

Carlos Eduardo Maldonado

## ¿Y si la química hubiera ganado? Un ejercicio de contrafácticos de la historia de la ciencia

**Resumen:** *Este artículo es un ejercicio de contrafácticos. Contra la historia estándar de la ciencia, afirma que la física moderna no triunfó, sino la química. Después de caracterizar el modo de pensar propio de la mecánica clásica, sostiene que ése es negativo, y aporta razones. En contraste, el hecho de que la modernidad y el mundo contemporáneo hubieran emergido a la luz de la química aportaría nuevas luces, lenguajes, explicaciones y relaciones. Si la química hubiera triunfado, el mundo sería mucho mejor hoy.*

**Palabras clave:** *Filosofía de la ciencia, Contrafácticos, Física clásica, Química, Posibilidades, Complejidad, Ciencias Sociales*

**Abstract:** *This paper is an exercise on counterfactuals. Against the standard history of science, it claims that modern physics was not triumphant, but chemistry. After a characterization of the way in which classical mechanics thinks, this text argues that such a way is harmful, and it provides reasons. In contrast, the fact that modernity and the contemporary world emerged from chemistry shed brand new lights, languages, approaches, and relations on to the world in general. Had chemistry be the paradigm, the world would have been a much better place, indeed.*

**Keywords:** *Philosophy of Science, Counterfactuals, Modern Physics, Chemistry, possibilities, complexity, social science*

### Introducción

Todas las ciencias que nacen en la modernidad nacen a la luz o a la sombra de la mecánica clásica. Todas, menos dos: la química y la biología (Maldonado, 2016). La modernidad es el triunfo de la física clásica; más específicamente, de la mecánica clásica. Numerosos trabajos han explicado cómo y por qué ello sucedió de esta manera. Toda la historia de la ciencia, y con ella, la historia de la tecnología y de la cultura hasta hoy es el resultado del triunfo del modelo físico-matemático desarrollado principalmente por Galileo, Kepler, Copérnico y Newton, pero con la ayuda de muchos otros. Este artículo argumenta en términos de contrafácticos, así: si la física no hubiera sido la triunfadora, ¿qué habría sucedido entonces? Como es sabido, la estructura de los contrafácticos es la siguiente:

- 1)  $A \rightarrow B$
- 2)  $\sim A$
- 3)  $\text{¿} B \text{?}$



La lógica de contrafácticos es una de las lógicas no-clásicas (Maldonado, 2020a). El sentido de esta lógica consiste en rechazar el determinismo histórico (Hawthorn, 1995; Ferguson, 1998), y por tanto ampliar los marcos de comprensión (Loux, 1979). Con la ampliación de los marcos de comprensión, hacia adelante en el tiempo, los contrafácticos abren posibilidades.

Este texto estudia qué hubiera sucedido si no hubiera sido la vencedora la física clásica. Nuevas y refrescantes luces se abren en la historia de la ciencia, notablemente, en el espectro de las ciencias sociales y humanas. La tesis que se sostiene aquí es que las ciencias sociales y humanas pueden y deben ser no deterministas, no reduccionistas y no mecanicistas, y se explora qué significa esta idea. Cinco argumentos sirven de base a la tesis enunciada. En primer lugar, se explora brevemente en qué consiste el modo de pensar propio de la mecánica clásica. El segundo argumento es una exposición puntual de la lógica de contrafácticos. Sobre ambos argumentos, el tercero estudia con detenimiento qué hubiera sucedido si la física moderna no hubiera triunfado. Este es el núcleo de este trabajo. El cuarto argumento considera las derivaciones de lo que hubiera sucedido en las ciencias sociales y humanas. Sobre esta base, de manera más puntual, el quinto argumento se detiene en las consecuencias que habrían acaecido, de manera puntual en el mundo y en la cultura. Al final se extraen algunas conclusiones. Este es un texto eminentemente exploratorio y original en el panorama de la historia y la filosofía de la ciencia.

## 1. El modo de pensar de la mecánica clásica

En esta sección me propongo presentar, de manera condensada, la estructura mental de la mecánica clásica. Como es sabido, la mecánica clásica es la forma sucinta como se designa a la primera revolución científica. La bibliografía al respecto es amplia y variada (véase, entre otros, Cohen, 1989; Serres, 1991; Gribbin, 2005; Bowler & Morus, 2007).

Los fundamentos de la mecánica clásica fueron puestos por esa historia que va de Galileo a Newton, pero no se reducen a ellos. En esta historia entra la obra de Descartes –cuya mejor expresión en este contexto es la geometría analítica–, la física social creada originariamente por Quetelet, la fisiología de Claude Bernard, la ley de grandes números y la mecánica estadística, en fin, las ideas de Laplace, principalmente. En otras palabras, se trata del reconocimiento explícito de que la física moderna enseñó a pensar en términos de cuerpos inanes, con una estructura mental determinista, reduccionista y mecanicista (Ball, 2004), y fue en toda la historia de la humanidad la mejor y más acabada versión de la creencia en la causalidad. Sin la menor duda, la creencia más importante de la humanidad occidental es la idea de que existen causas; el mundo tiene causas y las causas rigen los acontecimientos de la realidad. Las causas, finalmente, son explicadas por leyes. Consecuentemente, las cosas tienen un comienzo, y por eso mismo tienen o deben tener un final.

La física clásica se corresponde exactamente con lo mejor de la toda la tradición platónica y aristotélica, a pesar de los tiempos y las distancias, en la creencia de que, por consiguiente, existen en la naturaleza y en la sociedad jerarquías. Las jerarquías y la creencia en la causalidad están estrechamente entrelazadas. Nada ni nadie se exime de la causalidad, y si no es evidente, sostiene Laplace, existe un demonio que sí las conoce y acaso, ulteriormente, las determina. Una derivación necesaria e inmediata de este cuerpo de creencias es la afirmación de que en la naturaleza y en el mundo existen centralidades; esto es, fenómenos más importantes y otros periféricos. Pues bien, sobre esa serie de fenómenos causales y causados, con la ley de grandes números, explicados de manera determinista y con jerarquías es posible y necesario elaborar modelos; estos son, específicamente, modelos físico-matemáticos. La ciencia clásica quedaba así consumada.

Esta consumación de la ciencia moderna –y que en otros términos puede adecuadamente ser entendida, hasta el día de hoy, como la “ciencia normal” (Th. Kuhn) termina por desencantar al mundo. Voces tan claras, pero tan diferentes

entre sí como Weber y Prigogine acusaron este desencantamiento. Sólo que Weber se quedó en su recusación, mientras que Prigogine se dio a la tarea de reencantarlo. Ello abrió la puerta a las ciencias de la complejidad (Prigogine & Stengers, 2002).

En verdad, un mundo inane, sujeto a fuerzas, poderes y masas, en el que las energías son implacables y deterministas (Prigogine, 1962) es un mundo que sólo habla de sistemas dinámicos, de leyes, de inevitabilidad. El concepto de “ley” moderna es la expresión en un lenguaje secular del Dios de la Edad Media, como con acierto lo vio y lo expresó I. Stengers (2019).

Pues bien, ese mundo determinista, reduccionista y