición sintetizada en la “tesis del reemplazo” de la epistemología tradicional por la psicología científica. Según Kornblith esta tesis tiene tres variantes: la más fuerte, la quineana, según la cual las malas preguntas de la epistemología deben ser reemplazadas por las buenas preguntas y respuestas de la psicología. Esta perspectiva admite sólo conceptos empíricos de primer orden para explicar los fenómenos de la cognición humana. Las otras dos variantes, más débiles, son: la darwiniana, que podría resumirse en la afirmación que la evolución garantiza que adquirimos creencias verdaderas, porque sólo éstas pueden tener un valor de supervivencia; y la tesis de la interpretabilidad mutua, que asume que para entendernos debemos compartir criterios de racionalidad y creencias comunes en un grado suficiente (Cfr. p. 3 y ss.). Dennett (1987) propone un modelo que intenta complementar los fundamentos evolutivos con la interpretación intencional de sentido común, y es por lo tanto, un ejemplo de ambas variantes combinadas.

³ Me refiero al espectro que abarca desde la afirmación que el único método serio de investigación es el método científico, hasta la tesis de la complementariedad de estrategias diferenciadas, en distintos niveles teóricos, para el estudio de los mismos fenómenos. Respecto de los fenómenos, el supuesto es, en todos los casos, de homogeneidad ontológica.

En este trabajo exploraré las virtudes epistémicas de esta segunda vertiente de la epistemología naturalizada, que algunos intérpretes califican como “modesta” o “reformista” (Haack, 1993⁴), la que, como veremos, puede ser interpretada a su vez de maneras fuertes o débiles. Para ello me serviré de una metodología naturalista, esto es, examinaré, al modo de un estudio empírico de casos, la historia de los debates, en las últimas décadas, sobre el problema filosófico clásico acerca de las “otras mentes”, objeto de un intenso interés teórico por parte de los psicólogos del desarrollo, los etólogos cognitivos y los filósofos naturalistas de la mente⁵. Las conclusiones meta-filosóficas que deseo sugerir a partir de la revisión de algunos hitos en la evolución del tratamiento de este problema, muestran diversos efectos teóricos positivos fruto de la relación entre la filosofía y la etología cognitiva, por una parte, y la psicología del desarrollo, por la otra. Específicamente, intentaré mostrar cómo ciertos conceptos, presupuestos y modelos filosóficos clásicos, de carácter especulativo o apriorístico, sufrieron los efectos de una “naturalización” provechosa, bajo el influjo de la teoría darwiniana y de las teorías y resultados empíricos particulares apoyados en ella, revelando aspectos novedosos, gradaciones y parentescos iluminadores así como diferencias mejor definidas y explicadas, en distintas criaturas, en torno a las capacidades cognitivo-sociales básicas.

1. Naturalismo se dice de muchas maneras⁶

Antes del examen del caso propuesto, es oportuno señalar varios puntos previos, aunque sólo sea sumariamente, con el objeto de despejar malentendidos y presunciones erróneas que rodean las discusiones sobre naturalismo y naturalización. En primer lugar, no es correcto asumir que las relaciones entre la filosofía y las distintas áreas del conocimiento y la experiencia humana, incluidas las ciencias, hayan encuadrado bajo una misma visión dominante, que podríamos llamar “tradicional”, de signo no-naturalista. En efecto, sería difícil encontrar entre los grandes autores clásicos a un filósofo que no haya cultivado un vínculo estrecho de interés y/o de conocimiento en relación con las ciencias de su época, o que no haya tomado como fuente de motivación y/o de información alguna teoría o explicación científica o que no alentara una expectativa de aplicación o al menos

⁴ Esta variedad de naturalismo afirma que la epistemología es una disciplina a posteriori, y es “reformista” porque propone tratar las mismas cuestiones de nuevas maneras. La otra variedad, “cientificista”, es “revolucionaria”, en tanto propone ver a la epistemología como parte integral de la psicología empírica y conlleva restricciones y re-conceptualizaciones, en suma, una estrategia eliminativista o reduccionista. Haack intenta reconstruir las fuentes textuales y motivaciones de la ambivalencia de Quine entre estas dos posiciones.

⁵ De hecho también la biología evolutiva, las neurociencias y la lingüística cognitiva, entre otras disciplinas, confluyen en su interés por explicar la capacidad para “leer” intenciones y demás estados psicológicos, aunque la etología cognitiva y la psicología del desarrollo han tenido un papel protagónico en los avances alcanzados en este período. También se destaca la “neurociencia social”, un paradigma surgido en los años 90, definido como un campo interdisciplinario que busca integrar las explicaciones biológicas (neurales, hormonales, celulares y genéticas) con las relativas a la estructura y los comportamientos sociales. (Para una visión de conjunto sobre este enfoque, véase Decety y Cacioppo, 2010.)

⁶ Esta expresión es de uso común en filosofía, en la medida en que muchos conceptos “clasificadores” suelen recibir interpretaciones muy diferentes. Es también el título de la introducción de D. Pérez a la compilación *Los caminos del naturalismo* (2002), en la que se resumen algunas de estas distinciones básicas acerca del concepto “naturalismo” en filosofía.

de algún efecto aunque fuere sólo reflexivo o crítico, de sus principios, conjeturas o sistemas de pensamiento, hacia uno u otro dominio científico. Aristóteles, Descartes, Leibniz, Kant, Comte, Mill, Russell, entre tantos otros, no pueden ser calificados de “tradicionales” en ese sentido, aunque podemos atribuirles justificadamente la defensa de muchas o algunas tesis o concepciones no naturalistas (Kornblith, 2014, p. 118). La caracterización de la filosofía así llamada “tradicional” como una disciplina “pura”, nítidamente separada y además indiferente a los objetivos, dificultades y avances de las ciencias, ha tenido pocos cultores consecuentes⁷. Hay otra visión, que también puede llamarse “tradicional”, aunque con muchos defensores contemporáneos, que es menos extrema, o si se prefiere más “impura” que la anterior. Es aquella que adopta una estrategia de “división del trabajo” y de complementación teórica sólo eventual y no sustantiva. Si tomamos por caso la epistemología, esta posición le asigna la tarea de establecer los criterios o principios que deberían seguirse para adquirir y/o justificar creencias verdaderas, y a los psicólogos la de establecer cuáles son los procesos efectivos que operan en la adquisición de creencias. La evaluación de esas diferentes respuestas sería también tarea de la epistemología tradicional (Kornblith, 1994)⁸. Se trata de una posición meta-filosófica asentada en una u otra intuición o argumento positivo acerca de la peculiaridad (e importancia) de las nociones y/o de los problemas específicamente filosóficos o “problemas difíciles” (“*hard problems*”): significados, valores, estados cualitativos, verdades matemáticas, entre otros (Price, 2004); o bien, en uno u otro argumento escéptico acerca de los límites del conocimiento científico o de la cognición humana (ver nota 11). Aunque esta posición no cultiva una explícita indiferencia por las ciencias respectivas, busca separar los tipos específicos de explicación que la filosofía debería obtener para sus problemas de aquellos que provienen de las investigaciones empíricas. Ciertas variantes de filosofía analítica actualmente practicadas, entre otras tradiciones, pueden identificarse con esta perspectiva meta-filosófica.

En segundo lugar, el “naturalismo” como posición o doctrina filosófica no es un invento de Quine⁹. Tesis y propuestas naturalistas, con diferentes raíces y derroteros, pueden rastrearse en filósofos tan importantes como Aristóteles, Hume o Dewey, quienes, como sabemos, defendieron doctrinas naturalistas muy diferentes entre sí. Este hecho obliga a refinar el concepto de “naturalismo”. En primer lugar, el concepto puede aplicarse a diferentes dominios, respecto de los cuales es una opción teórica: ontológico, epistemológico, moral, semántico, estético, etc. Ahora bien, en cada uno de estos dominios, refiere tanto al carácter de los fenómenos como al tipo de explicaciones apropiadas para ellos, y puede resumirse así: (1) nuestras teorías filosóficas sólo

⁷ Entre los más próximos en el tiempo, el joven Wittgenstein es un caso claro: “La filosofía no es una de las ciencias naturales. (La palabra “filosofía” debe significar algo que esté sobre o bajo, pero no junto a las ciencias naturales)” (*Tractatus logico-philosophicus*, 4.111). Lo mismo se afirma acerca de una tajante distinción entre psicología y filosofía (4.1121) y entre teoría de la evolución y filosofía (4.1122).

⁸ *Mutatis mutandis* esta modalidad de “división del trabajo” se puede aplicar, según el enfoque tradicional, a todas las disciplinas filosóficas.

⁹ Como el propio Quine señala, los grandes filósofos, como Aristóteles, Leibniz, Kant, entre otros, “...eran científicos en búsqueda de una concepción organizada de la realidad...” (1981, p. 228). Para una reconstrucción histórica de los textos y argumentos que produjeron la crisis de la epistemología anti-psicologista fregeana y el “retorno de los naturalistas”, véase Kitcher (1992).

admitirán la existencia de entidades mundanas o espacio-temporales o “naturales”, bajo el supuesto que la realidad debe ser metafísicamente uniforme (Horwich, 2014; Clark, 2016)¹⁰; y (2) sólo se buscarán explicaciones que no dependan ni de la postulación de entidades extra-mundanas ni de la intervención de principios especiales¹¹. En consecuencia, toda dimensión normativa debe encontrar su lugar bajo una descripción o explicación enteramente natural, ya sea física, biológica, psicológica o socio-cultural. En este sentido, naturalismo es sinónimo de *anti-sobrenaturalismo* y de *naturalismo metafísico*, por una parte, y de *naturalismo epistemológico* o *metodológico*, la posición que sostiene que sólo el método científico puede proporcionar conocimiento genuino, por la otra (Horwich, 2014; Clark, 2016). Por supuesto, una y otra variedad de naturalismo enfrentan dificultades en sus distintas versiones o interpretaciones (véase Hacker, 2006).

Una tercera cuestión es la relativa al nivel teórico con respecto al cual la filosofía debe realizar sus esfuerzos analíticos, reflexivos o especulativos, para practicar una forma de naturalización de sus problemas. Así, un enfoque naturalista acerca de la epistemología, por ejemplo, puede ser, o bien acerca del fenómeno mismo del conocimiento humano, ordinario y/o científico, o bien acerca de la relación que la epistemología debe mantener con las teorías científicas particulares o con un cuerpo dado de creencias consideradas verdaderas. En el primer caso, trascendiendo el mero “reemplazo” de la epistemología por la psicología científica, el objetivo sería la elaboración de modelos, conjeturas o teorías, formuladas de manera programática y general, compatibles con el conocimiento científico disponible. En el segundo, dado que la epistemología se situaría en un nivel de abstracción más alto o de segundo orden respecto a las ciencias o las teorías, tendrá un propósito teórico principalmente reconstructivo¹². Ahora bien, lo que torna consistentemente naturalista a esta teorización de segundo orden es el tipo de respuestas a las que apunta, lo que podría expresarse de la siguiente forma: “los criterios de creencia justificada deben ser formulados sobre la base de términos que sean sólo naturalistas o descriptivos, sin el uso de ningún término evaluativo o normativo, sea epistémico o de otro tipo” (Kim, 1988, p. 382). En este punto se abren alternativas diferentes: o bien las explicaciones que se buscan deberán ser formuladas en los términos de alguna teoría fundamental que *elimine* las creencias

¹⁰ Otra manera de caracterizar esta dimensión del naturalismo es en relación con la ontología de las teorías científicas, asignando a la metafísica la tarea de “extraer las implicaciones metafísicas de la ciencia contemporánea... Para el naturalista simplemente no hay una ruta extra-científica hacia la comprensión metafísica.” (Kornblith, 2014, p. 105). Sintéticamente: “...todo lo que *hay* es el mundo estudiado por la ciencia” (Price, 2004, p. 3).

¹¹ Estas dos formas de naturalismo son compatibles, no obstante, con la tesis según la cual algunas entidades o fenómenos, al exceder los límites de la comprensión humana, resultarán finalmente inexplicables o misteriosos (vgr. el argumento de la “clausura cognitiva” de naturalistas como Chomsky, Fodor y McGinn, entre otros, discutido por Dennett, 1994, 1995).

¹² Kim (1988) precisa que, en la perspectiva de Quine, la naturalización de la epistemología entendida como el proyecto de justificar las creencias verdaderas de manera no normativa sino descriptiva o fáctica, es de carácter reconstructivo, por lo mismo que presupone una distinción de niveles, y tiene el objeto de validar los procesos que de hecho la ciencia explica, o de producir una “reconstrucción racional” de los hechos que la ciencia revela. O, como lo expresa el propio Quine (1981), “mejorar, clarificar y entender el sistema (o la teoría heredada del mundo) desde adentro.” Como se ve, Quine oscila entre el reemplazo y la reconstrucción.

basadas en teorías de otro nivel o que las *reduzca* a enunciados más básicos de esa teoría, o bien podrán mantenerse (aunque “purificadas”) e integrarse de una manera adecuada en distintos niveles explicativos, cada una de ellas involucrando conceptos y principios diferenciados, aunque ninguno de ellos enteramente independiente de los demás¹³. De lo expuesto se sigue que el eliminativismo y el reduccionismo (explicativo y semántico o conceptual) no son posiciones inevitables para un enfoque naturalista de la epistemología (o de cualquier otra disciplina filosófica). Y que, por otra parte, la perspectiva no reduccionista, para ser consistente con el naturalismo, incluso en una versión “modesta”, debe proponer la existencia de alguna vinculación entre los distintos niveles explicativos, e incluso, más precisamente, debe elaborar o justificar las herramientas conceptuales, metodológicas o teóricas que la hacen posible.

Por último, algunos enfoques naturalistas apuntan más allá (o más acá) del conocimiento científico, hacia la experiencia, las creencias ordinarias, las prácticas humanas o las “formas culturales de vida”, en cuyo caso, naturalismo y científicismo, o mejor, filosofía y ciencias, pueden expresar perspectivas y ámbitos teóricos diferenciados, incluso antitéticos. Una alternativa sería la confluencia o continuidad entre las creencias ordinarias (como parte de una “imagen manifiesta” o popular) y las creencias científicas, con un rol positivo de análisis, revisión o re-descripción de sus vínculos por parte de la filosofía. Esta visión está, en parte, ejemplificada por las ideas de W. Sellars (1963). Otra alternativa, una nítida separación entre creencias ordinarias y creencias científicas, y entre éstas y los objetivos de la investigación filosófica, es la que desarrolla L. Wittgenstein (1953), esta vez el segundo, y quizás también P. Strawson (1985). Este es un punto importante para nuestro trabajo, puesto que vamos a enfocarnos en el estudio, filosófico y científico, acerca de nuestras creencias ordinarias acerca de la mente, propia y de otros¹⁴.

Por último, aunque nuestro objetivo, como dijimos, será explorar la variedad de epistemología naturalizada que expresa una visión positiva acerca de las relaciones de complementariedad entre ciencias y filosofía, cabe destacar que el caso que analizaremos da cuenta de uno de los tantos tópicos donde las ciencias cognitivas han contribuido a hacer especialmente interesante la tesis quineana más radical, aquella según la cual la teoría del conocimiento humano debe buscar evidencias y explicaciones en los avances de la psicología científica¹⁵. Dejaremos para otro trabajo una reflexión sobre esos

¹³ En el ámbito de la filosofía de la mente y respecto de la psicología de sentido común, Churchland (1981) ejemplifica claramente la primera variante eliminativista, y Dennett (1987) la última, pluralista. De acuerdo a Clark (2016), la primera expresa un “naturalismo estricto” (y científicista) y la otra un “naturalismo amplio” (que intenta hacer lugar al sentido común).

¹⁴ Para una discusión, desde un enfoque naturalista, acerca de los vínculos revisionistas o eliminativistas entre metafísica, ciencias cognitivas y sentido común, véase Goldman (2007).

¹⁵ Se ha propuesto recientemente una distinción entre “naturalismo del objeto” y “naturalismo del sujeto” (Price, 2004): el primero, refiere a una concepción acerca del objeto de conocimiento filosófico en relación con las ciencias (y equivale al naturalismo metafísico + naturalismo epistemológico); mientras el segundo es relativo a nosotros, a los seres humanos vistos como criaturas integradas a un único mundo natural y dotadas de capacidades también naturales. La tesis fuerte de Quine (1969) descansa en la afirmación que la epistemología estudia un “fenómeno natural”, “el sujeto humano físico”, y por lo tanto, depende de una variante de “naturalismo del sujeto”, aunque su conclusión: que la epistemología debe ser reemplazada por la psicología científica, vuelve sobre el primero, el “naturalismo del objeto”. Price, en cambio, sostiene que

vínculos, no obstante, cabe señalar que muchos de los tópicos discutidos bajo el concepto de “cognición social” integran, entre tantos otros, la psicología científica que es pertinente para la epistemología como disciplina naturalizada. Aunque en lo que sigue no nos referiremos explícitamente a cada una de las cuestiones identificadas en este primer apartado, constituyen el trasfondo meta-teórico del análisis del caso propuesto, y serán importantes para valorar las reflexiones positivas que propondremos en la sección final. Hechas estas aclaraciones preliminares, vamos a nuestro tema.

2. Otras mentes, teoría de la mente, lectura de mentes, cognición social: la evolución de una discusión

Los filósofos que están tratando de lograr una teoría de la cognición social claramente tienen que prestar atención a los psicólogos del desarrollo, y tienen hacia ellos una gran deuda por la riqueza de datos empíricos que les han aportado (Gallagher, 2009, p. 295)

El texto citado podría modificarse levemente, agregando la etología cognitiva a la psicología del desarrollo, y ejemplificaría bien el contenido que sigue. Los tópicos a los que haré referencia vienen ocupando el centro de la escena teórica, con distintos rótulos al pasar de uno a otro marco teórico y de una a otra disciplina: el “problema de las otras mentes” primero; la interpretación intencional y la psicología *folk* o de sentido común en la corriente principal de la filosofía contemporánea de la mente; la “teoría de la mente” (Wellman, 1990) y luego la “lectura de mentes” (“*mind-reading*”) (Apperly, 2010) en la psicología del desarrollo y la etología cognitiva y, finalmente, la “cognición social” (Carpendale & Lewis, 2004; Smith & Semin, 2004; Gallagher, 2009; Semin & Smith, 2013), una noción que intenta abarcar todos los dominios señalados y que se consolida como la más aceptada actualmente¹⁶. Se trata, aproximadamente, del mismo problema, aunque incluye una familia de cuestiones y de distinciones graduales, y admite distintas perspectivas y niveles teóricos para su estudio. No voy a proponer aquí un esquemático “estado del arte” ni tampoco una enumeración sintética de los principales enfoques desarrollados en todas esas áreas¹⁷, sino que me limitaré a señalar algunos hitos en estos debates que permiten reconocer el impacto positivo que ha tenido el “giro naturalista” (Hacker, 2006) en el tratamiento del problema, en contraste con los supuestos y efectos propios de los enfoques tradicionales. Para ello, en primer lugar, caracterizaré el problema en su formato filosófico clásico. En segundo lugar, intentaré reseñar, sintéticamente, el papel que la etología cognitiva tuvo en su reformulación y revitalización, así como su inmediata incorporación en la psicología del desarrollo, dando lugar a modelos teóricos alternativos y abundante prueba experimental. Como veremos,

el segundo tiene prioridad conceptual sobre el primero e incluso puede invalidarlo. La discusión de estos tópicos excede el objeto de este trabajo.

¹⁶ La expresión “teoría de la mente”, para designar al mismo tiempo el fenómeno a explicar y el modelo para abordarlo, se consolidó en buena parte de la literatura sobre el tema, en la medida en que se convirtió en la perspectiva dominante y con mayor desarrollo en las últimas décadas del siglo pasado (Carpendale & Lewis, 2004, p. 82).

¹⁷ Entre tantos otros, el trabajo de Carpendale y Lewis (2004) contiene un rico estado del arte, analizado con el mismo espíritu naturalista de este trabajo, en el que se incluyen tanto los aportes históricos como los actuales, tanto de disciplinas científicas como filosóficas.

estos avances fueron acompañados por ideas, conjeturas o modelos, *ex ante* y *ex post*, elaborados por algunos filósofos naturalistas con distintas hipótesis y presupuestos teóricos. Finalmente, señalaré qué es lo que se ha ganado con esta naturalización del “problema de las otras mentes” y algunos de los caminos actuales abiertos a la investigación filosófica y no filosófica sobre la cognición social.

El *problema de las “otras mentes”* fue caracterizado, en primer lugar, como un *problema puramente filosófico*, adoptando la forma radical: “¿cómo sé que hay mentes además de la mía propia?”¹⁸ Más específicamente fue planteado como un problema *epistémico*, en este caso, acerca del acceso cognoscitivo por parte de una *mente humana adulta*, individualmente considerada, a los estados internos de otra mente humana adulta, que por definición es inaccesible en forma directa. La propia mente es, en cambio, *transparente* para su propietario, de un modo *auto-garantizado, infalible o incorregible*, bajo la forma de un *acceso consciente directo* o de un *conocimiento reflexivo meta-representacional*, que brinda *certeza o autoridad* acerca de cada uno de los propios estados internos. Este acceso privilegiado conlleva, entonces, una *asimetría* a favor del conocimiento de la primera persona, que requiere para una tercera persona ser sorteada mediante alguna forma de razonamiento o “teoría”, que permita acceder, a partir de la evidencia conductual disponible, a la creencia justificada (o a la conjetura probable) que otros también tienen mente, dado que en particular podemos atribuirles justificadamente (o conjeturar razonablemente) que tienen tales o cuales estados mentales. La conexión causal entre los propios estados mentales y la conducta, a su vez, puede tender ese puente evidencial analógico entre la conducta de otros y sus hipotéticos estados internos. Descartes (1637) elaboró una versión clásica del problema y J. Stuart Mill (1865)¹⁹ formuló el conocido argumento por analogía, según el cual inferimos la existencia de estados mentales de otros a partir de la evidencia conductual, tomando como modelo la conexión entre los propios estados mentales y la conducta causada por ellos. Filosofías, por lo demás muy diferentes, trazan un amplio arco de coincidencias en esta cuestión.

Aunque la revisión de cada una de estas tesis en la filosofía contemporánea de la mente fue poniendo en duda el contenido preciso y/o el alcance de cada una de las premisas del problema (empezando por las ontológicas), la mayor parte de los filósofos no naturalistas continuaron defendiendo distintas variantes de la solución clásica, apoyados en intuiciones, argumentos trascendentales o de sentido común. Una muestra de la retirada sólo parcial de los filósofos tradicionales respecto a estas tesis, y que generó un breve entusiasmo anti-naturalista, fue la defensa (con distintos argumentos) de que al menos ciertos aspectos de los contenidos mentales de primera persona (la “experiencia subjetiva” o los *qualia*) sólo pueden ser conocidos por quien los experimenta (Nagel, 1974²⁰). Esta posición fue célebremente “quineada” por Dennett (1988), entre otros, y poco

¹⁸ Cfr. Avramides (2001) ejemplifica un enfoque actual típicamente no naturalista, para el análisis de este problema, el que considera específicamente filosófico, y sus distintas variantes en la historia de la filosofía.

¹⁹ *Examination of Sir William Hamilton's Philosophy* (1865).

²⁰ El artículo de Nagel proporcionó una versión clásica, muy debatida en las décadas de los 80 y 90, acerca del “carácter subjetivo de la experiencia conciente”, reflejado en el modismo “cómo es ser x”, imposible de

queda de aquellos entusiasmos no naturalistas en la discusión actual en filosofía de la mente.

Huelga decir que un presupuesto de la formulación tradicional del problema ha sido que su ámbito de aplicación está limitado a los seres humanos adultos, por lo que no tiene sentido plantearlo respecto de animales no humanos ni de niños (o niños pre-lingüísticos). Este es quizás el mayor punto de contraste con la visión actual del problema, ampliamente modificada por los estudios sobre la cognición animal y la cognición infantil. El mismo presupuesto sirvió también para elaborar nuevos argumentos filosóficos acerca de los rasgos que nos hacen criaturas únicas²¹, más allá de la tesis darwiniana de la continuidad entre las especies. En síntesis, el problema clásico ha estado encuadrado en premisas *antropocéntricas*. Complementariamente, tanto los requerimientos para el acceso a otras mentes como aquello que constituye su foco principal, son ideas, proposiciones, creencias o razonamientos, dejando fuera de consideración sensaciones, emociones y otros comportamientos expresivos. Por lo tanto, el problema fue planteado también bajo una visión *sobre-intelectualizada* de la mente y de sus estados. Sobre la base de estos presupuestos, la gran tradición filosófica elaboró un amplio consenso escéptico acerca de las capacidades mentales de los animales, en una línea que une a Descartes (1637, 1647)²² con Davidson (1975, 1982). Con la notoria excepción de Hume (1738)²³, quien, sin embargo, propuso una formulación del problema de las otras mentes similar a la expuesta, los filósofos comenzaron a revisar sus enfoques antropocentristas y sobre-intelectualizados hace apenas unas pocas décadas, una vez que comenzaron a aceptar la relevancia de la teoría darwiniana como teoría de trasfondo²⁴ y empezaron a prestar atención a los logros explicativos de la etología cognitiva²⁵, primero, y de la psicología del desarrollo infantil, después. Veamos primero qué sucedió en la etología cognitiva.

ser capturado por cualquier modelo de explicación científica, fisicalista, reduccionista, funcionalista o cualquier otro tipo de caracterización formulada en los términos objetivos de la ciencia.

²¹ Uno de los más conocidos proviene de la teoría davidsoniana de la interpretación radical, que se propone dar cuenta de la interdependencia de los estados mentales (o actitudes proposicionales) de otros y los significados de sus emisiones lingüísticas, por lo que sólo se aplica a criaturas que poseen un lenguaje. Más recientemente, Bermúdez (2009) desarrolló argumentos específicos acerca de la conexión intrínseca de pensamiento y lenguaje que impiden atribuir capacidades para interpretar estados mentales a los animales no lingüísticos.

²² Las tesis de Descartes sobre los animales son, resumidamente, las siguientes: son máquinas, son autómatas, no piensan, no tienen lenguaje, no tienen auto-consciencia. (Véase Cottingham, 1978.)

²³ Hume afirmó: “ninguna verdad me parece más evidente que los animales están dotados de pensamiento y razón tanto como los hombres” (1738, citado por Jamieson, 1998, p. 79). No llama la atención que Hume identificara también ciertos rasgos de la inteligencia social en los animales, cuando les atribuía vínculos de simpatía: “Es evidente que la *simpatía* o la comunicación de las pasiones, tiene lugar entre los animales no menos que entre los hombres” (1738, citado por Jamieson, 1998, p. 79).

²⁴ La tesis de la continuidad evolutiva proporcionó el marco general dentro del cual era razonable atribuir similares capacidades a especies directamente emparentadas, pero su estricta justificación en cada caso requiere argumentos empíricos precisos y específicos.

²⁵ El escepticismo acerca de la mentalidad animal fue todavía más vigoroso en las ciencias (Jamieson, 1998), donde la caracterización del comportamiento animal mediante atribuciones intencionales o rasgos psicológicos fue cuestionada durante décadas por revitalizar o mantener formas de antropomorfismo reñidas con los cánones de la ciencia estricta. Kennedy (1992), por ejemplo, se refiere a estos cambios en la etología cognitiva como dominados por un “nuevo antropomorfismo” que haría retrotraer a la ciencia a una era pre-conductista.

La etología cognitiva nació a fines de los años 70 (Griffin, 1978) como un nuevo paradigma en los estudios del comportamiento animal, cuestionando las restricciones injustificadas que impuso el paradigma conductista dominante hasta entonces y defendiendo la necesidad de elaborar y testear hipótesis empíricas sobre diversas capacidades cognitivas, incluyendo la que entonces se denominaba “la hipótesis de la inteligencia social” o “inteligencia maquiavélica” (Humphrey, 1976, 1984²⁶; Byrne & Whiten, 1988). Los estudios de campo y de laboratorio comenzaron tempranamente a revelar diversas capacidades para comprender a co-específicos en especies evolutivamente próximas. Las investigaciones de Jane Goodall a partir de los años 60 fueron pioneras no sólo en atribuir capacidades para la comprensión recíproca a los chimpancés sino también por su metodología interactiva y “antropomorfizante”²⁷. Pero el hito que marcó el comienzo de una intensa polémica y que estimuló a su vez nuevos estudios empíricos y abundante reflexión conceptual y teórica fue el célebre trabajo de los primatólogos Premack y Woodruff, de 1978: “Does the chimpanzee have a theory of mind?”²⁸. El formato original de la cuestión fue el siguiente:

Un individuo tiene una teoría de la mente si imputa estados mentales a sí mismo y a otros. Un sistema de inferencias de este tipo es apropiadamente visto como una teoría porque tales estados no son directamente observables, y el sistema puede ser usado para hacer predicciones acerca de las acciones de otros. (p. 515).

En la década de los 80 el tema y las investigaciones se expandieron notablemente, aunque sucesivos tests realizados en chimpancés fueron planteando muchas dudas sobre cómo interpretar los resultados obtenidos.

Es importante advertir que la psicología comparada adoptó desde el inicio un punto de partida diferente al filosófico clásico: la primera persona del plural (Sober, 2000), con lo que no padeció el sesgo individualista con el que se abordaba el estudio de la mente humana. No obstante, sobre todo en estos comienzos, las discusiones entre los

²⁶ La así llamada “Hipótesis de la Inteligencia Social” afirma que la capacidad para comprender a otros co-específicos evolucionó debido a la necesidad de interactuar con muchos otros agentes similares, ser capaces de identificar a distintos individuos y a las relaciones parentales, registrar las relaciones de dominación y las alianzas, predecir su comportamiento futuro y así poder entablar las relaciones más beneficiosas para ellos (Seyfarth & Cheney 2013a). Humphrey publicó en 1976 un trabajo en el que defendía la llamada hipótesis de “la inteligencia maquiavélica”, según la cual el nivel de inteligencia observado en los primates se explica como el resultado de las demandas que la vida social ejercen sobre ellos. Esta hipótesis fue seguida de abundantes hallazgos anecdóticos sobre el “engaño táctico” en primates, que luego fueron reunidos por Byrne y Whiten (1988) y Whiten y Byrne (1997).

²⁷ Las investigaciones de campo de Goodall fueron facilitadas por un cambio de paradigma en la metodología empleada, al incluir la interacción personal con muchos individuos, lo que le permitió desentrañar las claves emocionales y cognitivas manifiestas en las interacciones sociales con sus co-específicos y con humanos.

²⁸ Entre los comentarios más destacados de ese artículo, publicado en *Behavioral and Brain Sciences*, se cuentan los de los filósofos Harman, Dennett y Bennett, quienes señalaron el problema de distinguir experimentalmente entre la atribución de estados mentales genuinos y la atribución de claves observables o hechos que sirven para apoyar la atribución de estados mentales. (Véase Lurz, 2011, p. 9.)

etólogos con la intervención de algunos filósofos de la ciencia, estuvieron dominadas por debates metodológicos en torno al riesgo de caer en antropomorfismos ingenuos. Esta prevención había tenido expresión en el conocido “canon de Morgan” (1894), el que aún caído el conductismo continuó marcando el estándar de rigurosidad científica. El canon, sin embargo, sólo recomendaba que “en ningún caso podemos interpretar una acción como el resultado del ejercicio de una facultad psíquica superior, si puede ser interpretada como el resultado del ejercicio de una que está más abajo en la escala psicológica”²⁹. Como señaló Sober en diversos trabajos, los errores en la atribución mental a animales no humanos pueden ser de dos tipos: además del error antropomórfico tan temido, es preciso evitar otro error simétrico, el antroponegacionista (Sober, 2005). Los etólogos avanzaron bajo una interpretación cada vez más ajustada del canon, explorando diversas habilidades cognitivas relacionadas con la atribución psicológica, procurando evitar ambos tipos de errores. Con la excepción de unos pocos filósofos interesados en los temas de la cognición animal, en cambio, la interpretación restrictiva del canon parsimonioso mantuvo por mucho tiempo más un importante número de defensores activos en la filosofía de la mente y de la ciencia, tanto más entusiastas cuanto más exigentes sus posiciones respecto de qué es tener una mente. La corriente principal en filosofía de la mente, por su parte, dominada por distintas teorías representacionales de la mente, asociadas a una tesis fuerte sobre la conexión constitutiva de pensamiento y lenguaje (e incluso de un “lenguaje del pensamiento”) continuaron defendiendo la tesis de la singularidad humana sobre las bases de un enfoque intelectualizado de la comprensión psicológica ordinaria en términos de la atribución de actitudes proposicionales con fines epistémicos (tales los casos de las influyentes teorías de Davidson, Fodor, Searle, y de sus seguidores, por lo demás, casi todos ellos defensores de alguna variedad de naturalismo).

Sin embargo, es importante señalar que otros filósofos hicieron importantes contribuciones al debate sobre la teoría de la mente en animales. El más influyente, en los comienzos de las investigaciones sobre “teoría de la mente”, fue Dennett, quien defendió enfáticamente la pertinencia y utilidad heurística de aplicar el formato intencional de interpretación de otras mentes humanas a algunas especies animales³⁰, o “sistemas intencionales de segundo orden”, apoyado a su vez en una explicación adaptacionista de sus capacidades cognitivas (y también de las nuestras). Finalmente, el tema de la cognición animal, informada por los hallazgos empíricos de los etólogos, fue adquiriendo gradualmente mayor presencia en los escritos y en las discusiones de los filósofos. Capacidades conceptuales, razones para actuar, sistemas de comunicación, empatía y sentimientos “morales”, además de “teoría de la mente”, estimularon a la

²⁹ Citado por Fitzpatrick (2008), p. 224. Morgan estaba en realidad preocupado en no sobre-intelectualizar la cognición humana: “Para interpretar el comportamiento animal uno debe aprender también a ver a la propia mentalidad en niveles de desarrollo mucho más bajos que la propia autoconciencia reflexiva de nivel alto. No es fácil, y tiene un poco sabor a paradoja” (Morgan (1930), citado por Andrews, 2015, p.6).

³⁰ Especialmente “Los sistemas intencionales en la etología cognitiva: Defensa del “Paradigma panglossiano” (1987), donde discute la aplicación de la estrategia a los gritos de alarma de los micos africanos estudiados por Cheney y Seyfarth.

filosofía de la mente hacia nuevas direcciones, también respecto de nuestras mentes humanas³¹.

La mayor parte de los etólogos sigue actualmente la interpretación que los grandes simios, nuestros parientes evolutivos más próximos, tendrían una teoría de la mente “rudimentaria”, sensible para el reconocimiento de distintas interacciones sociales y centrada en la empatía (Seyfarth & Cheney, 2013b³²). Se conjetura que esta capacidad a su vez, dados sus efectos positivos en términos de comportamientos afiliativos, habría favorecido el desarrollo de las capacidades atributivas hacia una teoría de la mente plena en la que están presentes capacidades cognitivas más complejas (Seyfarth & Cheney, 2013b; Tomasello, 2014). Vale la pena destacar en estos grandes trazos, los influyentes trabajos de M. Tomasello y sus colaboradores (por ejemplo, *Primate Cognition*, 1997; *Los orígenes culturales de la cognición humana*, 1999; *La evolución de la comunicación humana*, 2008³³, entre otros), los que dan testimonio de la evolución de esta discusión, en las que sus propias posiciones fueron modificándose en el sentido de hacer lugar tanto a más parentescos como a diferencias específicas mejor comprendidas. Call y Tomasello (2008), evaluando los avances logrados en el extenso debate de 30 años, desde el trabajo original de Premack y Woodruff (1978) acerca de si los chimpancés tienen o no una teoría de la mente, concluyeron que la “teoría de la mente” es vista actualmente como un fenómeno más heterogéneo que lo que se creía al comienzo, por lo que su propia respuesta negativa de la década de los 90 debería ser modificada: “En una interpretación amplia de la frase ‘teoría de la mente’, entonces, la respuesta a la significativa pregunta de Premack & Woodruff de 30 años atrás es un definido sí, los chimpancés tienen una teoría de la mente” (p. 191). Tomasello (2014) propuso recientemente diferenciar a los mamíferos no humanos de los humanos, caracterizando a estos últimos como animales no meramente sociales, sino “ultra-sociales”, esto es, capaces de formas específicas de intencionalidad colectiva o de cooperación con sus co-específicos que no se observan en otras especies.

En el camino de estos avances, la filosofía de la mente humana se ha enriquecido con innumerables distinciones de fenómenos considerados antes bajo caracterizaciones paradigmáticas idealizadas (actitudes proposicionales, razones, conceptos, intenciones, etc.). Del mismo modo su influencia ha sido importante en la revisión de presupuestos, marcos teóricos y conceptos que afectan aún el estudio científico de la mente humana. Por mencionar sólo uno de ellos, los estudios sobre la comunicación animal y su impacto en la revisión de los paradigmas dominantes en la lingüística cognitiva y en las teorías representacionales de la mente. La bibliografía filosófica reciente que atestigua estas influencias es superabundante.

³¹ Como señala Lurz (2011), los filósofos se interesaron cada vez más por los estudios sobre la cognición animal, no sólo por la relevancia científica y moral del tema, sino por motivaciones filosóficas específicas (las teorías filosóficas sobre la mente humana) y por el interés de comprender las características específicas de la “teoría de la mente” en humanos (p. 4-7).

³² La posición contraria es la que ha desarrollado Povinelli en numerosos trabajos. Véase, por ejemplo, Povinelli et al. (2000).

³³ Tomasello, con su equipo de investigadores, han hecho importantísimas contribuciones tanto en etología cognitiva como en psicología del desarrollo infantil, en distintas líneas de investigación, aportando abundantes resultados empíricos comparados y modelos teóricos sobre varios tópicos, incluida la cognición social.

En la psicología cognitiva del desarrollo, por su parte, Wimmer y Perner publicaron en 1983 un trabajo muy influyente, en el que hacían suyo el concepto de “teoría de la mente” de Premack y Woodruff en sus investigaciones primatológicas. Desde entonces, el estudio de las capacidades mentalistas infantiles se convirtió en un área muy dinámica de investigación. El reconocimiento de las creencias falsas de otros se consideró una prueba de la posesión de una “teoría de la mente”, porque ello exige comparar la creencia atribuida con los hechos del mundo, y con las propias creencias de quien atribuye. Los niños con desarrollo típico pueden sortear el llamado “test de la falsa creencia” a partir de los 4 años, aproximadamente. La discusión sobre distintos diseños del test y sobre cuándo una respuesta podía considerarse evidencia de un pleno dominio del concepto de creencia, así como sobre el tipo de mecanismos o capacidades involucrados y la evaluación de aquellos casos en los que ciertos déficits en el desarrollo o daños neuronales comprometen severamente esta capacidad³⁴, estuvo asociada desde el inicio a un modelo de la cognición en adultos, transferido a los niños, y basada en un modelo representacional de la mente: ser capaz de atribuir creencias es poseer la capacidad para representar otras representaciones. En efecto, la “teoría” en cuestión tomaba como modelos la psicología ordinaria adulta, en la que conviven distintos dominios cognitivos plenamente desarrollados (cognición numérica, espacial, sobre objetos físicos, propiedades, etc.³⁵). Por esta razón, los estudios se centraron casi exclusivamente en niños entre 3 y 5 años, sin prestar atención a otras habilidades similares en niños aún más pequeños (Apperly, 2010). El concepto de “teoría” en el contexto de estas investigaciones, por su parte, se entendía como un sistema de conceptos, creencias y conocimientos o generalizaciones mediante los cuales podemos atribuir estados mentales a otros, es decir, predecir y explicar su conducta. Los psicólogos tomaron la noción de “teoría” de la filosofía de la ciencia (asumiendo que existía allí alguna noción más o menos consolidada) buscando adaptarla para que sea aplicable a los niños, y hablaron así de teorías innatas, implícitas, espontáneas o sub-personales. Todos estos rasgos sesgaron desde el inicio los primeros estudios de la “teoría de la mente” en los niños. Algunos de ellos son responsabilidad de los filósofos de la mente que, como señalábamos arriba, elaboraban por entonces ambiciosos modelos representacionales de la mente y explicaciones estrechas de la psicología popular, es decir, demasiado dependientes de modelos lingüísticos y de idealizaciones teóricas como la noción de “actitud proposicional”. Fodor (1975) ejemplifica otra vez estas influencias. Pero también Churchland (1981; 1988) y Stich (1983), con sus visiones eliminativistas acerca de la psicología ordinaria, y todos quienes pensaron que las diferencias entre niños

³⁴ Esta ha sido indudablemente un área muy importante para la comprensión de la cognición social, con enorme desarrollo desde la década de los 80, paralela a los estudios sobre niños con desarrollo típico. (Véase Baron-Cohen, Leslie y Frith, 1985).

³⁵ La psicología cognitiva del desarrollo ha indagado empíricamente distintas estructuras conceptuales o cognitivas que antes discutieron los filósofos modernos en términos de dominios conceptuales –objetos y sus propiedades, personas, acontecimientos y relaciones– y de las capacidades que nos permiten elaborar representaciones del mundo. Una eminente expresión de esta perspectiva, y de su impacto en una teoría general acerca de los conceptos, es la obra de Carey (2009).

y psicólogos científicos y entre habilidades y teorías podían disolverse o al menos aligerarse para facilitar la resolución de problemas epistemológicos y/o metafísicos, antes que para comprender la naturaleza del tema.

Dos modelos diferentes monopolizaron la discusión desde entonces: la Teoría-de-la-Teoría y la Teoría de la Simulación. La “Teoría-de-la-Teoría” (TT) (Wellman, 1990; Gopnik & Wellman, 1992; Gopnik & Wellman, 2012) afirma que nuestra psicología cotidiana es realmente una teoría mentalista, aunque intuitiva, acerca de las acciones humanas. Quienes sostienen esta perspectiva, sin embargo, difieren en su caracterización de la “teoría” en cuestión. Por una parte, los defensores de un enfoque innatista, o bien modularista (Leslie, 1999), o bien dependiente de capacidades de dominio general (Gopnik, 1996; Gopnik & Meltzoff, 1997), sostienen que los niños poseen representaciones o estructuras abstractas de pensamiento al nacer, en este caso específicas a un dominio, que no son aprendidas ni revisables (Leslie, 1999; Scholl & Leslie, 2001; Spelke & Kinzler, 2007³⁶)³⁷. Por otra parte, quienes promueven enfoques empiristas, apoyados en modelos conexionistas o modelos de sistemas dinámicos, afirman que esta teoría es aprendida pero que consiste sólo en asociaciones (Wellman, 2014)³⁸. Estas diferentes perspectivas tienen a su vez diferentes implicaciones respecto de la relación entre psicología *folk* y psicología científica, un tópico especialmente interesante para la epistemología naturalizada en el primero de los dos sentidos señalados al comienzo del trabajo. Mientras para las versiones modularistas la psicología *folk* puede desacreditarse científicamente, para la “teoría de la teoría” no modularista la visión de la continuidad que anticipaba Sellars en 1963 resulta más razonable³⁹.

³⁶ Para Spelke y Kinzler (2007), estas capacidades cognitivas, constituidas por un pequeño número de sistemas de “conocimiento básico” (*core knowledge*) –acerca de objetos inanimados, agentes, números y relaciones espaciales–, se explican evolutivamente y las compartimos con otros primates e incluso con los mamíferos en general. Según las autoras, la mente no es ni un dispositivo de propósito general que se adapta flexiblemente a los diversos requerimientos del entorno ni es “masivamente modular”, es decir, “una colección de cientos de miles de dispositivos cognitivos de propósito específico”, como sostiene Fodor (p. 91).

³⁷ La “teoría de la teoría” continuó algunos enfoques de la teoría del desarrollo de Piaget, quien situaba el punto de partida en una perspectiva egocéntrica que gradualmente era complementada por un proceso general de descentración o comprensión de otras perspectivas. Sin embargo, las influencias explícitas provienen de la filosofía. Tanto Davidson y su teoría de la interpretación radical (1973) como Fodor con su propuesta de una psicología intencional basada en la psicología *folk* (1987), entre otros, desarrollaron modelos teóricos de la psicología de sentido común. La teoría de Dennett (1987), por su parte, es más bien híbrida: mientras caracteriza a las atribuciones ordinarias como el fruto de una destreza, explicable sobre todo evolutivamente, describe su estructura y su modo de funcionamiento de manera quasi-teórica: presupuestos, evidencias, conjeturas, predicciones. Sin embargo, en muchos aspectos, elabora una perspectiva más plenamente naturalista, en el sentido que las atribuciones intencionales ordinarias no dependen de propiedades intrínsecas ni son exclusivas de agentes humanos adultos lingüísticamente competentes.

³⁸ Estas dos perspectivas dentro de la TT pueden considerarse también la expresión de los dos grandes enfoques en conflicto acerca de las capacidades básicas de la mente humana: las teorías empiristas, surgidas en los siglos XVII y XVIII (Locke, Hume) y sus expresiones actuales, por una parte, y la perspectiva evolucionista de Darwin (1871), elaborada por la psicología evolutiva contemporánea, por la otra (Véase Spelke & Kinzler, 2007).

³⁹ Churchland (1981) es una importante excepción en este punto, ya que la “teoría” implícita de la psicología ordinaria era básicamente una teoría errada, estancada y sin explicaciones satisfactorias para ciertos fenómenos psicológicos.

Por su parte, la teoría simulacionista (TS) (Gordon, 1986; Heal, 1986; Goldman, 1992, 2009) sostiene que entender a otros requiere proyectar estados intencionales que simulamos o imaginamos en nosotros, usándonos como un modelo. Más que una teoría, nos apoyamos en generalizaciones de primera persona que luego aplicamos a casos particulares de terceras personas, es decir, nos proyectamos imaginativamente en el lugar del otro. Hay diferentes versiones de esta teoría todas las cuales refuerzan distintos aspectos de la visión clásica, aunque contrarios a los modelos de tercera persona de la “teoría de la teoría”. El descubrimiento de las “neuronas espejo”, a mediados de los años 90, fue rápidamente incorporado al modelo simulacionista, tanto en animales como en humanos (Lurz, 2011, p. 15-16). La teoría recibió muchas críticas derivadas de su intento, en la versión de Goldman sobre todo, de abarcar fenómenos del nivel sub-personal y personal, y todo tipo de estados mentales (Véase Pérez, 2013).

Uno de los resultados del intenso debate entre ambas perspectivas teóricas fue la propuesta de distintos enfoques híbridos, en los que se combinan tanto teoría como simulación, actuando cooperativa o alternativamente, para explicar la capacidad para interpretar otras mentes (véase Nichols & Stich, 2003). Sin embargo, ambos enfoques asumen que no tenemos acceso directo a los estados mentales de otros, y que por esa razón necesitamos recurrir a estos procesos de teorización o simulación (y no a otros más básicos) (Gallagher, 2009). Este supuesto descansa a su vez en otro de carácter individualista, el mismo supuesto de la formulación filosófica original del problema, por el cual estamos esencialmente separados (Zlatev, 2008), es decir, cada uno se halla “...en la frontera restringida de la piel humana”⁴⁰, y nos relacionamos con otras personas adoptando hacia ellas una actitud de tercera persona⁴¹. Por lo tanto, se trata de representarnos (aunque de modos diversos) en nuestra mente, las mentes que están afuera. Ambos enfoques reflejan, así, el modo como buena parte de las ciencias de la mente y del cerebro “... nos miran como cabezas individuales que procesan información, la almacenan en la memoria para reprocesarla y transferirla simbólicamente. Incluso cuando se admite un cuerpo en movimiento, es un robot que lucha por conocer otras mentes mediante el esfuerzo de “teorización” o “simulación” (Trevvarthen, 2008, vii). Aunque otras investigaciones, como las de Trevvarthen, venían mostrando con abundante apoyatura empírica desde fines de los años 70, la necesidad de incorporar capacidades desarrolladas más tempranamente para dar cuenta de la comprensión recíproca, nuevas evidencias mostraron que los niños detectan espontáneamente creencias falsas a los 18 meses, abriendo las compuertas para un enfoque interactivo de la cognición social.

Por su parte, un grupo de filósofos comenzaron a desarrollar a comienzos de este siglo, una perspectiva diferente para entender el problema, señalando que tanto la TT como la TS descuidaron la interacción social, por lo que resultaban modelos deficientes o insuficientes para dar cuenta de otros fenómenos que aparecen antes en el desarrollo cognitivo humano (y en otras especies sociales) y que nos acompañan siempre. De ese

⁴⁰ Bruner (1966), citado por Zlatev et al., 2008, p. 357.

⁴¹ Aunque en el caso de la TS, nuestro acceso a esas terceras personas está basado en un acceso previo a nuestra mente, de primera persona, que nos sirve como modelo para simular la de otros.

modo tomó forma lo que Gomila (2001) bautizó “la perspectiva de la segunda persona”⁴², que, en la medida de su más generalizada aceptación, se denomina actualmente “el giro interactivo en la investigación en cognición social” (Gallagher, 2008; De Jaegher, Di Paolo & Gallagher, 2010)⁴³. Este giro no sólo ha cuestionado el supuesto de inaccesibilidad sino también su complementario: la actitud observacional-teórica para enfrentarlo. Y admite, además, que distintas capacidades y mecanismos pueden ser necesarios en distintas etapas del desarrollo cognitivo y en distintos contextos o situaciones, todo lo cual requiere asumir una perspectiva diacrónica más amplia, que caracteriza a la cognición social como un fenómeno que se adquiere gradualmente, tanto filogenética como ontogenéticamente⁴⁴, y una actitud pluralista, que integra los mecanismos y las fuentes de información que pueden provenir de las otras perspectivas en la comprensión intencional adulta (Gallagher, 2008; Barresi & Moore, 2008). Los enfoques interactivos son de segunda persona en el sentido que consideran que la interacción es constitutiva (De Jaegher, Di Paolo & Gallagher, 2010) de la capacidad para tener y comprender intenciones (Butterfill, 2013), se desarrolla desde el nacimiento y se implementa en contextos prácticos (Gallagher, 2001; Scotto, 2002) por lo que no presupone ni requiere la activación de mecanismos inferenciales ni la capacidad para verbalizar razones. Se trata de una perspectiva diferente porque sostiene, además, que “la solución al problema real es mostrar que no hay un problema definido en términos del acceso a la mente de otros”, es decir, en los términos en los que clásicamente había sido formulado el “problema de las otras mentes” (Gallagher, 2013, p. 48)⁴⁵.

Así como los psicólogos del desarrollo reconocen el aporte de Wittgenstein⁴⁶, propuestas filosóficas como las señaladas recuperan también las ideas de Vygotsky (1978)⁴⁷ sobre el carácter primario de los vínculos intersubjetivos, y los estudios del psicólogo del desarrollo infantil Colwyn Trevarthen (Trevarthen, 1979; Trevarthen & Hubley, 1978; Bråten & Trevarthen, 2007), quien propuso tempranamente una visión interactiva de la intersubjetividad, en tres etapas del desarrollo (intersubjetividad primaria, secundaria y terciaria). El desarrollo de la cognición social en los niños

⁴² Una perspectiva que tiene diversas fuentes (algunas específicamente filosóficas, como la fenomenología), y que, resumidamente, pone en cuestión el carácter excluyente de las alternativas clásicas de las perspectivas de primera y de tercera persona para la atribución intencional de estados mentales. (Ver también Scotto, 2002).

⁴³ Similares teorías, en distintos aspectos, se han denominado “teoría corporeizada”, “narrativista”, “no-representacionista” o “interaccionista” (véase Pérez, 2013, p. 108).

⁴⁴ Es cierto que las versiones cognitivas de la TT introdujeron la perspectiva ontogenética al proponer el “test de la falsa creencia” para medir la aparición de una cierta manera de entender la capacidad para “leer” mentes (véase Wellman, 2014, “Introduction”). Los estudios posteriores fueron mostrando, sin embargo, la necesidad de incorporar otras capacidades desarrolladas más tempranamente.

⁴⁵ Esta es una respuesta a una de las maneras de entender las críticas que las perspectivas de segunda persona han hecho a las teorías estándar, esto es, como una crítica al *explanandum* de esas teorías. (Overgaard & Michael, 2015).

⁴⁶ Carpendale & Lewis (2004) proponen un modelo inspirado en Wittgenstein, basado en una hipótesis acerca del desarrollo ontogenético de un “triángulo epistémico” que vincula al niño con el adulto y con el mundo que los rodea.

⁴⁷ Vygotsky (1978) sostenía que el desarrollo cultural en los niños tiene dos etapas, la primera a nivel social o “inter-psicológica” y la segunda a nivel individual o “intra-psicológica”, y que todas las funciones superiores se originan en las relaciones sociales primarias entre individuos. (Zlatev *et al.*, 2008, p. 4).

comienza desde el nacimiento, mediante la participación en una dinámica interactiva, primero diádica y luego triádica, con niveles graduales de comprensión y comunicación gestual pre-lingüística, involucrando fenómenos de “segunda persona”, como la atención visual, los movimientos motores, los gestos, las vocalizaciones y el contagio emocional y la empatía, etc. (Carpendale & Lewis, 2004). En todas estas etapas los niños interactúan con otros agentes, es decir, no son meros observadores pasivos ni meros sistemas de respuesta refleja o automática, pero tampoco aplican una teoría ni innata ni aprendida, ni poseen un modelo de sí mismos que proyectar en los demás. Otros enfoques de la mente, como las perspectivas enactivas y corporeizadas, surgidos para dar cuenta de sensaciones o emociones, y su relación con las capacidades motoras y la expresividad corporal, vinieron a fortalecer esta visión de los otros como criaturas semejantes y próximas, más que extrañas y separadas, con las que aprendemos a convertirnos en sujetos psicológicos maduros. En esta línea, un filósofo como Gallagher (2001, 2008, 2009, 2013), entre tantos otros, quien ha incorporado de la tradición fenomenológica el papel de intersubjetividad y de la interacción, así como el papel del cuerpo y la concepción de la percepción directa de la mente, reuniéndolos con los resultados de la vertiente interactiva en la psicología del desarrollo, ejemplifica claramente el modo cómo puede practicarse la filosofía de la mente en el sentido de la variante modesta de la epistemología naturalizada: afinando conceptos, ordenando discusiones, proponiendo modelos y sugiriendo nuevas preguntas, tanto *ex ante* como *ex post*.

Actualmente el modelo de arquitectura mental que está siendo explorado por muchos psicólogos cognitivos y filósofos, que hace lugar a la necesidad de integrar mecanismos y capacidades diferentes para explicar la comprensión intersubjetiva, es un modelo así llamado de “arquitectura dual”, según el cual contamos con dos modos diferentes de procesamiento: procesos de tipo 1 y procesos de tipo 2 (Evans, 2008; Kahneman, 2012). Mientras los primeros se caracterizan por ser inconscientes, implícitos, automáticos, de bajo esfuerzo, rápidos, no verbales y eficientes, por estar impulsados por el estímulo y por ser relativamente inflexibles (por lo que algunos autores también defienden que son evolutivamente más antiguos y que los compartimos con otras especies), los procesos de tipo 2, por el contrario, son conscientes, explícitos, controlados, requieren de alto esfuerzo, son lentos, flexibles y verbales. Típicamente implican alguna combinación de esfuerzo, intención y consciencia. Además, se piensa que son más recientes en términos evolutivos y que se encuentran únicamente en los humanos (Apperly, 2010; Bohl & van den Bos, 2012; Evans, 2008). Los investigadores plantean la existencia de procesos duales en diferentes dominios de razonamiento como la memoria, la cognición numérica, el aprendizaje y también la teoría de la mente (Apperly & Butterfill, 2009; Bohl & van den Bos, 2012; De Vignemont, 2008; Gomila, 2012). La conjetura sería que es posible adoptar la estrategia de procesos duales para compatibilizar la propuesta “clásica”, que consiste en la atribución de contenidos proposicionales (evidente en las pruebas de respuestas provocadas del test de falsa creencia y que requieren de procesos de tipo 2), con el enfoque interactivo y la atribución de contenidos implícitos (que se manifiesta temprano en la ontogenia, en los casos cotidianos de interacción social y que precisan procesos de tipo 1). Este es actualmente un camino promisorio de investigación sobre la cognición social.

3. Una perspectiva naturalista integrada de la cognición social

Más allá de los avances sustantivos ya reseñados en la explicación del fenómeno de la comprensión psicológica, señalaré aquí algunos efectos positivos de carácter meta-teórico que se desprenden de ellos. En primer lugar, es actualmente usual que la literatura especializada sobre el tema, incluida la filosófica, se apoye en fuentes textuales inter-disciplinarias. En segundo lugar, a casi 40 años del trabajo de Premack y Woodruff, algunos consensos básicos han permitido integrar la evidencia acumulada en modelos explicativos más sofisticados y adecuados, de los que aún se espera obtener mejores explicaciones de la cognición social. En tercer lugar, es evidente la notoria transformación del formato en el que fue tradicionalmente planteado el problema filosófico de las “otras mentes”, frente al que se evidencia en la literatura científica y filosófica actual acerca de la “teoría de la mente” o de la “cognición social”, en humanos y animales. Aunque es la misma cuestión, una puede verse como el ancestro esquemático de la otra, por lo que éste sería más bien un caso de “reforma” integral más que de “reemplazo”. Ahora bien, sólo la reconstrucción de la discusión permite reconocer apropiadamente la magnitud de los progresos alcanzados y más específicamente, las fuentes disciplinares y teóricas, positivas y negativas, detrás de cada uno de los hitos que fueron rediseñando la identificación y la explicación del fenómeno estudiado. Más específicamente, la evolución de estos debates muestra un camino de doble vía entre filósofos de inspiración naturalista y científicos con intereses filosóficos, que ha resultado especialmente fructífero para la comprensión del tema, y también para poner en práctica una manera menos unilateral, es decir, no meramente reconstructiva, de entender la naturalización de la filosofía de la mente y de la psicología de sentido común. Por último, en esta interacción no sólo no ha ocurrido un cercenamiento o empobrecimiento de los aportes conceptuales y teóricos específicamente filosóficos, menos aún, un abandono del interés filosófico por el tema. Antes, al contrario, los filósofos han elaborado reflexiones críticas, re-interpretaciones y nuevas preguntas, así como han propuesto perspectivas y modelos cada vez más adecuados para entender los procesos cognitivos, humanos y no humanos, que nos hacen posible entendernos unos a otros. Por otra parte, la labor de los etólogos y los psicólogos del desarrollo ha estimulado la revisión, por parte de los filósofos de la mente, de supuestos de enorme arraigo en diversas tradiciones teóricas, modernas y contemporáneas, tales como el antropocentrismo, el intelectualismo, el individualismo, el lingualismo, la primacía de los propósitos epistémicos, entre otros. Además, como se puede advertir, la inspiración naturalista de estas variedades de filosofía de la mente no necesariamente ha conducido a la defensa de propuestas reduccionistas o eliminativistas acerca de la descripción y explicación ordinaria de los fenómenos mentales, puesto que comprender cómo pudieron haberse originado filogenéticamente o haberse desarrollado ontogenéticamente diversas capacidades mentalistas es sólo una parte (aunque muy importante) de la historia que hay que contar acerca de su naturaleza. Por todas estas razones, creemos que el examen de este caso permite mostrar cuáles tareas tiene por delante un filósofo naturalista y qué clase de logros puede exhibir una vez que aquellas tareas son encaradas de una manera naturalista.

Por último, creo que un cierto sesgo típicamente filosófico, me refiero con ello a un enfoque “tradicional” de la propia disciplina, originó primero el problema abstracto,

metafísico y epistémico, de las “otras mentes”. El mismo sesgo reorientó después el interés filosófico hacia el estatus epistemológico de las creencias psicológicas de sentido común. La transformación “naturalista” que hemos intentado reconstruir aquí, y que fue el efecto de la interacción de fuentes filosóficas y no filosóficas, tanto conceptuales como empíricas, permitió reorientar gradualmente el interés de los filósofos hacia la cuestión más básica y fundamental acerca de cómo nos comprendemos unos a otros. Ya no se trata, pues, de resolver un problema escéptico puramente filosófico o de examinar las credenciales epistémicas de nuestra psicología ordinaria a la luz de una explicación científica de la mente humana, un problema puramente epistemológico, sino más básicamente, de entender cómo y para qué somos capaces, nosotros y otras criaturas evolutivamente emparentadas, de comprendernos recíprocamente. Y esta cuestión puede proporcionar una respuesta más interesante y sustantiva acerca de nosotros mismos, más cercana al sentido común que a una imagen científica, que la que los filósofos tradicionales estaban buscando sin contar con o sin tomar en cuenta las teorías científicas acerca del mundo natural del que formamos parte. Y éste es, a la vuelta del camino, un resultado naturalista algo paradójico, es decir, basado en el conocimiento científico y filosófico, pero no tan quineano (o no tan científicista), y por ello, desde mi punto de vista, muy interesante.

4. Bibliografía

- Andrews, K. (2015). A Role for Folk Psychology in Animal Cognition Research. *Animal Research, Testing, and Experimentation*, paper 66. <http://animalstudiesrepository.org/acwp arte/66>.
- Apperly, I. (2010). *Mindreaders: The cognitive basis of “theory of mind”*. Hove, England: Psychology Press.
- Apperly, I. y Butterfill, S. A. (2009). Do Humans Have Two Systems to Track Beliefs and Belief-Like States? *Psychological Review*, 116(4), 953-970.
- Avramides, A. (2001). *Other Minds. Problems of Philosophy*. London/New York: Routledge.
- Baron-Cohen, S., Leslie, A. y Frith, U. (1985). Does the autistic child have a “theory of mind”? *Cognition*, 21, 37-46.
- Barresi, J. y Moore, Ch. (2008). The neuroscience of social understanding. En J. Zlatev, T. P. Racine, Ch. Sinha, E. Itkonen, (eds.), *The Shared Mind: Perspectives on Intersubjectivity* (p. 39-66), Amsterdam/Philadelphia: John Benjamins Publishing Company.
- Bermúdez, J. L. (2006). Knowledge, Naturalism, and Cognitive Ethology: Kornblith’s *Knowledge and its Place in Nature*. *Philosophical Studies*, 127, 299-316.
- Bermúdez, J. L. (2009). Mindreading in the animal kingdom. En R. Lurz (Ed.), *The philosophy of animal minds* (p. 145–164). Cambridge: Cambridge University Press.
- Bohl, V. y van den Bos, W. (2012). Toward an integrative account of social cognition: marrying theory of mind and interactionism to study the interplay of Type 1 and Type 2 processes. *Frontiers of Human Neuroscience*, 6, 274.

- Bråten, S. y Trevarthen, C. (2007). From infant intersubjectivity and participant movements to simulation and conversation in cultural common sense. En S. Bråten (ed.), *On Being Moved. From Mirror Neurons to Empathy* (p. 21-34). Amsterdam/Philadelphia: John Benjamin Publishing Company.
- Byrne, D. y Whiten, A. (1988). *Machiavellian Intelligence: Social expertise and the evolution of intellect in monkeys, apes and humans*. Oxford: Oxford University Press.
- Call, J. y Tomasello, M. (2008). Does the chimpanzee have a theory of mind? 30 years later. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(5), 187-192.
- Carey, S. (2009). *The Origin of Concepts*, Oxford: Oxford University Press.
- Carpendale, J.I.M. y Lewis, Ch. (2004). Constructing an understanding of mind: The development of children's social understanding within social interaction. *Behavioral and Brain Sciences*, 27(1), 79-96.
- Churchland, P. (1981), Las actitudes proposicionales y el materialismo eliminativo. En Rabossi, E. (ed.), *Filosofía de la Mente y Ciencia Cognitiva*, Barcelona: Paidós.
- Churchland, P. (1988). *Matter and Consciousness*. Cambridge: MA, MIT Press.
- Clark, K. J. (2016). Naturalism and Its Discontents. En Clark, K. J. (ed.), *The Blackwell Companion to Naturalism* (p. 1-15), UK: Wiley Blackwell.
- Cottingham, J. (1978). A Brute to the Brutes?: Descartes' Treatment of Animals. *Philosophy*, 53, 551-561.
- Darwin, Ch. (1871). *El origen del hombre y la selección en relación al sexo*. Barcelona: Crítica, 2009.
- Davidson, D. (1973). Interpretación radical. En D. Davidson, *De la verdad y de la interpretación* (p. 137-150), Barcelona: Gedisa, 1990.
- Davidson, D. (1975). Pensamiento y habla. En D. Davidson, *De la verdad y de la interpretación* (p. 164-178), Barcelona: Gedisa, 1990.
- Davidson, D. (1982). Animales racionales. En D. Davidson, *Subjetivo, Intersubjetivo, Objetivo* (p. 141-155), Cátedra, Madrid, 2003.
- Decety, J. y Cacciopo, J. T. (2010). An Introduction of Social Neuroscience, en J. Decety y J. T. Cacciopo (eds.), *The Oxford Handbook of Social Neuroscience* (p. 3-8), Oxford: OUP.
- De Jaegher, H., Di Paolo, E., & Gallagher, S. (2010). Can social interaction constitute social cognition? *Trends in Cognitive Science*, 14 (10), 441-447.
- Dennett, D. (1987). *La Actitud Intencional*, Barcelona: Gedisa.
- Dennett, D. (1988). Quining Qualia. En A. Marcel and E. Bisiach (eds), *Consciousness in Contemporary Science* (p. 42-77), New York: Oxford University Press.
- Dennett, D. (1994). The role of language on intelligence. En J. Khalfa (ed.), *What is Intelligence? The Darwin College Lectures* (p. 161-178), Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Dennett, D. (1995). *Darwin's Dangerous Idea. Evolution and the Meanings of Life*, New York: Simon & Shuster.

- Descartes, R. (1637). *El Discurso del Método*, Madrid: EDAF, 1982.
- Descartes, R. (1647). *Las Meditaciones Metafísicas*, Madrid: Alianza, 2005.
- de Vignemont, F. (2008). Frames of reference in social cognition. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(1), 90-100.
- Evans, J. S. (2008). Dual processing accounts of reasonement, judgment, and social cognition. *Annual Review of Psychology*, 59, 255-278.
- Fodor, J. (1975). *The Language of Thought*. New York: Crowell.
- Fodor, J. (1987). *Psychosemantics*, Cambridge, MA: The MIT Press, A Bradford Book.
- Fritzpatrick, S. (2008). Doing Away with Morgan's Canon. *Mind & Language*, 23(2), 223-246.
- Gallagher, S. (2001). The practice of mind. Theory, simulation or primary interaction? *Journal of Consciousness Studies*, 8(5-7), 5-7.
- Gallagher, S. (2008). Inference or interaction: social cognition without precursors. *Philosophical Explorations*, 11(3), 163-173.
- Gallagher, S. (2009). Two Problems of Intersubjectivity. *Journal of Consciousness Studies*, 16(6-8), 289-308.
- Gallagher, S. (2013). When the problem of inter-subjectivity becomes the solution. En M. Legerstee, D. Haley y M. H. Bornstein (eds.), *The Infant Mind* (p. 48-74), Toronto: Guilford Press.
- Goldman, A. (1992). In Defense of the Simulation Theory. *Mind & Language*, 7, (1-2), 104-119.
- Goldman, A. (2007). A Program for "Naturalizing" Metaphysics, with Application to the Ontology of Events. *The Monist*, 90(3), 457-479.
- Goldman, A. (2009). Mirroring, Simulating, and Mindreading. *Mind & Language*, 24(2), 235-252.
- Gomila, A. (2001). La perspectiva de segunda persona: Mecanismos mentales de la intersubjetividad. *Contrastes*, 6, 65-86.
- Gomila, A. (2012). *Verbal Minds, Language and the Architecture of Cognition*. London: Elsevier.
- Gopnik, A. y Wellman, H. (1992). Why the Child's Theory of Mind Really Is a Theory. *Mind and Language* 7, 145-171.
- Gopnik, A. (1996). Theories and modules; creation myths, developmental realities, and Neurath-s boat. En P. Carruthers y P. Smith (eds.), *Theories of theories of Mind*, Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Gopnik, A. y Meltzoff, A. (1997). *Words, thoughts and theories*, Cambridge: MIT Press.
- Gopnik, A. y Wellman, H. M. (2012). Reconstructing constructivism: Causal models, Bayesian learning mechanisms, and the theory. *Psychological Bulletin*, 138, 1085-1108.
- Gordon, R. M. (1986). Folk Psychology as Simulation. *Mind & Language*, 1(2), 158-171.

- Griffin, D. R. (1978). Prospects for Cognitive Ethology. *Behavioral and Brain Sciences*, 4, 527-538.
- Haack, S. (1993). The two faces of Quine's Naturalism. *Synthese*, 94(3), 335-346.
- Hacker, P.M.S. (2006). Passing by the Naturalistic Turn: On Quine's Cul-de-Sac. *Philosophy*, 81(316), 231-253.
- Heal, J. (1986). Replication and Functionalism. En J. Butterfield (ed.), *Language, Mind, and Logic*, Cambridge: Cambridge University Press; reprinted in M. Davies and T. Stone (eds.), *Folk Psychology: The Theory of Mind Debate*. Oxford: Blackwell Publishers, 1995.
- Horwich, P. (2014). Naturalism and the Linguistic Turn. En B. Bashour & H. D. Muller (eds.), *Contemporary Philosophical Naturalism and Its Implications* (p. 37-43). Routledge: New York and London.
- Hume, D. (1738). *Tratado de la naturaleza humana*. México: Porrúa, 1977.
- Humphrey, N. (1976). *The social function of intellect*. En P. Bateson y R. Hind (eds.), *Growing points in ethology*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Humphrey, N. (1984). *Consciousness regained: Chapters in the development of mind*. Oxford, England: Oxford University Press.
- Jamieson, D. (1998). Science, Knowledge, and Animal Minds. *Proceedings of the Aristotelian Society*, 98, 79-102.
- Kahneman, D. (2011). *Thinking, Fast and Slow*. New York: Ed. Farrar, Straus and Giroux.
- Kennedy, J. (1992). *The New Anthropomorphism*. Victoria, Australia: Cambridge University Press.
- Kim, J. (1988). What is 'Naturalized Epistemology'? En J. Tomberlin (ed.), *Philosophical Perspectives*, 2: *Epistemology* (p. 381-406), Atascadero, CA: Ridgeview.
- Kitcher, P. (1992). The Naturalist's Return. *Philosophical Review*, 101(1), 53-114.
- Kornblith, H. (1994). What is Naturalistic Epistemology? En H. Kornblith (ed.), *Naturalizing Epistemology* (p. 1-14), Cambridge: MIT/ Bradford, 2nd. Ed.
- Kornblith, H. (2002). *Knowledge and its Place in Nature*. Oxford: OUP.
- Kornblith, H. (2014). *A Naturalistic Epistemology*. Selected Papers. Oxford: OUP.
- Leslie, A. M. (1999). Modularity, Development, and Theory of Mind. *Mind and Language*, 14(1), 131-153.
- Lurz, R. W. (2011). *Mindreading Animals: The Debate Over What Animals Know About Other Minds*. Cambridge, Mass.: The MIT Press, A Bradford Book.
- Mill, J. S. (1865). *An Examination of sir William Hamilton's Philosophy*, New York: Cosimo, 2008.
- Nagel, T. (1974). What is it like to be a bat? *The Philosophical Review*, 83(4), 435-450.
- Nichols, S. y Stich, S. (2003). *Mindreading: An Integrated Account of Pretence, SelfAwareness, and Understanding of Other Minds*. Oxford: Oxford University Press.

- Overgaard, S. y Michael, J. (2015). The Interactive Turn in Social Cognition Research: A Critique. *Philosophical Psychology*, 28(2), 160-183.
- Pérez, D. (2002). *Los caminos del naturalismo. Mente, conocimiento y moral*. Buenos Aires: Eudeba.
- Pérez, D. (2013). *Sentir, Desear, Creer. Una aproximación filosófica a los conceptos psicológicos*, Buenos Aires: Prometeo.
- Povinelli, D., Bering, J.E. y Giambrone, S. (2000). Toward a Science of Other Minds: Escaping the Argument by Analogy. *Cognitive Science*, 24(3), 509-541.
- Premack, D. G. y Woodruff, G. (1978). Does the chimpanzee have a theory of mind? *Behavioral and Brain Sciences*, 1(4), 515-526.
- Price, H. (2004). Naturalismo sin representacionalismo. *Análisis. Revista de Investigación Filosófica*, 2014, 1(1), 1-23.
- Quine, W.V.O. (1951). "Dos dogmas del empirismo". En W.V.O. Quine, *Desde un punto de vista lógico* (p. 49-81), Barcelona: Ariel, 1962.
- Quine, W.V.O. (1969). Epistemología Naturalizada. En W.V.O. Quine, *La Relatividad Ontológica y Otros Ensayos*, Madrid: Tecnos, 1984.
- Quine, W.V.O. (1981). *Teorías y cosas*, México: UNAM, 1986.
- Scholl, B. J. y Leslie, A. M. (2001). Minds, Modules, and Meta-Analysis. *Child Development*, 72(3), 696-701.
- Scotto, C. (2002). Interacción y atribución mental: la perspectiva de la segunda persona, *Análisis Filosófico*, 22 (2), 135-151.
- Sellars, W. (1963). *Ciencia, percepción y realidad*, Madrid: Tecnos, 1971.
- Semin, E. R. y Smith, G. R. (2013). Socially Situated Cognition in Perspective. *Social Cognition*, 31(2), 125-146.
- Seyfarth, R.M. y Cheney, D.L. (2013a). Social Relationships, Social Cognition, and the Evolution of Mind in Primates. En R. J. Nelson y Sh. Mizumori (eds.), *Comprehensive Handbook of Psychology vol. 3, Biological Psychology and Neuroscience*, chap. 21 (p. 574-594), New York: John Wiley & Sons.
- Seyfarth, R.M. y Cheney, D.L. (2013b). Affiliation, empathy, and the origins of theory of mind. *PNAS*, 110(2), 10349-56.
- Smith, G. R. y Semin, E. R. (2004). Socially situated cognition: Cognition in its social context. *Advances in Experimental Social Psychology*, 36, 56-117.
- Sober, E. (2000). *Philosophy of Biology*. Oxford: Westview Press. 2nd. Edition.
- Sober, E. (2005). Comparative Psychology Meets Evolutionary Biology Morgan's Canon and Cladistic Parsimony. En L. Dalston y G. Mitman (eds.), *Thinking with Animals: New Perspectives on Anthropomorphism* (p. 96-110), New York: Columbia University Press.
- Sober, E. (2009). Parsimony and models of animal minds. En R. Lurz (ed.), *The Philosophy of Animal Minds* (p. 237-57), New York: Cambridge Univ. Press.
- Spelke E. y Kinzler, K. (2007). Core Knowledge. *Developmental Science*, 10(1), 89-96.
- Epistemología e Historia de la Ciencia 1(2): 43-66 (2017)

- Stich, S. (1983). *From Folk Psychology to Cognitive Science*, Cambridge, MA: MIT Press.
- Strawson, P. F. (1985). *Skepticism and Naturalism: Some Varieties*, London, Methuen, New York: Columbia University Press.
- Tomasello, M. y Call, J. (1997). *Primate Cognition*, New York: Oxford University Press.
- Tomasello, M. (1999). *The cultural origins of human cognition*, Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Tomasello, M. (2008). *La evolución de la comunicación humana*, Buenos Aires: Katz Ed., 2013.
- Tomasello, M. (2014). The ultra-social animal. *European Journal of Social Psychology*, 44,187– 94.
- Trevarthen, C. (1979). Communication and cooperation in early infancy: A description of primary intersubjectivity. En M. Bullowa (ed.), *Before speech* (p. 321-348), Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Trevarthen, C. y Hubley, P. (1978). Secondary intersubjectivity: Confidence, confiding and acts of meaning in the first year. En A. Lock (ed.), *Action, gesture and symbol: The emergence of language* (p. 183-229), London: Academic Press.
- Trevarthen, C. (2008). Shared minds and the science of fiction. Why theories will differ. Foreward. En J. J. Zlatev, T. P. Racine, Ch. Sinha, E. Itkonen (eds.), *The Shared Mind: Perspectives on Intersubjectivity* (p. vii-xiii), Amsterdam/Philadelphia: John Benjamins Publishing Company.
- Vygotsky, L. (1978). *Mind in Society. The Development of Higher Psychological Processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Wellman, H. M. (1990). *The Child's Theory of the Mind*. Cambridge: MIT Press.
- Wellman, H. M. (2014). *Making Minds, How Theory of Mind Develops*. Oxford Series in Cognitive Development, Oxford: Oxford University Press.
- Wimmer, H. y Perner, J. (1983). Belief about Beliefs: Representation and Constraining Function of Wrong Beliefs in Young Children's Understanding of Deception. *Cognition*, 13, 103-128.
- Wittgenstein, L. (1921). *Tractatus logico-philosophicus*, Madrid: Alianza, 2010.
- Wittgenstein, L. (1953). *Investigaciones Filosóficas*, México: UNAM, 1988.
- Whiten, A. y Byrne, D. (eds.), (1997). *Machiavellian Intelligence: Extensions and Evaluations*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Zlatev, J. (2008). The co-evolution of intersubjectivity and bodily mimesis. En J. J. Zlatev, T. P. Racine, Ch. Sinha, E. Itkonen (eds.), *The Shared Mind: Perspectives on Intersubjectivity* (p. 215-144), Amsterdam/Philadelphia: John Benjamins Publishing Company.

Las filosofías de Thomas Kuhn

Leonardo Díaz¹

Recibido: 17 de marzo de 2017

Aceptado: 30 de mayo de 2017

Resumen. Los principales estudios críticos sobre Thomas Kuhn se han centrado en las revisiones conceptuales realizadas por el autor. Estos mismos estudios han obviado la existencia de una tensión entre dos concepciones filosóficas de la ciencia que conforman *La estructura de las revoluciones científicas* llevándolo a las principales inconsistencias de su proyecto explicativo. Cinco décadas después de la publicación de su obra más célebre, estas perspectivas han influido significativamente en el modo de entender su legado.

Palabras claves: tensión – teoría - sistema de conocimientos - sistema de prácticas - ejemplar.

Title: The philosophies of Thomas Kuhn

Abstract. The main critical studies on Thomas Kuhn have focused on the conceptual revisions made by the author. These same studies have left aside the tension between the two philosophical conceptions of science that integrate *The structure of scientific revolutions*, leading to the main inconsistencies of his explicative project. Five decades after the publication of his most famous work, those perspectives have significantly influenced the way in which his legacy is understood.

Keywords: tension – theory - knowledge system - practical system - exemplar.

1. La ciencia como sistema estático de conocimientos y como sistema de prácticas

Tras realizar un balance histórico de su obra, Thomas Kuhn (2000) afirmó ser el integrante de una generación cuya imagen de la ciencia transformó la concepción epistemológica predominante durante el último cuarto del siglo XX, reemplazando una perspectiva de la ciencia como sistema estático de conocimientos por una imagen de la ciencia como sistema de prácticas.

A partir de esta autopercepción, una tradición que incluye autores como G. Doppelt (1978) y J. Rouse (2003) proporcionó una lectura de *La estructura de las revoluciones científicas* en el marco de una filosofía de las prácticas científicas.

De acuerdo con Kuhn, la perspectiva de la ciencia como sistema estático de conocimientos, esto es, la ciencia entendida como sistema de teorías, se inscribe dentro de una tradición epistemológica que presupone la existencia de unos fundamentos

¹ Universidad Autónoma de Santo Domingo

✉ leonardodiazsd@gmail.com



absolutos para la justificación de nuestras creencias y criterios ahistóricos para acceder a la verdad.

Otro supuesto de esta concepción es que la ciencia constituye un sistema algorítmico de reglas².

Además, según esta perspectiva de la ciencia criticada por Kuhn, existe una distinción tajante entre el lenguaje observacional y el lenguaje teórico. El primero se vincula con una experiencia inmediata, a diferencia del segundo, que constituye un constructo, un sistema explicativo cuya validez depende de su relación con la observación. La diferencia tajante entre ambos lenguajes permite señalar que una discusión entre teorías es siempre una discusión entre interpretaciones de los hechos, considerando a estos últimos como no problemáticos.

Los enfoques inscritos en la tradición interpretativa de la ciencia como sistema estático de conocimientos, según Kuhn, también asumieron el supuesto según el cual existe un conjunto de reglas necesarias y suficientes para el descubrimiento científico.

En contraste, una filosofía de las prácticas científicas, es decir de las acciones o actividades realizadas por las comunidades científicas sitúa las acciones o prácticas epistémicas como el fundamento explicativo del desarrollo de la ciencia. L. Olivé (2011) define una práctica epistémica como un sistema dinámico compuesto por los siguientes elementos interrelacionados:

- a) Una comunidad de agentes con habilidades y propósitos afines.
- b) El medio donde se desarrollan las actividades, un entorno interactivo estructurado por las prácticas.
- c) Un sistema de objetos propios del entorno donde interactúan los agentes productores de conocimiento.
- d) Un conjunto estructurado de actos elaborado junto a las representaciones del mundo, los fines, los supuestos básicos que guían las acciones de los agentes epistémicos, los juicios de hecho y de valor, así como la dimensión afectiva del proceso de constitución de las prácticas epistémicas.

Para una filosofía de las prácticas científicas, las teorías están contextualizadas dentro de las actividades de las comunidades científicas. Estas acciones incluyen los procesos de observación y de medición en un laboratorio, así como el procesamiento de contrastación de los datos. Implican también, la manipulación de instrumentos y tecnologías, un conjunto de destrezas adquiridas a partir del ejercicio con estos instrumentos.

Según esta imagen de la ciencia, existe un vínculo entre la cultura y la producción del conocimiento, así como entre las configuraciones del mundo que conllevan las prácticas científicas. A. Pickering (1992, p. 3) entiende la noción de cultura como “el campo de los recursos de que hacen uso los científicos en su trabajo”³, mientras la noción de práctica se refiere a la serie de acciones realizadas en un campo.

² Dentro de esta tradición se sitúan de los principales representantes del denominado Círculo de Viena, como Moritz Schlick, Rudolf Carnap y Carl Hempel. Para una síntesis de las ideas del empirismo lógico, ver: Ayer, A.J. (ed.) (1965) y Suppes, P. (1970).

³ Estos recursos no son solo materiales, sino también espirituales, pues implican también los hábitos mentales, las concepciones del mundo o los modelos implícitos en las prácticas. En este sentido es

Por su parte, J. Rouse (1996) sostiene que la noción de práctica implica, además de las acciones realizadas por los científicos, la conformación del mundo dentro de las cuales esas actividades tienen significado.

Una filosofía de las prácticas científicas niega la existencia de unos fundamentos absolutos del conocimiento. Por tratarse de un tipo de epistemología naturalizada, no pretende encontrar criterios trascendentales a partir de los cuales puedan derivarse nuestras creencias del mundo. Por el contrario, asume que las mismas son situacionales –se dan en un determinado contexto- pues no están desvinculadas de las acciones que las generan y las constituyen.

Otro supuesto de gran importancia para una filosofía de las prácticas científicas es que, si bien acepta la existencia de una normatividad en la ciencia, no la reduce a procesos de razonamiento algorítmico. Por el contrario, asume la existencia de una serie de hábitos y destrezas no algorítmicas que inciden de un modo importante en la generación del conocimiento científico, como son los procesos de aprendizaje a partir de modelos de resolución de problemas, o las destrezas para configurar los datos en un laboratorio.

La obra de Kuhn tomó distancia de la mayoría de los supuestos de la imagen de la ciencia como sistema estático de conocimientos, asumiendo los fundamentos de una filosofía de las prácticas científicas. Uno de los aspectos más destacables que marca una distinción entre Kuhn y la imagen de la ciencia que cuestiona es su rechazo al supuesto de la existencia de observaciones puras.

Kuhn asumió la tesis de Norwood Hanson (1977) denominada "la carga teórica de las observaciones". De acuerdo con la misma, las observaciones científicas se encuentran teóricamente cargadas. Esto significa que no existe una separación entre las teorías y las observaciones de los agentes productores de conocimiento. Observar es configurar lo percibido dentro de un marco conceptual. Por tanto, implica un proceso de interpretación.

Al mismo tiempo, Kuhn también asimiló la concepción ontológica de Kant. Según el filósofo alemán, la realidad es dual, constituida por dos mundos; uno incognoscible e impensable, existente de manera independiente de las voluntades y deseos de los sujetos cognoscentes -denominado noúmeno- y el otro, cognoscible y pensable, dependiente, para su conformación, de las estructuras proporcionadas por estos sujetos -denominado mundo fenoménico-⁴.

Esta tesis ontológica presupone el carácter construido de los datos, porque los mismos dependen de los marcos conceptuales⁵.

importante retomar la idea de Joseph Rouse, según la cual, si bien los estudios sobre prácticas científicas han subrayado el papel de las prácticas experimentales e instrumentales con respecto a la determinación teórica, lo cierto es que existe un vínculo donde conceptos, modelos y situaciones experimentales están interrelacionados. Cf. Rouse, J (2002).

⁴ Sobre la ontología de Kuhn, cf.: Hoyninguen Huene, P.(1993); L.Olivé (1998); Pérez Ransanz, A.R. y Álvarez, J.F. (2004).

⁵ A. Pérez Ransanz y J.F. Álvarez han relacionado las perspectivas ontológicas de Kant y Kuhn con la tesis del realismo interno, de Hilary Putnam. En este sentido, los datos son configurados desde el punto de vista intelectual, lo que implica que no existen datos independientes de las conceptualizaciones de las

Al asumir el supuesto empirista sobre la importancia de la observación como uno de los fundamentos de la ciencia -aunque asumiéndolo a partir de la tesis de Hanson sobre la carga teórica de las observaciones- Kuhn elaboró un proyecto explicativo que enfatiza por un lado la función de las teorías en el proceso de percepción e interpretación de los datos, mientras, como se mostrará en el siguiente apartado, las minimiza desde el punto de vista del aprendizaje y funcionamiento del conocimiento científico.

2. Las tensiones de Thomas Kuhn

En la obra de Kuhn existe una tensión constitutiva entre su concepción filosófica de la ciencia como sistema de prácticas y una perspectiva filosófica de la ciencia como sistema de conocimientos. El término “tensión” es una metáfora que designa el estado de un sistema teórico constituido por concepciones contrapuestas que producen ambigüedades en los términos explicativos básicos, así como inconsistencias en las explicaciones derivadas del mismo.

En *La estructura de las revoluciones científicas*, Kuhn introduce una perspectiva de la ciencia como sistema de prácticas que intenta articular dentro de un programa explicativo comprometido con una imagen de la ciencia como sistema de conocimientos. En principio, ambas perspectivas pueden concebirse como no contradictorias, es decir podemos concebir la ciencia como un sistema de conocimientos y también como un sistema de actividades.

Sin embargo, Kuhn (2000) no las ve como complementarias debido a que su noción de la ciencia como sistema de conocimientos la asocia con el empirismo lógico y se ve a sí mismo como parte de una generación rupturista con los supuestos básicos de dicho movimiento.

Entre estos supuestos está el hecho de concebir la ciencia básicamente como un sistema de teorías explicitable en un conjunto de reglas. Kuhn intenta tomar distancia de esta postura introduciendo la noción de paradigma como el fundamento de una concepción de la ciencia que prescinde de un sistema de reglas como principio explicativo básico del aprendizaje científico y del consenso de las comunidades científicas.

Kuhn introduce la noción de paradigma como modelo de resolución de problemas, una noción que implica la minimización de la función de los compromisos teóricos de los colectivos científicos durante el proceso de aprendizaje conceptual y el desarrollo de la ciencia normal.

Así, por ejemplo, Kuhn piensa que la ley de Newton $f=m.a$ puede expresarse de modo distinto dependiendo de la situación problemática (caída libre, péndulo simple). Desde su perspectiva, el estudiante aprende a distinguir cuál es la expresión formal correcta no a partir de un sistema de conocimientos explicitables en reglas, sino de un

comunidades científicas y por tanto, se rechaza la tesis de la verdad como correspondencia. Cf. Pérez Ransanz, A., y Álvarez, J.F. (2004) p. 495-517.

La perspectiva de Kuhn es anti-representacionista, es decir, rechaza la tesis del representacionismo según el cual, la mente representa a la realidad como un espejo, nuestras ideas son contenidos mentales sobre los objetos del mundo exterior. El anti-representacionismo de Kuhn, no tiene las características de ciertos enfoques relativistas como el de Richard Rorty. Para este último punto, cf. Bernardoni, J. (2009).

mecanismo inconsciente de reconocimiento basado en la habilidad de establecer relaciones de semejanza y disimilitud (Cf. Bird, 2000).

Como señala Alexander Bird (2000), el aprendizaje conceptual no se reduce meramente a un proceso inconsciente. En el caso del ejemplo de Kuhn, el estudiante puede, mediante razonamiento matemático, inferir correctamente cuál es la formulación de la ley más adecuada sin tener que recurrir a una habilidad tácita.

Así, el proceso de aprendizaje conceptual fundamental en la obra de Kuhn para el futuro consenso de las comunidades científicas podría perfectamente depender tanto de un conocimiento tácito, práctico, como explícito, de naturaleza teórica.

Pero Kuhn minimiza el papel de las teorías como fundamento explicativo del aprendizaje conceptual, mientras considera que las mismas determinan las percepciones durante el período de la ciencia normal y de las revoluciones científicas (Cf. Bird, 2000, p. 85-86).

Por otra parte, Kuhn (1970) atribuye un fuerte componente perceptual a nuestro aprendizaje. Pero si nuestras categorías y creencias teóricas determinan nuestra percepción y nuestro aprendizaje conceptual tiene una fuerte carga perceptual, entonces nuestras creencias teóricas y categorías deben determinar de igual modo dicho aprendizaje. Para Kuhn, se da lo primero, sin ocurrir lo segundo.

Al comprometerse con la tesis de la carga teórica de las observaciones, Kuhn asume que nuestras observaciones están determinadas por las categorías conceptuales y las creencias teóricas hasta tal punto de que si éstas se modifican, también se modifican las observaciones.

Es la razón por la que Kuhn señala que Urano, visto de modo intermitente durante casi un siglo, no pudo ser identificado como un planeta a partir de 1781, cuando se modificaron las categorías a partir de las cuales podían articularse con sentido las observaciones:

Un cuerpo celeste que había sido observado de modo intermitente durante casi un siglo, se vio de modo distinto después de 1781 porque, como el naípe anómalo, ya no podía ser articulado en las categorías perceptivas (estrella o cometa) proporcionadas por el paradigma previamente dominante. (Kuhn, 1970, p. 115-116).

De la misma manera, llega a sostener que al ver una caída obstaculizada, los seguidores de Aristóteles jamás habrían llegado a formular las leyes de Galileo en función de las categorías conceptuales de las que disponían (Kuhn, 1970, p. 123).

En *La estructura*, Kuhn entiende el aprendizaje conceptual como un proceso en el que la percepción juega un papel determinante. Señala que accedemos al mundo a partir de nuestras percepciones y nuestras prácticas. Antes, había señalado que el estudiante aprende los conceptos de la ciencia no tanto mediante las definiciones incompletas de los libros de texto, como por la observación y aplicación de dichos conceptos en el problema de resolución de problemas (Kuhn, 1970, p. 47).

No obstante, el importante papel que en el modelo kuhniano juega la percepción y la defensa en el mismo del papel determinante de las categorías, Kuhn minimiza el papel de los aspectos teóricos en su concepción del aprendizaje perceptivo.

Un ejemplo ilustrativo de dicho aprendizaje es mostrado por Kuhn en el famoso simposio de Urbana de 1969 (Suppes, 1970). Allí, coloca el ejemplo de un niño llamado Johnny, quien camina por el zoológico acompañado de su padre. Mientras recorre el lugar, el padre de Johnny le enseña un cisne mediante un proceso de ostensión. Más adelante, Johnny cree ver otro cisne y lo informa a su padre. Este le responde que aquello no era un cisne, sino un ganso. Luego de identificar de modo correcto un cisne, el niño vuelve a equivocarse al nombrar como tal a un ganso. Mediante un proceso de ensayo y error, de corrección y reforzamiento, Johnny va desarrollando la capacidad para identificar las aves acuáticas.

El ejemplo de Kuhn ilustra su concepción del aprendizaje conceptual. Bajo la influencia de L. Wittgenstein (1998) se opone a la tradición según la cual requerimos de un conjunto de criterios necesarios y suficientes para el aprendizaje de un concepto, o un conjunto de reglas claramente explicitadas a partir de las cuales se produzca el consenso dentro de una determinada comunidad. Por el contrario, Kuhn reemplaza la noción de regla por la noción de paradigma. Como es sabido, por la extensa literatura al respecto, este término es sumamente problemático, debido a la ambigüedad y a la polisemia con que lo emplea en *La estructura de las revoluciones científicas*. En una de sus acepciones, Kuhn lo utiliza para referirse a un modelo de resolución de problemas a partir del cual se adquieren las destrezas para la resolución de futuras situaciones problemáticas durante un período denominado ciencia normal⁶. Esta acepción de paradigma es lo que posteriormente, en la postdata, denominará ejemplar. El mismo funciona como un patrón que desarrolla la habilidad y la sensibilidad para establecer relaciones de semejanza y disimilitud entre distintos problemas.

Para Kuhn, el mecanismo opera como un proceso de reforzamiento y debilitamiento de la conducta. A partir de las soluciones concretas a problemas específicos en el marco de una determinada especialidad el estudiantado aborda las nuevas situaciones problemáticas relacionándolas con la situación que le ha servido de modelo. Aquellas relaciones de semejanza eficaces para la resolución de los nuevos problemas se refuerzan con respecto a aquellas que no lo son.

En términos cognitivos, parafraseando a A. Bird, podemos concebir una situación problemática como un estímulo o entrada (*input*). A partir del mismo, se activan respuestas vinculadas con una situación problemática resuelta o ejemplar. Dependiendo de las respuestas, el cerebro puede modificar aleatoriamente las conexiones entre las entradas y las salidas. Así, en caso de que las respuestas no se relacionen con el ejemplar, el cerebro debilita la conexión, mientras las refuerza en caso de que sí exista la misma. Mediante este proceso gradual de reforzamiento y debilitamiento neuronal se va desarrollando la capacidad de establecer correctamente las relaciones e identificar correctamente las soluciones a situaciones problemáticas concretas.

Obsérvese que el proceso no es de naturaleza consciente. El mecanismo por el cual se adquiere la destreza no es teórico, no existen reglas ni inferencias. Se trata de una habilidad adquirida mediante un proceso de prácticas, que no requiere del conocimiento

⁶ B. Wray (2011) destaca que, en sociología, R. Merton había utilizado el concepto paradigma en términos similares a los de Kuhn, como un conjunto de ejemplos de asunciones tácitas, de problemas, conceptos y conocimiento acumulado que guía la investigación científica. Sin embargo, como el mismo Merton señala, su uso no parece haber tenido ninguna incidencia en la obra de Kuhn.

de los fundamentos de dicha destreza por parte de las comunidades científicas. De ahí que, a pesar de que Kuhn pretende articular con la noción de paradigma tanto los aspectos teóricos y prácticos de la ciencia, lo cierto es que en el proceso de adquisición de los modelos de resolución de problemas puede prescindirse perfectamente de las creencias teóricas.

El proceso se trata de lo denominado por M. Polanyi (1964) como conocimiento tácito, una serie de destrezas adquiridas en un proceso de acciones, en el ejercicio mismo de la ciencia y no en un proceso de aprendizaje sobre reglas de hacer conocimiento científico.

De acuerdo con este modelo, los conceptos y teorías se aprenden posteriormente, en el ejercicio de un sistema de prácticas, ya sea porque se aprenden a través de ellas, o porque gracias a ellas obtienen su significado.

En este sentido, los paradigmas ejemplares se constituyen en el fundamento del aprendizaje científico, postura que contrasta en la obra de Kuhn con una sobrevaluación del papel de los compromisos teóricos como fundamento de la percepción y del cambio conceptual.

Si bien Kuhn concibió la noción de paradigma como un conjunto unitario de componentes teóricos y prácticos, lo cierto es que no pudo ser coherente con esta intención. En la Postdata a *La estructura* (1970), pretende solucionar el problema de los malentendidos generados por la ambigüedad del término paradigma reduciéndolo a dos significados básicos: el primero, se refiere a un conjunto de creencias, valores y técnicas; mientras el segundo, remite a las soluciones de los rompecabezas que sirven como modelos de resolución de problemas, o ejemplares.

El vínculo entre los componentes teóricos con los componentes más prácticos se diluye a medida que Kuhn desarrolla su explicación de la ciencia hasta llegar al tema del cambio conceptual. Las revoluciones científicas de Kuhn (1970) son básicamente cambios conceptuales o teóricos, porque debe recordarse antes de todo que, para Kuhn, sólo cuando todas las categorías conceptuales están dadas es posible articular la experiencia:

Excepto cuando todas las categorías conceptuales y manipuladoras están preparadas por adelantado -para el descubrimiento de un elemento transuránico adicional o para descubrir una nueva casa- tanto el científico como el hombre de la calle seleccionan grandes áreas completas del flujo de la experiencia. (Kuhn, 1970, p. 128).

Con el término “matriz disciplinar” Kuhn alude a una cosmovisión que implica los valores o criterios cognitivos para la elección entre teorías, los modelos o los compromisos con creencias metafísicas; así como las explicaciones analógicas sobre el funcionamiento de un determinado fenómeno, las generalizaciones simbólicas -estructuras formales como las leyes científicas- y los ejemplares o modelos de resolución de problemas compartidos por los practicantes de una determinada especialidad.

A pesar de que incluye a los ejemplares dentro de la matriz disciplinar, la mayor parte de los componentes (generalizaciones simbólicas, modelos y valores) aluden a la dimensión teórica de la ciencia. El hecho de que Kuhn incluyera a los ejemplares dentro de la matriz indica su preocupación por mostrar este conjunto de compromisos como un todo en el que interactúan los distintos componentes. De hecho, al definir la matriz

disciplinar, Kuhn (1970) señala que sus componentes conforman una totalidad y que funcionan unitariamente. Sin embargo, como expresión de la tensión entre sus dos concepciones filosóficas, Kuhn no es consecuente con este planteamiento y en su proyecto explicativo hay una clara desvinculación de los componentes en beneficio de la función protagónica que desempeñan los ejemplares en el proceso del aprendizaje conceptual y del desarrollo de la ciencia normal con respecto a la fase de los cambios conceptuales (revoluciones científicas).

Mientras los ejemplares desempeñan el papel protagónico durante la primera fase, durante la segunda lo desempeñan las creencias teóricas y compromisos metafísicos. La existencia de anomalías empíricas parece objetar este último planteamiento, pero Kuhn subordina el reconocimiento mismo de las anomalías a nuestras expectativas previas, como lo señala al analizar las diferencias entre como Lavoisier y Priestley sobre el fenómeno del oxígeno:

Tener conciencia por adelantado de las dificultades debió ser una parte significativa de lo que le permitió a Lavoisier ver en experimentos como los de Priestley un gas que el mismo Priestley había sido incapaz de ver". De modo inverso, el hecho de que se haya necesitado una revisión importante del paradigma para ver lo que vio Lavoisier, debió ser la razón principal de que Priestley haya sido incapaz de verlo hasta el fin de su larga vida (Kuhn, 1970, p 56).

Es cierto que Kuhn también reconoce el papel de las expectativas instrumentales, además de las teóricas, como muestra su explicación de la lenta identificación de la fisión del uranio (Cf. Kuhn, 1970, p. 60). Pero éstas no son determinantes en el proceso de transformación significativa que constituyen una revolución científica como él mismo lo plantea de modo explícito (Cf. Kuhn, 1970, p. 66). En cambio, sí lo son las creencias teóricas y los compromisos metafísicos.

La existencia de anomalías no objeta este punto, porque Kuhn niega la existencia de un proceso de refutación directa con la naturaleza:

Todavía ningún proceso revelado por los estudios históricos del desarrollo científico muestra el estereotipo metodológico de la falsación por comparación directa con la naturaleza. (Kuhn, 1970, p. 77).

Esto no solo se debe al hecho de que Kuhn (1970) considera que el proceso de reemplazo de una teoría característico de una revolución científica exige de una teoría alternativa, sino también, porque entiende que los científicos siempre elaborarán hipótesis auxiliares para desactivar cualquier intento de refutación.

Al mismo tiempo, las anomalías empíricas no pueden jugar un papel determinante durante las revoluciones científicas, porque desde la perspectiva de Kuhn no existe investigación científica sin contraejemplos:

Porque ¿qué es lo que diferencia a la ciencia normal de la ciencia en estado de crisis? Sin duda, no que la primera carezca de contraejemplos...todo problema que la ciencia normal ve como un rompecabezas puede ser visto de otra perspectiva como un contraejemplo y por consiguiente, como una fuente de crisis. (Kuhn, 1970, p. 70).

Por tanto, aunque Kuhn reconozca las anomalías empíricas como factores existentes durante el período de crisis de la ciencia normal, desde su perspectiva, son las categorías y creencias previas las determinantes para las revoluciones científicas.

El problema del consenso es en gran parte la causa por el cual Kuhn escribe *La estructura de revoluciones científicas*. Invitado a finales de la década de los años 50 al *Center for Advanced Studies in the Behavioral Sciences*, Kuhn se encontró con un notable disenso entre los científicos sociales de la institución. La situación lo estimuló a reflexionar sobre la naturaleza del consenso en las ciencias naturales. Sabemos que la respuesta dada por Kuhn al problema es que las comunidades científicas comparten un paradigma y por ello logran el acuerdo. Pero el problema generado por la ambigüedad y el descuido conceptual con que Kuhn empleó el término obscureció el asunto. En la postdata de 1969, intenta corregir el problema estableciendo que la noción de paradigma puede reducirse a dos sentidos básicos: Como matriz disciplinar y como ejemplar.

Si se recurre al término de paradigma como conjunto de creencias teóricas y compromisos metafísicos para explicar el consenso, entonces las comunidades científicas logran el acuerdo en base al hecho de compartir una cosmovisión del mundo. En este sentido, las comunidades científicas no se distinguen de otras comunidades como las de los filósofos, los teólogos, o los integrantes de un determinado movimiento estético.

Pero si el término paradigma se emplea en el sentido de ejemplar, entonces la causa del consenso de las comunidades científicas no viene dado por el hecho de compartir cosmovisiones o sistema de creencias, modelos o compromisos metafísicos. Por el contrario, el consenso viene dado por compartir un sistema de actividades. Esto daría la razón a J. Rouse (2003) para quien las comunidades científicas de Kuhn no son comunidades que comparten una ortodoxia, sino problemas y técnicas, en síntesis, un sistema de prácticas.

Debido a las ambigüedades de Kuhn, la tesis de Rouse no es tan fácil de confirmar. A pesar de lo dicho anteriormente sobre el papel de los ejemplares durante la fase de ciencia normal, Kuhn defiende la existencia de una serie de compromisos teóricos o metafísicos como base para el establecimiento de la investigación científica normal. Al referirse a la situación de desacuerdo reinante en un período de la óptica pre-newtoniana, Kuhn (1970, p. 13) señala que un cuerpo de creencias es determinante para el consenso de las comunidades científicas.

No obstante, en otro fragmento de *La estructura de las revoluciones científicas*, Kuhn establece cómo los ejemplares producen un consenso disciplinar independientemente del disenso teórico o de un paradigma entendido como una serie de compromisos teóricos durante el período de la ciencia normal, como lo señala al referirse al disenso correspondiente a las teorías de la materia durante las décadas de los años 20:

(...) una teoría de la materia no es el tipo de tópico sobre el que los miembros de una sola comunidad deban estar necesariamente de acuerdo. La necesidad de un acuerdo depende de lo que la comunidad hace. (Kuhn, 1970, p. 180)

Durante el período previo a la constitución de la ciencia normal –período pre-paradigmático- Kuhn señala que no existe una tradición de investigación científica constituida, sino distintas escuelas combatiendo conceptualmente entre sí. Por tanto, no existen soluciones concretas que sirvan de modelo de resolución de problemas para

proporcionar un entrenamiento homogéneo. Una situación similar ocurre en el período posterior a la ciencia normal caracterizado por las revoluciones científicas. Kuhn entiende este período como cambios de visión de mundo, de *gestalt*, pero como los cambios de percepción significativa –aquellos relacionados con una reorganización de los datos– son para Kuhn insolubles de los cambios de creencias, una modificación perceptiva de este tipo requiere de una modificación en las creencias de los perceptores. Un ejemplo de esta concepción de Kuhn se muestra cuando al analizar las revoluciones científicas como cambios en la visión de mundo señala que mientras los astrónomos occidentales pre-copernicanos veían los cielos inmutables antes de la emergencia del paradigma copernicano, los astrónomos chinos, "cuyas creencias cosmológicas no impedían los cambios celestes, habían registrado la aparición de muchas estrellas nuevas en los cielos en fechas mucho más tempranas" (Kuhn, 1970, p. 116).

Al hacer de las teorías determinantes de la percepción, Kuhn genera paradojas para su proyecto explicativo. Por un lado, la percepción forma parte de un proceso de aprendizaje de relaciones de semejanza y disimilitud que no requiere del aprendizaje de un sistema de reglas ni de conocimientos explícitos como son las teorías. Por el otro, la percepción de los científicos depende de las teorías de tal modo que si éstas se modifican transforman el objeto mismo de percepción.

Kuhn entiende que las revoluciones científicas implican transformaciones en los ejemplares de una determinada tradición de investigación. Pero, como he señalado, cuando leemos el capítulo X de *La estructura* sale a relucir que Kuhn entiende las revoluciones científicas básicamente como cambios de cosmovisión, que, como el mismo Kuhn se ha encargado de establecer en la postdata, difieren de los ejemplares⁷. Se entiende que tras una revolución científica, los libros de texto deberán ser reescritos para hacerlos acorde con la nueva tradición de ciencia normal. Es en estos libros de texto donde se exponen los ejemplares que, a juicio de Kuhn, modelan las mentes de los futuros científicos generándoles sus predisposiciones mentales⁸.

Los libros de textos se escriben una vez que se ha instaurado una nueva tradición de investigación, la cual implica una transformación conceptual. Pero, si los libros de texto son reescritos a partir de las transformaciones conceptuales, entonces los modelos de resolución de problemas dependen fundamentalmente de las teorías y cosmovisiones.

Si en la imagen de la ciencia como sistema de conocimientos las prácticas se derivan del conjunto de las teorías predominantes y los conceptos se aprenden como parte de una fase previa al proceso de las aplicaciones, en la filosofía de las prácticas científicas de Kuhn el proceso es inverso, las teorías se aprenden en el contexto de un quehacer y los conceptos adquieren sus significados dentro del proceso de lo que los científicos observan y hacen.

Sin embargo, al mismo tiempo, esta imagen de la ciencia donde los sistemas de prácticas sirven de fundamento para las teorías implica también una imagen de la ciencia donde las teorías son el fundamento de las revoluciones científicas.

⁷ Véanse los dos sentidos distintos del término paradigma en la postdata.

⁸ Kuhn, (1977). Las predisposiciones mentales deben verse más como tendencias de las comunidades científicas, que como características de científicos individuales. Para este problema y cómo Kuhn es un precedente de la epistemología social por su énfasis en los colectivos científicos, (cf. D' Agostino, F., 2010).

Al igual que el concepto de paradigma, la noción kuhniana de inconmensurabilidad expresa también las tensiones de *La estructura de las revoluciones científicas*. Debe recordarse que Kuhn habla de inconmensurabilidad entre paradigmas. Pero como el término es empleado con gran ambigüedad, no está claro a lo que se refiere al hablar de esta incompatibilidad. El hecho de que exista una noción teórica de paradigma y una noción no teórica vinculada con el concepto de ejemplar, coloca el problema tanto a nivel de las creencias y teorías como a nivel de las prácticas de las comunidades científicas.

Kuhn introduce el término de inconmensurabilidad para explicar el fenómeno histórico de la incompatibilidad entre escuelas de una disciplina naciente. Rechazando el supuesto empirista según el cual existe un conjunto de reglas o un método universal que distingue a los practicantes de la ciencia de los que se dedican a defender doctrinas en una determinada escuela o movimiento, Kuhn sostiene que la diferencia entre ambos grupos no se basa en el uso o no de reglas o métodos, sino en la inconmensurabilidad de sus modos de percepción y de prácticas.

Según la interpretación de G. Doppelt, la inconmensurabilidad se produce a nivel de las formas de vida de los colectivos científicos más que a nivel de los términos que constituyen teorías científicas rivales⁹. Kuhn emplea el término unas doce veces en *La estructura de las revoluciones científicas* refiriéndose a problemas de incompatibilidad:

- a) En el proceso de percepción y en el ejercicio de las prácticas científicas.
- b) En las distintas tradiciones de investigación.
- c) En el mundo de la investigación.
- d) Entre las tradiciones de ciencia normal después de las revoluciones científicas.
- e) Entre normas.
- f) Entre paradigmas opuestos.
- g) Entre soluciones a problemas científicos.
- h) Entre puntos de vista opuestos.
- i) Entre teorías rivales.

El empleo casi esquemático del término en *La estructura de las revoluciones científicas* ha contribuido a muchísimas distorsiones de interpretación relacionadas con su significado. Esto ha obstaculizado la comprensión del concepto dentro del proyecto explicativo kuhniano¹⁰.

No obstante, lo que se muestra en los usos del término de inconmensurabilidad en *La estructura de las revoluciones científicas* es la tensión existente

⁹ Doppelt señala que para Kuhn los paradigmas rivales son inconmensurables porque: (1) No comparten el mismo lenguaje científico; (2) No abordan, admiten o perciben los mismos datos observacionales; (3) No se interesan por solucionar los mismos problemas; (4) No interpretan de la misma manera lo que cuenta como una adecuación, o una legítima explicación. En síntesis, paradigmas inconmensurables no compartirán los mismos conceptos, datos, problemas teóricos y criterios de adecuación explicativos. (Doppelt, G., 1978).

¹⁰ Kuhn intentó solventar el problema de las interpretaciones del concepto de inconmensurabilidad. Pero este intento no fue sólo un conjunto de aclaraciones sobre el uso del término tal y como había sido usado en *La estructura de las revoluciones científicas*, sino también, una importante revisión conceptual de los supuestos implícitos en el mismo. A partir de esta revisión conceptual se generó una extensísima literatura en la que destacan: Kitcher, P., (1982); Sankey, H., (1998); Bird, A. (2000); Hoyninguen-Huene, P. y Sankey, H., (2001); Gattei, S., (2008); Kuukkanen, J.M., (2008).

entre un sentido teórico del vocablo –producto de la concepción de la ciencia como sistema estático de conocimientos con la que Kuhn es compromisaria- y un sentido práctico –relacionado con su filosofía de las prácticas científicas-.

En su primer uso, el término se relaciona con la concepción kuhniana sobre la percepción de las comunidades científicas. El hecho de que la misma sea deudora de la tesis de la carga teórica de las observaciones sitúa el problema de la inconmensurabilidad en un plano teórico, puesto que, como consecuencia de esta tesis, la incompatibilidad a nivel de las percepciones implica una incompatibilidad a nivel de las teorías o creencias que determinan las percepciones.

Por este motivo, se justifican parcialmente las lecturas de D. Shapere (1964 y 1971), I. Scheffler (1967) o H. Sankey (1994 y 1998) en las que se aborda la noción kuhniana de la inconmensurabilidad a nivel de los marcos conceptuales y de los significados de los términos que constituyen los mismos, convirtiendo el problema de la inconmensurabilidad en un problema básicamente semántico.

Kuhn sostiene también la existencia de una inconmensurabilidad a nivel de los mundos de investigación. De acuerdo con la concepción ontológica kuhniana, los mundos de investigación remiten a los mundos fenoménicos, porque la realidad nouménica es inaccesible desde el punto de vista cognoscitivo. Ya que los mundos fenoménicos se constituyen a partir de los marcos conceptuales de las comunidades científicas, la inconmensurabilidad puede verse también desde el punto de vista ontológico, como un problema de incompatibilidad entre marcos conceptuales.

Sin embargo, en la perspectiva kuhniana, la inconmensurabilidad también se produce a nivel de las tradiciones de investigación. Como en este enfoque, las tradiciones de investigación se constituyen a partir de los modelos de resolución de problemas o ejemplares. G. Doppelt (1978) acierta al señalar que el proyecto explicativo de Kuhn implica una tesis sobre la incompatibilidad entre los problemas y las soluciones de comunidades científicas opuestas, con lo que el problema de la inconmensurabilidad se da también a nivel de los distintos sistemas de prácticas de las comunidades científicas.

3. Las tensiones en el legado de Kuhn

Las obras cuyo estilo y contenido están constituidas por contrastes, tensiones o perspectivas disímiles, permiten la conformación de una herencia igualmente disímil, en función de donde se focalicen las interpretaciones. Este es el caso de Kuhn, cuya tensión entre una concepción de la ciencia como sistema de conocimientos y una filosofía de las prácticas científicas también generó un legado caracterizado por la ambigüedad.

Formado con las fuentes de la tradición empirista que conciben la ciencia como sistema de conocimientos y consideran el problema del consenso como un problema de primerísimo orden, Kuhn introdujo la noción de paradigma titubeando entre una perspectiva de corte intelectualista y una filosofía de las prácticas científicas. De ahí que, el concepto fundamental llamado a explicar el funcionamiento y el consenso dentro de las comunidades científicas, fundamenta una tesis sobre la percepción que sobredimensiona su papel de las creencias teóricas al hacerla determinante de los datos científicos.

Por otro lado, asimilando las lecturas de Wittgenstein y de Polanyi, desarrolló a partir de una noción no teórica de paradigma, una filosofía de las prácticas científicas que minimiza el papel de las teorías, mientras prescinde de la necesidad de un conjunto algorítmico de reglas, o de un cuerpo explícito de creencias para lograr unos acuerdos mínimos sobre los cuales desarrollar la actividad científica. Recuperando para la filosofía de la ciencia la noción de un conocimiento tácito, desarrolló una perspectiva de la cognición novedosa cuyo legado ha sido significativo para investigaciones del programa cognitivo como H. Andersen, P. Barker y X. Chen (2006) o T. Nickles (2003), entre otros. Al mismo tiempo, permitió desarrollar a autores como J. Rouse (2002) una lectura de Kuhn para la fundamentación de una filosofía de las prácticas científicas.

La noción de inconmensurabilidad experimentó una dualidad similar. Por un lado, acorde con la noción más teórica de paradigma, permitió a ciertos intérpretes de Kuhn realizar una interpretación semántica, en la línea de autores como Shapere o Scheffler (Kuhn, 1970, p. 129).

Por otra parte, en la línea de autores como Doppelt, la noción de inconmensurabilidad, vinculada a la noción de paradigma ejemplar, permitió realizar una interpretación de incompatibilidad a nivel de formas de vida o sistemas de prácticas (Cf. Polanyi, 1964).

De este modo, el autor que se consideró a sí mismo compromisario de una concepción filosófica que hacía ruptura con una filosofía de la ciencia como sistema estático de conocimientos mantuvo vínculos con enfoques filosóficos inscritos en esta tradición mientras apadrinó líneas de investigación situadas en las antípodas de esta perspectiva. De este modo, cinco décadas después de su publicación, *La estructura de las revoluciones científicas* ha proporcionado a la posteridad un legado heurístico, así como paradójico.

4. Bibliografía

- Andersen, H., Barker, H. y Chen, X (2006). *The cognitive structure of scientific revolutions*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ayer, A.J. (ed.) (1965). *El positivismo lógico*. México: FCE.
- Bernardoni, J. (2009). *Knowing nature without mirrors: Thomas Kuhn's antirepresentationalist objectivity*. Saarbrücken. Germany: VDM Verlag.
- Bird, A. (2000) *Thomas Kuhn*. Princeton: Princeton University Press.
- Brad Wray, K. (2011). *Kuhn's evolutionary social epistemology*, Cambridge: Cambridge University Press.
- D' Agostino, F. (2010). *Naturalizing Epistemology. Thomas Kuhn and the 'Essential Tension'*. Hampshire: Palgrave and Macmillan.
- Doppelt, G. (1978). Kuhn's epistemological relativism: A interpretation and defense. *Inquiry*, 21, 33-86.
- Gattei, S. (2008). *Thomas Kuhn: A philosophical history for our time*. Aldershot: Hampshire, Ashgate Publishing.

- Hanson, N. (1977). *Patrones de descubrimiento*. Madrid: Alianza Editorial.
- Hoyninguen Huene, P. (1993). *Reconstructing scientific revolutions: Thomas S. Kuhn's philosophy of science*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Hoyninguen Huene, P. y Sankey, H. (eds) (2001). *Incommensurability and related matters*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Kitcher, P. (1992). Implications of Incommensurability. *Philosophy of Science*, 2, 689-703.
- Kuhn T. (1970). *The structure of scientific revolutions*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Kuhn, T. (1977). The essential tension: Tradition and innovation in scientific research. En Kuhn, T. (1977), *The essential tension. Selected studies in scientific tradition and change*. Chicago; The University of Chicago Press.
- Kuhn, T. (2000). The problem with the historical philosophy of science. En J. Conant y J. Haugeland J. (eds.). *The road since structure*. Chicago: The University of Chicago Press, Chicago, 105-120.
- Kuukkanen, J.M. (2008). *Meaning changes. A study of Thomas Kuhn's philosophy*, Saarbrücken, Germany: VDM Verlag.
- Loose, J. (2001) *Historical introduction to the Philosophy of science*. New York: Oxford University Press.
- Nickles, T. (2003). Normal science: From logic to case-based and model-based reasoning. En *Thomas Kuhn*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Olivé, L. (1998). Constructivismo, relativismo y pluralismo en la filosofía y la sociología de la ciencia. En C. Solís Santos (ed.). *Alta tensión: Historia, filosofía y sociología de la ciencia: Ensayos en memoria de Thomas Kuhn*. Barcelona: Ed. Paidós.
- Olivé, L. (2011). Tipos de conocimientos y prácticas epistémicas. *Estudios filosóficos*, 173, 9-25.
- Pérez Ransanz, A.R. & Álvarez, J.F. (2004). De Kant a Kuhn, acotando por Putnam. *Endoxa*, 18, 495-517.
- Pickering, A. (ed.) (1992). *Science as practice and culture*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Polanyi, M. (1964). *Personal knowledge: Towards a post-critical philosophy*. New York: Harper and Row.
- Rouse, J. (1996). *Engaging science: How to understand its practice philosophically*. Ithaca: Cornell University Press.
- Rouse, J. (2002). *How scientific practices matter. Reclaiming philosophical naturalism*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Rouse, J. (2003). *Kuhn's Philosophy of Scientific Practice*. En T. Nickles (ed.), *Thomas Kuhn*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sankey, H. (1994). *The Incommensurability thesis*. Aldershot: Avebury.
- Sankey, H. (1998). Taxonomic incommensurability. *International Studies in the philosophy of science*, 12, 7-16.

- Shapere, D. (1964). The structure of scientific revolutions. *Philosophical review*, 383-394.
- Shapere, D. (1971). The paradigm concept. *Science*, 172, 703-709.
- Scheffler, I. (1967). *Science and subjectivity*. New York: The Bobbs-Merrill Company.
- Suppes, P. (1970). *Set Theoretic Structures in Sciences*. Stanford: Stanford, University Press.
- Wittgenstein, L. (1998). *Investigaciones filosóficas*. Barcelona: Ed. Crítica.

El descubrimiento de la tabla periódica como un caso de descubrimiento simultáneo

Eric Scerri¹

Resumen. Este artículo examina la cuestión de la prioridad y la simultaneidad de descubrimientos en el contexto del descubrimiento del sistema periódico. Se argumenta que más que ser anómalos, los descubrimientos simultáneos son la regla. Más aún, argumento que el descubrimiento de la tabla periódica por al menos seis autores en el período de siete años representa uno de los mejores ejemplos de descubrimiento múltiple. Esta noción está sustentada por una nueva visión del desarrollo evolutivo de la ciencia a través de un mecanismo que puede ser llamado “Ciencia Gaia” [*Sci-Gaia*] en analogía con la hipótesis Gaia de Lovelock.

Palabras clave: tabla periódica – descubrimiento simultáneo – conflicto de precedencia – Mendeleev.

Abstract. The article examines the question of priority and simultaneous discovery in the context of the discovery of the periodic system. It is argued that rather than being anomalous, simultaneous discovery is the rule. Moreover, I argue that the discovery of the periodic system by at least six authors in over a period of 7 years represents one of the best examples of a multiple discovery. This notion is supported by a new view of the evolutionary development of science through a mechanism that is dubbed Sci-Gaia by analogy with Lovelock's Gaia hypothesis.

Keywords: periodic table - multiple discovery - priority conflicts – Mendeleev.

1. Introducción

El tema de los descubrimientos simultáneos es un tema más bien controversial entre los investigadores que estudian la naturaleza de la ciencia.² En términos generales historiadores y filósofos tienden a focalizarse en descubrimientos individuales y por lo tanto ven a los descubrimientos simultáneos como algo a ser justificado como una clase de anomalía. Por tomar sólo un ejemplo, el libro clásico de Thomas Kuhn está dedicado principalmente a las revoluciones científicas y a los subsecuentes quiebres radicales que están asociados casi invariablemente a uno u otro individuo, sea Lavoisier, Einstein, Planck o Darwin (Kuhn, 1962).

Por otro lado, y quizás no sea algo tan sorprendente, los sociólogos de la ciencia toman una perspectiva más amplia del descubrimiento científico y lo ven como un fenómeno más bien colectivo que involucra a muchos individuos. Para los sociólogos, el

¹ Department of Chemistry and Biochemistry, UCLA. Originalmente publicado como Scerri (2015). Traducido por Pío García y Andrés Ilcic.

✉ scerri@chem.ucla.edu

² En este artículo de Wikipedia se puede encontrar una lista de descubrimientos simultáneos o múltiples en varios siglos: http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_multiple_discoveries, accedida el 19 de abril de 2014. Scerri, Eric (2017). El descubrimiento de la tabla periódica como un caso de descubrimiento simultáneo. *Epistemología e Historia de la Ciencia*, 2(1), 82-97. ISSN: 2525-1198



fenómeno de descubrimientos simultáneos o múltiples parece perfectamente natural y es considerado más como la regla que como la excepción (Lamb & Easton, 1984). En este artículo, argumentaré que el descubrimiento de la tabla periódica en la década de 1860 representa un excelente ejemplo de descubrimiento simultáneo, aunque uno que tiene lugar en un período de siete años. Al hacer esto, estaré más del lado de los sociólogos que del de mis colegas de historia y filosofía de la ciencia y del que proviene mi formación.

Déjenme decir que cuando apelo a la sociología, lo que tengo en mente es la

peso de los elementos

hidrógeno	1
azot [nitrógeno]	4.2
carbono (carbón)	4.3
oxígeno	5.5
fósforo	7.2
azufre	14.4

Figura 1. Tabla de pesos atómicos de Dalton. Parte de una de las primeras tablas de pesos atómicos y moleculares publicada por Dalton. Contiene sólo cinco elementos además del hidrógeno, que se toma con el peso atómico estándar de una unidad. Poco después Dalton cambió el peso del oxígeno a 8.

sociología clásica de la ciencia tal como ha sido ejemplificada por el trabajo de Robert Merton (1973). No tengo simpatía alguna por el giro sociológico que se dio a partir del libro de Kuhn. Este libro famosamente concluye que los cambios de paradigmas o las revoluciones científicas no ocurrieron de una manera racional sino que dichos cambios fueron gobernados por cambios gestálticos colectivos y factores sociales. Como es bien sabido, esto animó a los sociólogos de la ciencia a ignorar la mirada de que la ciencia provee conocimiento objetivo acerca del mundo y les permitió leer factores sociales en todos los desarrollos científicos y, en muchos casos, incluso a adoptar una forma de relativismo con respecto a la naturaleza del progreso científico. De acuerdo con esta mirada, alguien como Darwin prevaleció en sus visiones acerca de la evolución de las especies porque las condiciones sociales en la Inglaterra del siglo XIX favorecieron la aceptación de sus ideas, más que porque Darwin de alguna manera haya propuesto alguna “verdad” acerca de cómo se comporta la naturaleza.

2. Una breve historia de la tabla periódica

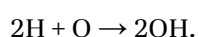
Un lugar conveniente para empezar a considerar el desarrollo de la tabla periódica (Scerri, 2007) es con el trabajo del maestro de escuela de Manchester John Dalton y su restablecimiento de la teoría atómica. Desde sus orígenes en el trabajo de Dalton sobre meteorología, emergió una visión de que los componentes más pequeños de la materia consistían en partículas o átomos indivisibles. Cada elemento estaba constituido por átomos que tienen pesos diferentes. El paso decisivo que tomó Dalton fue el de atribuir pesos relativos a los átomos de muchos elementos. Al hacerlo, Dalton apeló a los datos experimentales acerca de cuánto se combinaba el hidrógeno con cualquier otro elemento

particular (Dalton, 1808). Él, además, necesitaba asumir cuántos átomos de hidrógeno se combinaban con cuántos átomos de los otros elementos en cuestión. Esto requería una decisión, arbitraria de su parte, a la cual arribó a partir de considerar la mayor simplicidad. Asumió que el agua era un compuesto de hidrógeno y oxígeno que consistía de un átomo de cada elemento, de lo que se seguía que el peso de oxígeno que se combinaba con un peso fijo de hidrógeno debería ser tomado como el peso atómico del oxígeno. A su debido tiempo, Berzelius y otros se dieron cuenta de que el agua consistía en dos átomos de hidrógeno combinado con uno de oxígeno, lo que llevaba a una duplicación del valor original de Dalton para el peso atómico del oxígeno (figura 1).

Luego vinieron los experimentos realizados por Gay-Lussac y Humbolt acerca de la combinación de gases, en los que encontraron que los gases se combinaban en una proporción de los valores enteros de los volúmenes (Gay Lussac, 1809/1923). Aquí hay un buen ejemplo,

2 volúmenes de hidrógeno + 1 volumen de oxígeno → 2 volúmenes de vapor de agua.

La única interpretación disponible para Dalton involucraba la siguiente ecuación:

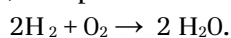


Pero esta ecuación no estaba balanceada. Además, hasta es difícil ver cómo es que esto podía darse dado que, desde la perspectiva de Dalton, los átomos de oxígeno ni de ningún otro elemento podían “dividirse” puesto que él suponía que los átomos eran indivisibles. Mientras la confusión reinaba tanto acerca de las fórmulas o compuestos en general como de los pesos atómicos, al parecer pocas personas notaron que el problema había sido esencialmente resuelto por el trabajo de Avogadro, quien en 1811 había escrito que volúmenes iguales de gas bajo las mismas condiciones de temperatura y presión contenían el mismo número de moléculas (Avogadro, 1811/1890).

Si la hipótesis de Avogadro es correcta, entonces hay igual número de moléculas de vapor en el producto de la reacción de los gases arriba citados como moléculas de hidrógeno al comienzo. En segundo lugar, hay dos veces más moléculas de agua que átomos de oxígeno. Se sigue que una única molécula de agua contiene dos veces la cantidad de átomos de hidrógeno que la cantidad de átomos de hidrógeno que se requiere para dar la fórmula H_2O en lugar de HO , que era la fórmula de Dalton.

Avogadro también presentó el postulado de la existencia de moléculas diatómicas de gas. El argumento es simple: si el volumen de hidrógeno y oxígeno se presentaran como átomos únicos, entonces ellos se deberían combinar para formar tantas moléculas de agua como átomos de hidrógeno y oxígeno haya. Pero si uno asume que cada molécula de hidrógeno consiste de dos átomos, como lo hace cada molécula de oxígeno, entonces dos moléculas de hidrógeno (cuatro átomos) se combinarán con una de oxígeno (dos átomos) para formar dos moléculas de agua, cada una de las cuales tiene la fórmula H_2O .

Combinando la fórmula correcta para el agua y la naturaleza diatómica de las moléculas de los gases elementales, uno puede ahora correctamente escribir



Las cosas llegaron a un punto crítico en el la famosa conferencia Karlsruhe de 1860 en la cual Cannizzaro revivió la hipótesis de Avogadro y produjo una serie de pesos atómicos

consistentes y más precisos (Cannizzaro, 1858/1923). Éste fue un momento clave que esencialmente abrió la puerta para el descubrimiento de la tabla periódica.

Sólo entonces pudieron químicos, físicos y otros comenzar a ponderar la relación entre los datos unificadores provistos por pesos atómicos confiables y las propiedades químicas y físicas de los elementos. Como es bien sabido, la secuencia de incremento de pesos atómicos de los elementos provee el principio de orden o la columna vertebral sobre la que depende el edificio entero de la tabla periódica. Al organizar los elementos de acuerdo con el orden impuesto por el incremento de pesos atómicos, se hace claro que la periodicidad química o la repetición ocurre luego de intervalos regulares.

3. Los primeros indicios de la periodicidad química

Sin lugar a dudas, el primer indicio de periodicidad química se debe al químico alemán Wolfgang Döbereiner, quien a partir de 1827 comienza a descubrir lo que conocemos como tríadas de elementos (Döbereiner, 1829). Él se dio cuenta de que había varios conjuntos de tres elementos entre los cuales un elemento tenía un peso atómico que era aproximadamente el promedio de los otros dos. Por ejemplo, el sodio tiene un peso atómico de aproximadamente 23 y así representa el promedio del peso del litio (7) y del potasio (39). Este hecho es en sí mismo sugerente pero se torna aún más sugerente cuando se combina con la comprensión de que las propiedades químicas y físicas del sodio son también intermedias entre aquellas del litio y del potasio. De esta manera parece que la relación entre pesos atómicos es capaz de capturar una relación entre las propiedades de elementos distintos.

En retrospectiva, Döbereiner había esencialmente descubierto la periodicidad química puesto que lo que subyace a la existencia de tríadas es el hecho de que la presencia de sodio y potasio se da a una distancia regular del litio en términos de la secuencia del incremento de pesos atómicos. Pero, por supuesto, Döbereiner no produjo una *tabla* periódica, sino que sólo descubrió varias tríadas inconexas.

Otro indicio importante, al cual le llevó más tiempo desarrollarse de manera completa, fue el descubrimiento realizado por el médico escocés William Prout, quien realizaba su trabajo en Londres. Al examinar una lista de pesos atómicos, Prout notó que los pesos de varios elementos eran un múltiplo entero del peso del elemento más ligero, o sea, el hidrógeno. Llegó a la conclusión obvia de que todos los elementos podían ser compuestos de hidrógeno. Esta hipótesis parece haber contribuido al pensamiento de varios de los co-descubridores del sistema periódico, aunque, de modo un tanto paradójico, no al pensamiento de Dimitri Mendeleev, como veremos más tarde. Por supuesto, la hipótesis se encontró con la inmediata resistencia por parte de los químicos, quienes señalaron que había demasiadas excepciones que consistían en elementos cuyo peso atómico no era nada cercano a un múltiplo entero del peso atómico del hidrógeno. Utilizando los datos modernos, los dos mejores ejemplos son el cloro con un peso atómico promedio de 35,45 y el cobre con 65,55.

4. Finalmente la tabla periódica, comenzando con de Chancourtois

Para retomar mi punto anterior acerca del rol importante jugado por Cannizzaro al publicar un conjunto consistente y preciso de pesos atómicos, habría que tomar en cuenta que la primera tabla periódica publicada, o quizás uno deba decir sistema periódico, se logró sólo dos años después. Esto tuvo lugar en Francia en manos del geólogo francés Emile Beguyer de Chancourtois (1862). De Chancourtois publicó un sistema periódico tridimensional que consistía de elementos organizados en orden creciente de pesos atómicos en el *Comptes Rendus de L'Academie des Sciences*³ (Van Spronsen, 1969a, pp. 46-7). De Chancourtois organizó sus elementos en una línea helicoidal inscrita en un cilindro metálico. Una vuelta completa del cilindro representaba 16 elementos y el 17.º aparecía directamente debajo del primer elemento. De esta manera, el litio, el sodio y el potasio eran todos vistos en una línea vertical a lo largo del cilindro y lo mismo para los otros grupos de elementos, como se les denominaría posteriormente. De manera similar, los elementos berilio, magnesio, calcio y estroncio todos estaban en otra línea vertical al lado de la que recién describimos, junto con algunos errores desde una perspectiva moderna, concretamente los elementos hierro y uranio (figura 2).

Desafortunadamente, el artículo publicado, que apareció en tres partes, no incluyó ninguno de los diagramas del sistema de De Chancourtois producto de la incompetencia del editor, destruyendo así cualquier fuerza visual que esta organización pudiera haber tenido. Enojado con esta omisión, De Chancourtois republicó su trabajo personalmente, pero, como consecuencia, fracasó en alcanzar a la audiencia pretendida. Al parecer perdió interés en su idea y retornó a sus otras actividades científicas.

En realidad el trabajo de De Chancourtois sólo vio la luz a partir de la conferencia Faraday de Mendeleev de 1889 en Londres, cuando Mendeleev mencionó el trabajo de De Chancourtois, pero él agregó que De Chancourtois no había considerado al sistema como “uno natural”. Este pasaje parece haber provocado a un tal P. J. Hartog, un químico inglés que había estudiado ampliamente en Francia, apurado por defender las afirmaciones de De Chancourtois en un artículo publicado en la revista *Nature* del mismo año y que comienza así:

Es bien sabido que la clasificación de los elementos de Newlands-Mendeleev fue precedida por los descubrimientos de ciertas relaciones numéricas entre los pesos atómicos de elementos afines debidos a Döbereiner, Dumas y otros; pero lo que ha sido casi completamente ignorado es el inmenso avance realizado por M.A.E. Béguyer de Chancourtois, un distinguido geólogo francés (Hartog, 1889, p. 186).

Hartog tradujo de manera detallada numerosos pasajes de los artículos de Chancourtois y concluyó:

³ De Chancourtois no cita a Cannizzaro por nombre y algunos de sus pesos atómicos diferían ligeramente. Para una comparación detallada de los pesos atómicos usados por Cannizzaro y De Chancourtois ver Van Spronsen (1969b).

Será bueno señalar de manera inmediata que el sistema de M. de Chancourtois le asigna a las características numéricas de los elementos una fórmula general de la forma $(n+16n')$ donde n' es necesariamente un entero; y, así, su tabla nos lleva al hecho de que la diferencia entre los pesos atómicos de los cuerpos afines se aproximan en muchos casos a múltiplos de 16. Así, obtenemos las series paralelas de las cuales nuestro autor nos habla—

Li	Na	K	Mn	Rb
7	... 7 + 16 = 23	... 7 + 2.16 = 39	... 7 + 3.16 = 55	... 7 + 5.16 = 87
O	S	Se	Te	
16	... 16 + 16 = 32	... 16 + 4.16 = 80	... 16 + 7.16 = 128	

Cuando miramos las primeras dos vueltas de la hélice de Chancourtois nos preguntamos si el descubrimiento de Newlands y Mendeleeff no está ante nosotros (Hartog, 1889, p. 187).

No hay duda de que de Chancourtois fue el primero en publicar la noción de que las propiedades de los elementos químicos eran una función periódica de sus pesos atómicos. O, como él lo presentó, que las propiedades de los cuerpos son las propiedades de los números.

5. Newlands

El segundo descubrimiento del sistema periódico tuvo su sede en Londres con John Newlands, un químico especializado en el azúcar y tutor privado de química, cuya falta de posición académica formal puede haber contribuido a que su trabajo haya sido pasado por alto, aunque eventualmente fue galardonado con la medalla Davy por su descubrimiento.

Hacia [1863], Newlands ya clasificaba a los elementos en un total de siete grupos mientras que también exploraba las relaciones numéricas entre sus pesos atómicos.

Por ejemplo, su primer grupo consistía de

Metales de los álcalis: - litio 7; sodio 23; potasio, 39; rubidio 85; cesio 123; talio 204. Las relaciones entre los equivalentes de este grupo pueden, quizás, ser más simplemente presentados de la siguiente manera: -

1	de litio	+ 1	de potasio	= 2	de sodio
1	“	+ 2	“	= 1	de rubidio
1	“	+ 3	“	= 1	de cesio
1	“	+ 4	“	= 163	el equivalente de un metal todavía no descubierto
1	“	+ 5	“	= 1	de talio

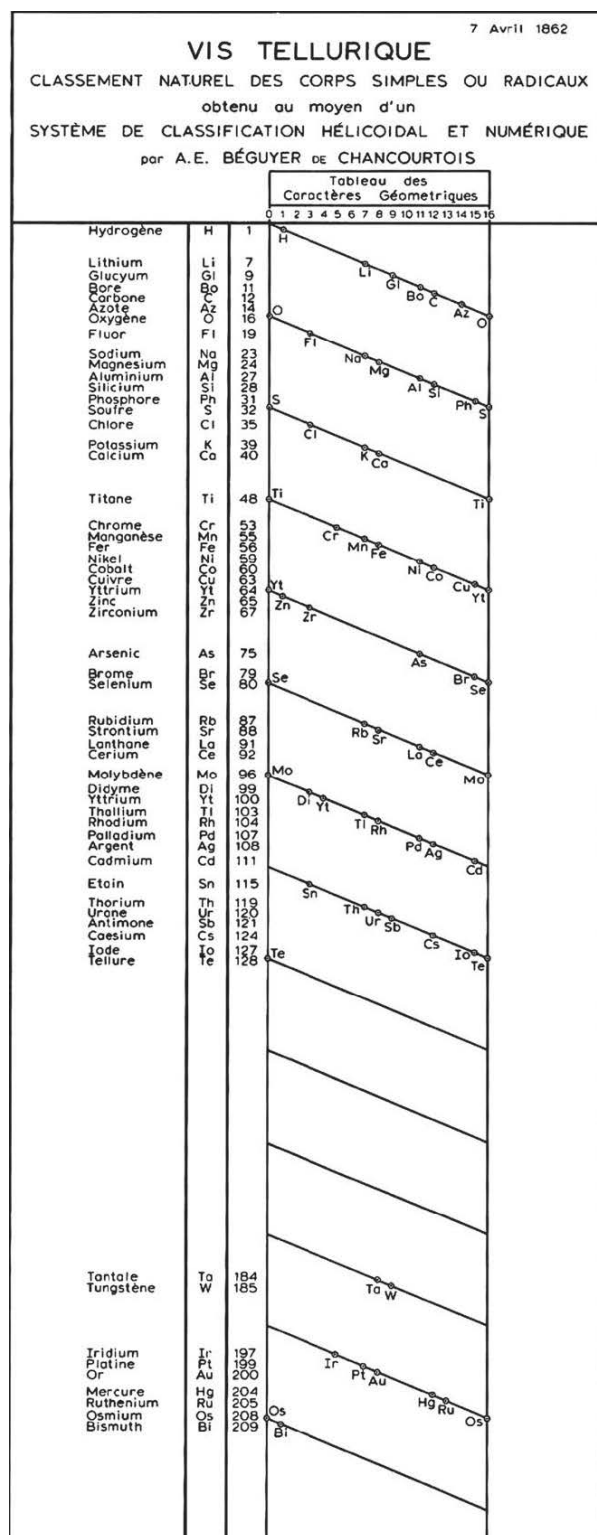


Figura 2. Sistema periódico helicoidal de De Chancourtois

Newlands estaba equivocado acerca de un nuevo elemento de peso 163 y pensaba que el talio debía ser agrupado con los metales alcalinos. Sin embargo, es claro que estaba dispuesto a hacer predicciones. Contrariamente a los relatos populares, parece que el hecho de hacer predicciones acerca de nuevos elementos usando la tabla periódica no fue iniciado por Mendeleev. En 1864 Newlands publicó una breve tabla que contenía 12 elementos para mostrar dos series de seis elementos cada uno de los cuales difiere de uno del otro conjunto de seis por 16 unidades o un valor cercano a éste. Otra tabla que publicó el mismo año incluyó 33 de los elementos conocidos entonces. La oportunidad de Newland para impresionar llegó en 1866 cuando realizó una presentación en la Sociedad Química de Londres. Para este evento, confeccionó una tabla aún más completa que contenía 62 elementos. Pero en el curso de esta conferencia, realizó una desafortunada observación en la que comparaba la repetición de los elementos después de cada intervalo de ocho con las octavas musicales. Esto provocó que uno de los asistentes pregunte de

	no.		no.		no.		no.		no.		no.		no.		
H	1	F	8	Cl	15	Co y Ni	22	Br and Ni	22	Pd	36	I	42	Pt y Ir	50
Li	2	Na	9	K	16	Cu	23	Rb	30	Ag	37	Cs	44	Os	51
G	3	Mg	10	Ca	17	Zn	24	Sr	31	Cd	38	Ba y V	45	Hg	52
Bo	4	Al	11	Cr	19	Y	25	Ce y La	33	U	40	Ta	46	Tl	53
C	5	Si	12	Ti	18	In	26	Zr	32	Sn	39	W	47	Pb	54
N	6	P	23	Mn	20	As	27	Di y Mo	34	Sb	41	Nb	48	Bi	55
O	7	S	14	Fe	21	Se	28	Ro y Ru	35	Te	43	Au	49	Th	56

Figura 3. Tabla de Newlands que ilustra la ley de los octavos tal como se presentó a la London Chemical Society en 1866 (Newlands, 1866, pp. 113—4). Una característica digna de señalar es la correcta inversión de los elementos telurio y yodo. Ésta es otra hazaña que generalmente se le atribuye a Mendeleev.

manera burlona si había considerado ordenar los elementos en orden alfabético para lograr una mejor clasificación.

Los miembros de la Sociedad Química de Londres decidieron no publicar su artículo, aunque Newlands logró publicar varios artículos en la muy influyente revista de William Crookes: la *Chemical News* (Newlands, 1866) (figura 3).

6. William Odling

A diferencia de los dos descubridores previamente mencionados, William Odling, quien coincidentemente provenía del distrito Southwark de Londres al igual que Newlands, fue un prominente químico académico cuya falta de reconocimiento no puede ser atribuida a haber sido un desconocido en el campo o a no tener una posición académica. Odling tuvo la dirección de la Royal Institution, una posición que heredó de Faraday, fue profesor adjunto en el hospital de St. Bartholomew y eventualmente catedrático en Oxford. En 1864, Odling publicó la tabla que se muestra en la figura 4 y la cual incluía 57 elementos en la misma época en la que Newlands incluía sólo 24 elementos (Odling, 1864).

Además, a diferencia de De Chancourtois y de Newlands, Odling asistió a la reunión de Karlsruhe y había tenido una exposición de primera mano de los puntos de vista liberadores de Cannizzaro. De hecho, en su regreso a Inglaterra, Odling se convirtió en uno de los partidarios más fuertes de la perspectiva de Cannizzaro en química.

Quizás él se veía a sí mismo más en el rol de asistente que como alguien que está en la primera línea de los descubrimientos fundamentales acerca de los elementos. El hecho es que el trabajo de Odling también fracasó en tener mayor impacto en la comunidad científica de esos días y que Odling no llevó su descubrimiento más allá. Otra posible causa del fracaso de Odling para desarrollar un sistema periódico puede haber sido que él estaba más interesado en la ciencia fundamental que en el desarrollo de lo que en ese tiempo debe haber parecido una mera clasificación.⁴

7. Gustavus Hinrichs

Este autor es, sin lugar a dudas, el más enigmático y menos convencional entre los co-descubridores del sistema periódico. Su perspectiva incluía argumentos provenientes de la astronomía, la espectroscopía, la mineralogía y la numerología además de la química y la física.

Hinrichs fue un danés que había escapado de la persecución política emigrando a EEUU. Aquí no tengo espacio para discutir su peculiar perspectiva pero es suficiente con decir que aún la manera en la cual él presentó su sistema periódico más maduro era extremadamente inusual al tener una forma circular que incluía grupos de elementos presentados como “radios” en una rueda de bicicleta (Hinrichs, 1867). Información adicional de la perspectiva fascinante de Hinrichs se puede encontrar en otras publicaciones (Scerri, 2013) (figura 5).

Como sucede con otros pioneros menos conocidos del sistema periódico, la versión de Hinrichs muestra varios aspectos positivos. Para citar sólo un ejemplo, Hinrichs había agrupado correctamente los elementos cobre, plata y oro, algo que incluso el gran Mendeleev se negó a hacer en sus primeras tablas de 1889.

8. Lothar Meyer

Julius Lothar Meyer nació en Helibron, Alemania y se convirtió en uno de los químicos más influyentes de su época. Se lo recuerda por el descubrimiento independiente de la tabla periódica, a pesar de que sus contribuciones aparecen opacadas en la mayoría de los relatos por las del ilustre ruso, Dimitri Mendeleev. Sin embargo, en lo que concierne a los sistemas periódicos maduros, Lothar Meyer fue el primero en publicar. Asistió a la conferencia de Karlsruhe y recuerda la charla de Cannizzaro con entusiasmo. Como él mismo lo describiría, por fin las escamas se le cayeron de sus ojos

⁴ No hay duda de que los tres primeros pioneros, De Chancourtois, Newlands y Hinrichs, todos fueron desconocidos e incluso amateurs y que los químicos más profesionales sólo se hicieron presentes en la arena en los estados finales del periodo de 7 años en el que tuvo lugar el descubrimiento.

			Ro 104	Pt 197
			Ru 104	Ir 197
			Pd 106·5	Os 199
			Ag 108	Au 196·5
..... H 1	"	"	Cd 112	Hg 200
"	"	Zn 65	"	Tl 203
..... L 7	"	"	"	Pb 207
G 9	"	"	U 120	"
..... B 11	Al 27·5	"	Sn 118	"
C 12	Si 28	"	Sb 122	Bi 210
..... N 14	P 31	As 75	Te 129	"
O 16	S 32	Se 79·5	I 127	"
..... F 19	Cl 35·5	Br 80	Cs 133	"
..... Na 23	K 39	Rb 85	Ba 137	"
Mg 24	Ca 40	Sr 87·5	Ta 138	Th 231·5
	Ti 50	Zr 89·5	"	"
	"	Ce 92	"	"
	Cr 52·5	Mo 96	{ V 137	"
	{ Mn 55		{ W 184	"
	Fe 56			"
	Co 59			"
	Ni 59			"
	Cu 63·5			"

Figura 4. Tabla periódica de William Odling de 1864, que incluye 57 elementos, muestra la inversión de Te e I y realiza una separación entre los elementos que hoy se denominan de transición para remarcar la mayor similitud entre los elementos del grupo principal.

y sus dudas desaparecieron para ser reemplazadas por una tranquila sensación de certeza.

Lothar Meyer publicó su primera tabla periódica en 1862 e incluía 28 elementos. En 1864 publicó un libro de texto que incluía una tabla periódica actualizada que contenía 50 elementos (Lothar Meyer, 1870). En 1869 desarrolló lo que quizás sea su mejor tabla, la cual sufriría un destino similar al diagrama de De Chancourtois con su sistema periódico helicoidal. Pero mientras que en el caso de De Chancourtois su artículo fue publicado sin dicho diagrama, nada apareció bajo el nombre de Lothar Meyer y su tabla sólo apareció en la superficie 25 años después. Si bien fue publicada eventualmente, fue después de tanto tiempo que no logró incrementar la reputación de su autor y de cualquier forma para entonces ya estaba bastante desactualizada. Algunos comentan que si esta tabla hubiese salido a la luz con anterioridad, podría haber marcado una diferencia en la disputa de precedencia que Lothar Meyer tuvo con Mendeleev. La tabla de Lothar Meyer parece ser más consistente y más precisa que la de Mendeleev, en tanto incorpora

la ubicación correcta del mercurio junto al cadmio, el estaño con el plomo y el talio con el boro, mientras que Mendeleev no lo logró con ninguno de estos elementos.

Finalmente, otro síntoma de descubrimiento múltiple es la existencia de frecuentes y amargas disputas de precedencia a lo largo de muchos años, al igual que como ocurrió entre Lothar Meyer y Mendeleev (Gordin, 2012; Van Spronsen, 1969b) (figura 6).

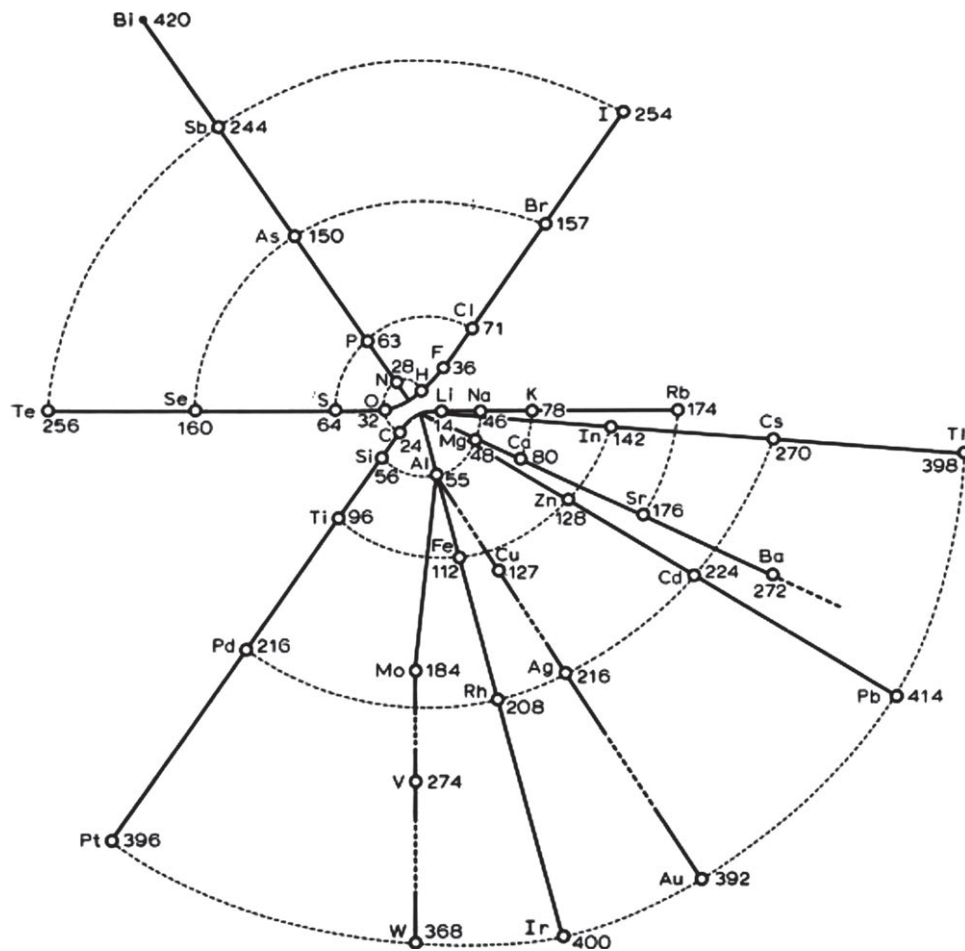


Figura 5. Representación en espiral de Hinrich del sistema periódico. En esta representación con motivo de rueda se pueden ver los grupos familiares de elementos que irradian desde el centro.

MEYER'S TABLE OF 1868.

1 Cr=52.6	2 Mn=55.1 49.2 Ru=104.3 92.8=2.46.4 Pt=197.1	3 Al=27.3 27.1=14.8 Fe=56.0 48.9 Rh=103.4 92.8=2.46.4 Ir=197.1	4 Al=27.3 Co=58.7 47.8 Pd=106.0 93=2.465 Os=199.	5 Ni=58.7	6 Cu=63.5 44.4 Ag=107.9 88.8=2.44.4 Au=196.7	7 Zn=65.0 46.9 Cd=111.9 88.3=2.44.5 Hg=200.2	8 C=12.00 16.5 Si=28.5 28.1=44.5 P=31.0 31.1=44.5 S=32.0 32.1=117.6 32.2=2.41.7 32.3=207.0
9 N=14.4 16.96 P=31.0 44.0 As=75.0 45.6 Sb=120.6 87.4=2.43.7 Bi=208.0	10 O=16.00 16.07 S=32.07 46.7 Se=78.8 49.5 Te=128.3	11 F=19.0 16.46 Cl=35.46 44.5 Br=79.9 46.8 I=126.8	12 Li=7.03 16.02 Na=23.05 16.08 K=39.13 46.3 Rb=85.4 47.6 Cs=133.0 71=2.35.5 Te=204.0	13 Be=9.3 14.7 Mg=24.0 16.0 Ca=40.0 47.6 Sr=87.6 49.5 Ba=137.1	14 Ti=48 42.0 Zr=90.0 47.6 Ta=137.6	15 Mo=92.0 45.0 Vd=137.0 47.0 W=184.0	

Figura 6. Tabla de Lothar Meyer de 1868 que fue finalmente publicada en 1895.

MENDELÉEFF'S TABLE I.—1871.

Series.	GROUP I. R ₂ O.	GROUP II. RO.	GROUP III. R ₂ O ₃ .	GROUP IV. RH ₄ . RO ₂ .	GROUP V. RH ₃ . R ₂ O ₅ .	GROUP VI. RH ₂ . RO ₃ .	GROUP VII. RH. R ₂ O ₇ .	GROUP VIII. RO ₄ .
I	H=1							
2	Li=7	Be=9.4	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
3	Na=23	Mg=24	Al=27.3	Si=28	P=31	S=32	Cl=35.5	
4	K=39	Ca=40	—=44	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fe=56, Ce=59 Ni=59, Cu=63
5	(Cu=63)	Zn=65	—=68	—=72	As=75	Se=78	Br=80	
6	Rb=85	Sr=87	? Y=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	—=100	Ru=194, Rh=104 Pd=106, Ag=108
7	(Ag=108)	Cd=112	In=113	Sn=118	Sb=122	Te=125	I=127	
8	Cs=133	Ba=137	? Di=138	? Ce=140	....	....	....	....
9 .....	....	....	....	....	....	....	....	....
10 .....	....	....	? Er=178	? La=180	Ta=182	W=184	....	Os=195, In=197 Pt=198, Au=199
11	(Au=199)	Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208	....	....
12 .....	....	....	....	Th=231	....	U=240	....	....

Figura 7. El sistema periódico de Mendeleev de 1871. La primera de sus numerosas tablas fue publicada en 1869.

9. Mendeleev

Dimitri Mendeleev fue de hecho el último de los seis co-descubridores del sistema periódico y pudo beneficiarse del trabajo de los cinco pioneros previos (figura 7). Frecuentemente se argumenta que Mendeleev fue mucho más allá que sus competidores porque realizó predicciones exitosas de nuevos elementos, corrigió los pesos atómicos de elementos ya conocidos y, en algunos casos, la posición de los elementos en la tabla (Mendeleev, 1869). Pero, en el espíritu de este trabajo, propongo considerarlo en igualdad de condiciones con los otros co-descubridores. Puesto que tanto se ha escrito sobre

Mendeleev, me limito aquí sólo a referir al lector a la literatura y continuar con las secciones finales (Gordin, 2004).

Además, ha habido un debate activo entre historiadores y filósofos de la ciencia acerca del mérito relativo de la predicción y su contraste con el ajuste de los datos ya conocidos en relación con la aceptación de cualquier teoría científica particular o desarrollo en general (Scerri & Worrall, 2001). Gran parte de este debate se ha focalizado en el ejemplo clásico de las predicciones de Mendeleev. Quizás para sorpresa de algunos, no todos los autores aceptan la visión tradicional de que las predicciones exitosas triunfan sobre todo. Recientemente Samuel Schindler ha propuesto que las “contra-predicciones”, como la corrección de los pesos atómicos y la nueva posición de los elementos, pueden haber sido incluso más decisivos en la aceptación de la tabla periódica por parte de la comunidad científica (Schindler, 2014).

10. Sociólogos de la tradición clásica

Además de argumentar que el descubrimiento simultáneo es más bien regla que excepción, los sociólogos de la ciencia de la tradición clásica también han realizado mucho trabajo útil en lo que respecta a la noción de prioridad o precedencia científica.

Comenzamos señalando la gran frecuencia con la cual encontramos en la historia de la ciencia disputas, habitualmente disputas sórdidas, acerca de la prioridad de los descubrimientos. Durante los últimos tres siglos en los que se desarrolló la ciencia moderna, numerosos científicos, tanto grandes como pequeños, se han involucrado en amargas controversias (Merton, 1957, p. 635).

Merton buscó identificar las causas de los frecuentes casos de prioridades científicas (Merton, 1957). Él comenzó preguntando por qué las disputas acerca de la prioridad parecen darse tan frecuentemente en ciencia. ¿Se debe a que los científicos son especialmente ególatras y por tanto dispuestos a establecer sus afirmaciones de una manera más enfática que la que se da en otros campos? Merton rápidamente descarta esta perspectiva.

Pero como Merton y muchos otros han notado, los protagonistas mismos frecuentemente juegan un papel muy pequeño, si es que alguno, en los debates acerca de la prioridad. Son más bien sus seguidores los que toman parte en la defensa del honor de sus héroes, frecuentemente por razones nacionalistas. Un buen ejemplo de esto fue la disputa acerca del descubrimiento del elemento 72, eventualmente llamado hafnio, entre la prensa francesa y británica por un lado y los científicos daneses radicados en el Instituto Niels Bohr de Dinamarca (cap. 4 de Scerri, 2013).

Otro factor que aviva las disputas sobre la prioridad son las normas institucionales que operan sobre los científicos individuales y que los presionan para promover sus afirmaciones con mayor firmeza de lo que podrían hacerlo en otras circunstancias. También está la cuestión del conocimiento científico como una forma de “propiedad”. En escenarios comerciales o industriales, los protagonistas generalmente desean resolver las disputas rápidamente con la finalidad de llevarse una parte importante de las ganancias monetarias. En las disputas científicas, sin embargo,

generalmente no hay dinero alguno que los científicos puedan ganar como individuos. Consecuentemente, lo *único* que está en juego es la reputación de un científico y es poco sorprendente que las disputas científicas parezcan ser más agudas que aquellas que se dan en otros campos.

11. Nueva aproximación llamada Ciencia-Gaia

Recientemente he comenzado a trabajar en una perspectiva del desarrollo de la ciencia que lleva las perspectivas de los sociólogos de la ciencia aún más lejos. En pocas palabras, veo al desarrollo de la ciencia de una manera orgánica y evolutiva. Le doy a mi proyecto el nombre tentativo de Ciencia-Gaia [*Sci-Gaia*] (Scerri, 2016) con una referencia deliberada a la perspectiva de James Lovelock de que la tierra es un organismo vivo en evolución al cual él llama Gaia (Lovelock, 1995; 1972). En mi propia perspectiva, el desarrollo de la ciencia involucra pequeños cambios incrementales, no pasos agigantados en sentido kuhniano. Esto involucra incontables mutaciones cuasi aleatorias en el pensamiento de muchos individuos seguidos por la supervivencia de sólo “la más apta” de esas mutaciones. La ciencia no progresa hacia algún objetivo verdadero que está “ahí afuera” sino que más bien está impulsada desde dentro o “empujada desde atrás”, como Kuhn propuso correctamente en esta instancia. No hay teorías correctas o incorrectas en ciencia sino sólo pasos hacia un conocimiento colectivo. En Scerri (2016), doy numerosos ejemplos de figuras intermediarias en la historia de la ciencia cuyo trabajo puede haber sido esencial aun cuando puede haber sido considerado “errado” en retrospectiva.

Mi ejemplo favorito es el caso del físico y matemático teórico William Nicholson, quien fue el primero en proponer la cuantización del momento angular en física atómica (McCormack, 1966). A pesar de que este hecho es bastante conocido, al menos para los historiadores de la física, lo que no es tan conocido es la teoría de Nicholson que la acompañaba, basada en un conjunto completamente “equivocado” de supuestos acerca de proto-átomos que existían en el espacio y que dieron lugar a nuestros elementos terrestres. Por medio de esta teoría, Nicholson tuvo éxito en acomodar una buena cantidad de las líneas en el espectro de muchas nebulosas estelares y la de la corona solar. A su vez, fue capaz de predecir de manera exitosa la existencia de algunas líneas nuevas y prominentes en el espectro de estos cuerpos y fenómenos astronómicos. ¿Cómo pueden ser tan exitosas estas teorías incorrectas? En la perspectiva convencional de la ciencia simplemente no pueden serlo. Bajo una concepción de que la ciencia progresa como una perspectiva colectiva con una abundancia de vueltas y recodos y desarrollos evolutivos graduales, uno no siente una presión tan fuerte para justificar el éxito que la teoría de Nicholson pareció disfrutar.

En esta perspectiva, las disputas acerca de la prioridad son una mera distracción o una farsa llevada a cabo por los científicos en busca de su momento de gloria. Todo lo que en realidad importa es que el conocimiento científico como un todo realice progresos. La pelea entre individuos puede servir para producir mejor ciencia tanto como la lucha de la vida y la muerte entre los animales en la selva sirve para perfeccionar las habilidades de supervivencia de las diferentes especies y, por lo tanto, para mejorar cada una de las especies. Los individuos son relativamente poco importantes en esta perspectiva. La visión heroica de la historia de la ciencia por la cual intentamos atribuir un

descubrimiento a un individuo particular o aun a un pequeño grupo de individuos cede ante una visión colectiva más anónima y sin rostro del crecimiento de la ciencia. Vistos desde esta perspectiva, no es sorprendente que los descubrimientos simultáneos sean hasta cierto punto habituales. La tabla periódica no fue descubierta sólo por Mendeleev o incluso por Mendeleev y Lothar Meyer al mismo tiempo. Fue descubierta por al menos seis individuos trabajando más o menos independientemente uno del otro en lugares bastante diferentes del mundo y sin comunicación entre ellos. Esto ocurre porque cuando una idea está madura es sólo una cuestión de tiempo antes de que sea percibida por diferentes personas más o menos al mismo tiempo. Por supuesto, estos individuos pueden estar comprometidos en el desarrollo de sus descubrimientos en diferente medida, lo cual suele ser razón por la que le damos más crédito a uno que a otro individuo. Pero esto es una cuestión de a quién asignarle prioridad y algo muy distinto de la pregunta por cómo es que ocurre realmente un descubrimiento. La cuestión de la prioridad es algo bastante local que no debería dictar la manera en la cual la historia de la ciencia se escribe y se presenta. Pero, por supuesto, todos somos humanos y todavía queremos un héroe puesto que hace a una buena historia. Pero quizás no haga a una buena *historia*.

Para cerrar, yo quisiera ir todavía más lejos proponiendo que la historia del descubrimiento de la tabla periódica nos provee quizás del mejor ejemplo de descubrimiento simultáneo por el hecho de que involucra al menos a seis individuos por contraste con los casos frecuentemente citados que involucran sólo a dos o tres individuos tales como Newton y Leibniz, Darwin y Wallace, Weinberg y Salam, Venter y Collins, para citar sólo unos pocos.

12. Referencias

- Avogadro, A. (1890). Essay on a manner of determining the relative masses of the elementary molecules of bodies, and the proportions in which they enter into these compounds. *Journal de physique*, 73, 58–76. (Obra original publicada en 1811)
- Béguyer de Chancourtois, A. E. (1862). Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, 54, 757–761, 840–843, 967–971.
- Cannizzaro, S. (1923). Sketch of a course of chemical philosophy. *Nuevo Cimento*, I(7), 321–366. (Obra original publicada en 1858)
- Dalton, J. (1808). *A New System of Chemical Philosophy*. London, UK: Bickerstaff.
- Döbereiner, J. W. (1829). Versuch zu einer Gruppierung der elementaren Stoffe nach ihrer Analogie. *Annalen Der Physik*, 91(2), 301–307.
- Gay Lussac, J. (1923). Mémoire sur la combinaison des substances gazeuses, les unes avec les autres. *Mémoires de la Société d'Arcueil*, 2, 207–234. (Obra original publicada en 1809)
- Gordin, M. D. (2004). *A Well-ordered Thing: Dmitrii Mendeleev And The Shadow Of The Periodic Table* (). New York: Basic Books.
- Gordin, M. D. (2012). The textbook case of a priority dispute: DI Mendeleev, Lothar Meyer, and the periodic system. En *Nature engaged* (pp. 59–82). Springer.
- Hartog, P. J. (1889). A First Foreshadowing of the Periodic Law. *Nature*, 41(1052), 186–188.
- Epistemología e Historia de la Ciencia 1(2): 82-97 (2017)

- Hinrichs, G. (1867). *Atomechanik oder die Chemie Eine Mechanik der Panatome*.
- Kuhn, T. S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago, IL: The University of Chicago Press.
- Lamb, D., & Easton, S. M. (1984). *Multiple discovery: the pattern of scientific progress*. Avebury Publishing Company.
- Lothar Meyer, J. (1870). *Die natur der chemischen Elemente als Function ihrer Atomgewichte*.
- Lovelock, J. (1995). *A New Look at Life on Earth* Oxford ; New York: Oxford University Press.
- Lovelock, J. E. (1972). Gaia as seen through the atmosphere. *Atmospheric Environment* (1967), 6(8), 579-580.
- McCormmach, R. (1966). The atomic theory of John William Nicholson. *Archive for History of Exact Sciences*, 3(2), 160-184.
- Mendeleev, D. I. (1869). Sootnoshenie svoistv s atomnym vesom elementov ["The correlation of the properties and atomic weights of the elements"]. *Zh. Russ. Khim. Obshch*, 1, 60-77.
- Merton, R. K. (1957). Priorities in scientific discovery: a chapter in the sociology of science. *American sociological review*, 635-659.
- Merton, R. K. (1973). *The Sociology of Science: Theoretical and Empirical Investigations*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Newlands, J. A. R. (1866). On the law of octaves. *Chem. News*, 12, 83.
- Odling, W. (1864). On the proportional numbers of the elements. *Quarterly Journal of Science*, 1, 642-648.
- Scerri, E. R. (2007). *The Periodic Table: Its Story and Its Significance*. Oxford University Press, USA.
- Scerri, E. R. (2013). *A Tale of Seven Elements*. Oxford: Oxford University Press.
- Scerri, E. R. (2015). The discovery of the periodic table as a case of simultaneous discovery. *Phil. Trans. R. Soc. A*, 373(2037), 20140172.
- Scerri, E. R. (2016). *A Tale of Seven Scientists and A New Philosophy of Science*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Scerri, E. R., & Worrall, J. (2001). Prediction and the periodic table. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 32(3), 407-452.
- Schindler, S. (2014). Novelty, coherence, and Mendeleev's periodic table. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 45, 62-69.
- Van Spronsen, J. W. (1969a). *The periodic system of chemical elements: A history of the first hundred years*. Elsevier.
- Van Spronsen, J. W. (1969b). The priority conflict between Mendeleev and Meyer. *J. Chem. Educ*, 46(3), 136.

Reseña: *Reconstructing Reality* de Margaret Morrison

Andrés A. Ilcic¹

Recibido: 11 de mayo de 2017
Aceptado: 24 de mayo de 2017

MARGARET MORRISON

Reconstructing Reality: Models, Mathematics, and Simulations. Oxford University Press, 2015. 334 p.

ISBN: 978-0-19-938027-5

The plans which are formed, the principles which man projects as guides of reconstructive action, are not dogmas. They are hypotheses to be worked out in practice, and to be rejected, corrected and expanded as they fail or succeed in giving our present experience the guidance it requires.

John Dewey
Reconstruction in Philosophy

Margaret Morrison ha estado a la vanguardia de la nueva ola sobre epistemología de los modelos científicos, especialmente desde que editó *Models as Mediators* junto con Mary Morgan allá por 1999. En su último libro, *Reconstructing Reality: Models, Mathematics, and Simulations*, podemos encontrar las versiones más refinadas de sus reflexiones acerca del rol de los modelos en la práctica científica y los desafíos que éstos presentan tanto a los filósofos de la ciencia como a los mismos científicos. El libro consta de tres partes, que cambian apenas el orden señalado en el subtítulo de la obra, en tanto van del caso más general de la matemática hacia el más específico de las simulaciones computacionales, con los modelos como intermediarios, como era de esperarse. De hecho el concepto de modelo es el que le permite articular la noción de prácticas reconstructivas que motiva el título.

La primera parte es “Matemática, explicación y entendimiento”. En sus dos capítulos la autora intenta exponer su mirada de cómo es que un modelo matemático puede proveernos de entendimiento genuinamente físico sobre el mundo, incluso cuando se trata de modelos que sólo son posibles gracias a una abstracción. Su noción de entendimiento es más bien simple, tanto como “tener una descripción/imagen teórica de cómo está constituido un sistema o un fenómeno que nos permita resolver problemas y explicar por qué los fenómenos investigados se comportan como lo hacen” (p. 15). No

¹ Centro de Investigaciones de la Facultad de Filosofía y Humanidades - Universidad Nacional de Córdoba | Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

✉ ailcic@ffyh.unc.edu.ar

Ilcic, Andrés A. (2017). Reseña: “Reconstructing Reality” de Margaret Morrison. *Epistemología e Historia de la Ciencia*, 2(1), 98-107. ISSN: 2525-1198



profundizará en esta noción ya que—según su diagnóstico—entender un fenómeno es una actividad que no puede considerarse fuera de un contexto particular, por lo que nunca podría darse una descripción canónica de entendimiento científico. Explicación, concepto que en la literatura filosófica aparece constantemente atado a entendimiento, también sufriría de esta inescapabilidad contextual, aunque ambos conceptos no estarían ligados más que en un nivel intuitivo según el cual podemos demostrar nuestro entendimiento del mundo dando explicaciones, las que serán mejores tanto mejor sea nuestro entendimiento. Ahora bien, en muchos contextos las explicaciones que podemos ofrecer recurren a modelos, es decir, a estructuras matemáticas que nos permiten conocer más acerca de los fenómenos ya que pueden funcionar como intermediarios entre nosotros y el mundo, permitiendo manipulabilidad y acceso a ciertas propiedades que nos serían inalcanzables de otro modo. Esto se logra pese a que estas estructuras matemáticas implican procesos de idealización y abstracción que a veces parecen hasta ir en contra de nuestra capacidad de entender el comportamiento “real” del mundo. Por ello, una de las preguntas importantes es cómo se relacionan el entendimiento y la abstracción matemática, lo que nos lleva al corazón del primer capítulo. Introduciendo una clara distinción entre casos de idealización y de abstracción, Morrison argumenta que muchas de las razones por las que los filósofos han atacado a la matematización como una fuente de entendimiento sobre el ámbito empírico se deben a que han confundido casos de abstracción por casos de idealización. Esta última debería ser entendida sólo en términos galileanos—como un proceso de aproximación que puede ser eliminado agregando factores de corrección—mientras que la abstracción implica describir un fenómeno de una manera que no puede efectivizarse en el mundo físico.

El resto del primer capítulo es una muestra de la estrategia expositiva que tomará en casi todo el libro: un largo y detallado recorrido por uno o dos ejemplos puntuales de la práctica científica—histórica o contemporánea—sobre el que pesará la prueba de la argumentación. El primer ejemplo es la explicación de la presencia de superconductividad en algunos metales recurriendo a modelos que contienen como supuesto fundamental la ruptura de invariancia *gauge* interna, como es el modelo de Bardeen–Cooper–Schrieffer o BCS. Esta ruptura de simetría es una transición de fase que sólo puede ser entendida si se recurre a una técnica matemática conocida como “tomar el límite termodinámico”, técnica que implica asumir que el sistema finito que queremos explicar es, cuanto menos matemáticamente, infinito. Para Morrison este paso matemático es ineliminable para poder dar cuenta del mecanismo que produce dicho fenómeno, por lo que constituye una abstracción y no una idealización. Lo mismo ocurre cuando en biología se recurre a poblaciones infinitas para dar cuenta del equilibrio entre las frecuencias de alelos y genotipos mediante el principio de Hardy-Weinberg. No se puede comprender esta relación matemática sin que la población sea infinita y panmíctica (que presente apareamiento aleatorio) mientras que sí se puede obtener el mismo principio si se relajan los supuestos como las ausencias de selección, mutación y migración, que deben ser entendidos como idealizaciones. El caso más representativo es el de la formulación matemática de la selección realizada por R.A. Fisher, en cuyo marco la selección se torna un fenómeno irreduciblemente estadístico—en contraste con el mero “tratamiento estadístico” que había hecho Pearson—y que permitió establecer resultados que no podían ser captados por métodos empíricos, “lo que sin duda aumentó

nuestro entendimiento de los procesos evolutivos” (p. 41). Lo que muestran estos ejemplos es que, si bien entender y explicar es relativo a cada contexto, incluso en disciplinas distintas, es la abstracción matemática la que define cómo hay que entender y explicar. Adelantando algunas de las lecciones de los capítulos siguientes, Morrison ya plantea en su forma de exponer estos ejemplos que el modelado matemático puede ser mucho más provechoso, epistémicamente hablando, cuando la matemática no funciona como un mero recurso representacional sino como un marco interpretativo. De aquí, la otra pregunta importante que surgía más arriba, que es la de cómo una herramienta que es netamente matemática puede proveernos de información física, y que será la guía principal en la extensión de esta misma discusión en el capítulo siguiente.

En el segundo capítulo nos encontramos con un interesante aporte a la discusión sobre el rol que pueden jugar las explicaciones propiamente matemáticas en física. Dicha discusión ha recibido nuevo ímpetu, especialmente desde contribuciones originales como Batterman (2001) y Pincock (2007), en las que se plantea un novedoso cruce entre las filosofías de las matemáticas y de las ciencias, con reflexiones sobre casos en los que el trabajo explicativo no corre por cuenta de la física que se pueda colar en la representación matemática, sino que se trata de explicaciones netamente matemáticas, como la demostración de la imposibilidad de un camino euleriano por los puentes de Königsberg. La exposición de Morrison se concentra en cómo una técnica matemática, como los métodos de grupo de renormalización (RG), nos puede proveer información sobre el comportamiento de un sistema en un punto crítico que no está disponible en las leyes físicas que regulan a estos fenómenos. El énfasis está en que en tanto técnica no forma parte de los modelos subyacentes sino que se aplica sobre ellos y no como mera herramienta de cálculo. Lo que permite dicha técnica es redescibir un sistema en términos de cómo éste cambia a medida que varía la escala de distancia, a efectos de conseguir una descripción del mismo en términos de la simetría que se pueda conservar pese a esas transformaciones escalares. Los casos que comenta Morrison son los más conocidos, los de su aplicación en teoría cuántica de campos y en mecánica estadística. Un problema físico que se torna accesible mediante su aplicación es el de cómo una dinámica microscópica puede generar comportamientos macroscópicos universales sobre puntos críticos. Se dice que son universales porque fenómenos muy distintos—fluidos, imanes y hasta redes—se comportan de manera similar en la cercanía de estos puntos, lo que hace que esta técnica sea un recurso muy valioso en el estudio de sistemas complejos.² Las dos conclusiones más importantes que extrae la autora sobre la aplicación de RG son que (1) nos provee información física en tanto explica cómo es que elementos locales pueden interactuar y hacer emerger comportamiento ordenado de alto nivel, mostrándonos en el proceso la independencia ontológica entre estos niveles (p. 74); y (2) nos permite desplazarnos hacia una categoría de análisis de orden estructural, en tanto podemos dejar de hablar del estudio particular de un sistema para pasar a sus propiedades de escala, lo que nos obliga a estudiar un nuevo espacio de modelos (p. 75). Lamentablemente Morrison no profundiza sobre este interesante punto—al que tampoco regresará en el resto del libro—y concluye el capítulo remarcando que la capacidad

² En Morrison (2014) se puede encontrar una versión más acotada de esta discusión directamente orientada al estudio de sistemas complejos, incluyendo un comentario sobre Feigenbaum (1978).

explicativa de la técnica es fruto exclusivo de su poder matemático, ya que es independiente de la teoría que gobierna estos fenómenos.

En cada uno de los capítulos que conforman la segunda parte—“Donde los modelos se encuentran con el mundo: problemas y perspectivas”—Morrison encara desde una segunda perspectiva los problemas tratados en la sección anterior, atendiendo ahora al caso puntual del conocimiento empírico que puede ser obtenido cuando se usan modelos como intermediarios. El énfasis deja de estar en el carácter netamente matemático de los mismos y se traslada al rol representacional que puedan tener. El capítulo 3 es una inmersión al subterráneo y maravilloso mundo de las ficciones, al que muchos filósofos como Roman Frigg y Peter Godfrey-Smith han viajado, intentando usar para con los modelos científicos una postura similar a la propuesta originalmente por Walton (1990) para explicar cómo es que una obra de arte puede ser representacional. En el contexto de modelos, la motivación para usar un recurso similar es que muchas veces el modelo mismo es claramente una ficción, o recurre a elementos que parecen estar más cerca de existir en 221B Baker Street que en el mundo real. Nuestra autora sostiene que, si bien puede ser un paso válido considerar a la práctica de modelado como un juego de fantasía [*make-believe*] entre los científicos que lo usan, dicha consideración no aporta ninguna solución al problema epistémico de cómo es que un caso concreto de un modelo ficcional puede ayudarnos a producir entendimiento sobre aquello que está pretendiendo modelar. A fin de cuentas esto dependerá del contexto y de modelos específicos, y no de una teoría general de cómo es que las ficciones funcionan en ciencia.

Su manera de ilustrar este punto es mediante el modelo mecánico del éter al que recurrió Maxwell como herramienta para facilitar su investigación de los fenómenos electromagnéticos, modelo que él mismo sabía que no podía tener una conexión directa con la naturaleza pero que era mucho más fácil de investigar. Lo importante—según Morrison—no es que Maxwell haya podido derivar sus ecuaciones de un modelo falso sino que las restricciones que estaban en juego en su modelo mecánico provenían de las teorías que él sabía que se aplicaban al caso que estaba modelando y no meramente de su imaginación. Cualquier evaluación del rol heurístico de esta clase de modelos debe considerar específicamente qué características juegan un rol en la transmisión de información (p. 110), que en este caso, y sólo en este caso, era la capacidad del modelo de representar la función que le corresponde a la corriente de desplazamiento, a la que Maxwell recurre unos años más tarde cuando publica su ecuación de onda electromagnética. Los modelos ficcionales deben interpretarse como una heurística y siempre en su contexto particular, cuidando de distinguirlos de los modelos idealizados y de aquellos que recurren a la abstracción. Así, estas distintas representaciones irrealistas no deberían ser consideradas todas bajo una mirada waltoniana ya que hacerlo no nos permite identificar el rol epistémico específico que tienen estas representaciones.

Esto marca el tono que tiene el capítulo cuarto, en el que encontramos una defensa de la centralidad del rol representacional de los modelos científicos pese a que una teoría filosófica general de esta capacidad sería tan inviable como una teoría similar para la representación científica a secas. Morrison se declara deflacionaria en este sentido. Cualquier teoría que se proponga tan sofisticada como para lograr algo similar no tendría la capacidad de alumbrarnos cuando queramos encontrar los pormenores de un modelo específico. Nuevamente el argumento es que el análisis epistémico es siempre

dependiente del dominio de acción y de sus usos pretendidos. Ahora bien, esto está acompañado por una apuesta sobre la centralidad de la representación, a tal punto que Morrison parece sugerir que si un modelo no representa—necesariamente con cierto grado de imprecisión—no puede ser considerado como un modelo propiamente dicho. Como algunas veces la mejor defensa es una buena ofensiva, Morrison ataca la interpretación que hace Cartwright (1999) del modelo BCS de superconductividad en términos de modelos interpretativos y modelos representacionales, en la que Cartwright les otorga prioridad a los primeros. Una cuidadosa reconstrucción de los avances que permitieron llegar al modelo BCS le permite a nuestra autora defender que, si bien hay algo así como “modelos interpretativos”, en tanto forman parte de un trasfondo teórico, sólo pueden cumplir este rol después de que un modelo representacional les indique cómo aplicar los conceptos abstractos que provienen de la teoría (p. 132).

En “Sacando el mejor provecho”—título del quinto capítulo—, encontramos otro complemento a la discusión sobre la representación, de la mano de los casos en los que un mismo fenómeno tiene muchos modelos que pueden ser incompatibles entre sí, lo que inmediatamente nos obliga a preguntarnos por la veracidad con la que estarían hablando del mundo estos modelos tan diferentes, más allá del éxito predictivo o explicativo que puedan tener por sí mismos.³ El debate filosófico gira en torno al perspectivismo propuesto por Ronald Giere para dar cuenta de esta multiplicidad de miradas, mientras que el debate científico lo hace alrededor de dos circunstancias en las que se recurre a modelos distintos pero cuya interpretación es muy diferente: los flujos turbulentos y la física nuclear. En el primer caso estamos frente a un fenómeno que es extremadamente difícil de tratar, dado que las ecuaciones de Navier-Stokes son un tanto complicadas y sin soluciones analíticas para la gran mayoría de los casos. Si bien el problema se suele sortear recurriendo a distintos modelos, no estaríamos frente a un caso de incompatibilidad ya que lo que se hace es describir distintas secciones del fluido bajo estudio con modelos separados; cada uno está representando secciones en las que el fluido no tiene las mismas propiedades. Dado que no hay un cambio fundamental en los supuestos acerca de la naturaleza de lo que se está modelando estaríamos en condiciones de hablar de “modelos complementarios”. Esto es lo que no sucede con los distintos modelos del núcleo atómico, que deben ser interpretados como incompatibles. Por ejemplo, un modelo que tiene la capacidad de explicar muchas propiedades de los núcleos atómicos es el modelo de gota líquida, desarrollado originalmente por George Gamow y extendido luego por Bohr y Wheeler, en la que el núcleo se interpreta como una gota de un fluido nuclear de muy alta densidad. Es decir, como un objeto clásico. Esto lo deja como un modelo claramente incompatible con los modelos que pretenden dar cuenta del núcleo describiendo su estructura interna. Más allá de un problema de niveles de análisis o de perspectivas, Morrison encuentra en estos casos un claro ejemplo de un problema epistémico que muestra una tensión en la manera en la que es abordado por filósofos y

³ Uno de los ámbitos en los que más se nota este fenómeno es en macroeconomía, en donde los resultados de dejarse guiar por un solo modelo pueden ser algo desafortunados. Me es imposible en este contexto no recordar la imagen de un grupo de economistas, que incluía al premio nobel Robert Solow, jurando como testigos frente al Comité sobre Ciencia, Espacio y Tecnología del Congreso de los Estados Unidos, quienes en su mayoría procedieron a defender que era necesario utilizar muchos modelos para achicar la distancia entre la economía de los modelos y la economía del mundo (ver Hoffman, 2010).

científicos, además de ser uno que ninguna postura filosófica puede resolver puesto que no se trata de un problema interpretativo sino netamente científico (p. 192). Que existan unos 30 modelos del átomo con supuestos muy diferentes los vuelve contradictorios entre sí y la complejidad del fenómeno simplemente no permite que la cromodinámica cuántica defina cuáles son correctos. No hay nada para ganar tomando un perspectivismo, postura que la autora describe como parte de la propia actividad científica. Ante estos modelos incompatibles nos sugiere, mientras se resuelve el problema científico, tomar partido por un instrumentalismo. Todo esto indica que Morrison adscribe a una suerte de realismo débil pero sólo en los casos en los que tenemos razones para creer que nuestros mejores modelos reconstruyen el mismo mundo.

La tercera parte del libro es “Simulación computacional: la nueva realidad”. Como toda buena nueva realidad, es la más novedosa, en particular en lo que aporta a la discusión filosófica sobre las simulaciones computacionales en ciencia. Además de introducir los problemas generales sobre este tema, el capítulo 6 se encarga de mostrar que, si consideramos el rol que los modelos tienen en el diseño de los instrumentos de medición y en la interpretación de sus resultados, el argumento de la materialidad—según el cual los experimentos tienen una dimensión de garantía epistémica que proviene de su composición física—no puede ser usado para dejar a las simulaciones debajo de los experimentos en la jerarquía de métodos con los que se puede generar conocimiento experimental, como han pretendido varios filósofos. Para elaborar su argumento, Morrison define primero al conocimiento experimental como “la capacidad de medir cantidades teóricas” (p. 199) y explora la vía en la que algunas simulaciones recurren a una metodología similar, aunque sólo después de describir cómo es que resulta imposible medir con un instrumento sin recurrir a modelos. El hecho de que las simulaciones hayan dejado de ser meramente experimentos numéricos y se hayan convertido en herramientas fundamentales en algunas disciplinas en las que normalmente no existían contextos interventivos—como la astrofísica—llevan a Morrison a una interpretación particular y ampliada de las simulaciones, al considerarlas prácticamente equivalentes a los instrumentos de laboratorio. Para ilustrar este punto, la autora introduce el concepto de “sistema de simulación” que consiste en la computadora, el modelo de simulación (la discretización del modelo matemático) y el programa que lo implementa. El resto del capítulo explota las consecuencias de que dicho sistema incluya—gracias al modelo teórico que le da forma—al sistema que es objeto de estudio, por lo que estaría funcionando como un instrumento que puede medir una cantidad teórica. Tanto en los sistemas computacionales como en los instrumentos de medición tradicionales, lo que justifica nuestras inferencias sobre lo que está siendo representado es un modelo, por lo que las conexiones causales que se suelen aducir para validar los experimentos también estarían representadas en las simulaciones.

En los dos capítulos siguientes, Morrison ofrece más razones para confiar en los resultados de las simulaciones. En el séptimo se concentra en los aspectos metodológicos de verificación y validación (V&V), haciendo una particular lectura de la literatura técnica sobre esta actividad. Verificación es básicamente el proceso de asegurar que las técnicas empleadas para discretizar el modelo matemático original no introduzcan otros errores más allá de los propios que se pueden esperar de esta simplificación. Un segundo aspecto

es el de asegurarse de que el algoritmo que codifica estas técnicas junto con los presupuestos físicos del modelo no introduzca aspectos formales que puedan dañar la calidad de la simulación. La validación, en cambio, es el procedimiento mediante el cual los científicos pueden asegurarse de que los resultados de la simulación son comparables con resultados experimentales. Morrison critica la interpretación de estas actividades que hace Winsberg (2010), quien sostiene que en la práctica es imposible llevarlas a cabo secuencialmente y siempre se termina recurriendo a estrategias *ad hoc* para acercarse a los resultados experimentales disponibles. Para mostrar la robustez de estas técnicas, se hace referencia a cómo están diseñadas para disminuir y llevar la cuenta a lo largo de su proceso de las clases de incertidumbre [*uncertainty*] presentes: la aleatoria (que proviene de los factores físicos) y la epistémica (que se debe a la falta de conocimiento del sistema, de los parámetros del modelo, etc.). Dado que estas incertidumbres son ineliminables, los procesos de V&V no pueden proveernos de una prueba de la validez de la simulaciones pero sí de evidencia de que sus resultados son legítimos (p. 267). Esto es mucho más difícil de lograr en lo que respecta a la validación física del modelo computacional, por lo que la contrastación de resultados debe hacerse a través de una medida cuantitativa de su diferencia y sólo con experimentos específicamente diseñados para este efecto, denominados experimentos de validación, en los que los presupuestos del modelo mismo pueden ser evaluados físicamente.

Claramente esto no es algo que se pueda lograr con todas las simulaciones, como podemos apreciar al leer el capítulo final, que explora el rol clave que juegan las simulaciones en experimentos de alta complejidad. El Gran Colisionador de Hadrones o LHC, acelerador de partículas ubicado en el CERN y actual estrella de la experimentación en física de altas energías, es un excelente ejemplo con el que se puede ofrecer un panorama de lo entretejido que están V&V en la *big science* actual. En este caso, no es posible llevar a cabo experimentos de validación porque hasta el mismo diseño del experimento depende de simulaciones previas. Uno de los resultados más importantes que se obtuvo de los experimentos ATLAS y CMS usando este acelerador de partículas es el descubrimiento en 2012 del bosón de Higgs, partícula elemental que acompaña al campo homónimo y que desde su postulación como parte del Modelo Estándar demostró ser un tanto difícil de encontrar experimentalmente. En su reconstrucción del descubrimiento, Morrison pone el énfasis en cómo el rol de las simulaciones no se reduce al importante papel que juegan en el procesamiento de la masiva cantidad de datos que se generan por colisión, sino también en que en todas las etapas de diseño y construcción de los experimentos y del colisionador se debe recurrir a simulaciones. Incluso en las presentaciones y publicaciones de resultados se puede notar el énfasis que los mismos científicos ponen en las simulaciones. El claro problema es, dada la naturaleza dual del experimento, cómo se puede confiar en dichas simulaciones si es imposible llevar a cabo un experimento de validación. La respuesta está en un entramado de prácticas igualmente complejo, que recurre a datos sobre colisiones particulares en otros aceleradores, comparaciones entre los distintos módulos de calorímetros, distintos paquetes de simulaciones, etc., en los que se deben considerar distintos rangos físicos como los procesos electromagnéticos, las interacciones hadrónicas individuales y todas las señales dentro de los calorímetros. Morrison presenta con cierto detalle un recorte de estas prácticas que claramente señalan el desafío monumental que es hacer física de altas

energías y el desafío epistémico que presentan tanto para los científicos como para los filósofos. De todas formas, a la luz de las discusiones de los capítulos anteriores, el capítulo final parece más conclusión de otro libro que del que acabamos de leer y nos abandona sin conclusiones generales.

En cuanto a sus propuestas para la evaluación epistemológica de los modelos y las simulaciones computacionales, es inevitable notar algunas grietas y algunas piezas que no encajan tan finamente, especialmente en la última sección. Considerando la imposibilidad de una teoría general de la representación, se pone demasiado peso en todos los capítulos sobre la relevancia de esta noción como componente clave para garantizar el conocimiento mediado por modelos. Además, las simulaciones parecieran sólo heredar las soluciones y no los problemas de los modelos científicos. Aceptar la lógica de que las simulaciones pueden autorizar las mismas inferencias que los experimentos en virtud de su recurso a modelos genera algunos conflictos cuando se intenta justificar que sólo mediante un experimento de validación puede medirse la adecuación empírica de una simulación. Quizás los capítulos 6 y 7 se hubiesen beneficiado de seguir la línea expositiva de los anteriores, señalando los problemas filosóficos que pueden encontrarse en la reconstrucción de un caso particular del trabajo con simulaciones. El recurso a la literatura técnica es indispensable para una filosofía de las ciencias orientada a la práctica científica, y más allá del resguardo de los comentarios un tanto naif que puedan tener los científicos sobre cuestiones epistemológicas, algunas de sus reflexiones deben tomarse seriamente. Por ejemplo, en Oberkampff y Roy (2010)—texto al que recurre Morrison en su intento de legitimar a las simulaciones mediante la metodología de V&V—desde el comienzo encontramos una propuesta mucho más amplia, lo que podría indicarnos la lectura sesgada que parece hacer Morrison:

Los elementos fundamentales que construyen la credibilidad en los resultados computacionales son (a) la calidad de los analistas que llevan a cabo el trabajo, (b) la calidad del modelado físico, (c) las actividades de verificación y validación, y (d) la cuantificación de incertidumbre y los análisis de sensibilidad. Creemos que todos estos elementos son necesarios para la credibilidad y, más importante aún, para la exactitud [*accuracy*], pero ninguno es suficiente por sí mismo. (2010, p. 12)

Como también se puede apreciar a través de Oberkampff y Roy (2010), entre otras fuentes, las prácticas científicas e ingenieriles contemporáneas muestran numerosos casos en los que la dinámica de las estrategias de validación parecen estar mucho más cerca de las que se aplican en el LHC en escenarios de complejidad mucho menor, incluso en situaciones tan “simples” como un túnel de viento. Las reflexiones metodológicas deberían tomarse como un ideal regulativo, como una serie de “mejores prácticas”, pero nunca dejando de ser conscientes de que la justificación del conocimiento que se produce en estas instancias es un proceso constantemente activo. Si bien comparto que es sano resistirse a la tentación de “definir” qué es un modelo (p. 131), las múltiples referencias a “distintas clases de modelos” y “distintos contextos”, me hacen pensar que parte del trabajo filosófico todavía faltante en la literatura es el de lograr una taxonomía de modelos, quizás según la manera en la que idealizan, pero que vaya más allá de abstractos, idealizados y ficcionales. A su vez, esto debería realizarse junto con una

reflexión un tanto más fina de qué son y cómo se definen los contextos y si hay que abrazar alguna clase de pragmatismo o no.

Morrison hace un excelente trabajo en exponer de manera concreta y casi siempre fácil de seguir episodios claves de la vanguardia científica y de señalar dónde están los problemas filosóficos y qué literatura específica se puede consultar al respecto, por lo que cualquiera que tenga alguna inclinación por los modelos científicos encontrará enriquecedora su lectura. Ahora bien, este no es un libro para quien esté buscando una introducción actualizada sobre la literatura de modelos en filosofía de la ciencia,⁴ sino que debe ser leído como un aporte particular a la discusión contemporánea, por lo que los lectores que no tengan conocimiento de la literatura o manejo técnico de modelos matemáticos podrán sentirse algo perdidos. Sí es un claro espécimen que muestra la dirección que está tomando la literatura sobre modelos: reconstrucciones de casos muy complejos de la práctica científica que ilustran claramente un punto que requiere interpretación filosófica—pero que con mucha facilidad pueden obscurecer unos tantos otros, especialmente para quienes le son ajenos algunos formalismos matemáticos. No es que la tendencia esté mal de suyo, claro está que hay muchísima fertilidad filosófica en esta clase de aproximaciones técnicas; pero creo que podría ser mejor ejercicio para la discusión no reconstruir artículos en los libros y aprovechar el espacio para articular las razones en el esquema más amplio de la filosofía de la ciencia. Ya que estamos, entre tantos intentos de rehacer cosas con la filosofía o con la realidad, hubiese sido interesante encontrar un contraste con la propuesta de Wimsatt (2007) de “reingeniar” la filosofía. Supongo que quedará como ejercicio para el lector.

Veredicto: leer, pero sólo si uno ya aprendió a vivir con algunas inconsistencias y no es alérgico a las ecuaciones diferenciales.

Referencias

- Batterman, R. W. (2001). *The Devil in the Details: Asymptotic Reasoning in Explanation, Reduction, and Emergence*. Oxford University Press.
- Cartwright, N. (1999). Models and the limits of theory: Quantum Hamiltonians and the BCS models of superconductivity. En M. Morgan & M. Morrison (Eds.), *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Science* (p. 241–281). Cambridge: Cambridge University Press.
- Feigenbaum, M. J. (1978). Quantitative universality for a class of nonlinear transformations. *Journal of statistical physics*, 19(1), 25–52.
- Gelfert, A. (2016). *How to Do Science with Models: A Philosophical Primer*. Springer.
- Hoffman, D. (2010, julio 27). *Building a Science of Economics for the Real World*. Recuperado a partir de <http://www.cheatsheet.com/breaking-news/building-a-science-of-economics-for-the-real-world.html/>
- Morrison, M. (2014). Complex Systems and Renormalization Group Explanations. *Philosophy of Science*, 81(5), 1144–1156.

⁴ En esa dirección quizás sea recomendable el reciente texto de Alex Gelfert (2016).

- Oberkampff, W. L., & Roy, C. J. (2010). *Verification and validation in scientific computing*. Cambridge University Press.
- Pincock, C. (2007). A Role for Mathematics in the Physical Sciences. *Noûs*, 41(2), 253–275.
- Walton, K. L. (1990). *Mimesis as Make-Believe: On the Foundations of the Representational Arts*. Harvard University Press.
- Wimsatt, W. C. (2007). *Re-engineering philosophy for limited beings: piecewise approximations to reality*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Winsberg, E. B. (2010). *Science in the Age of Computer Simulation*. The University of Chicago Press.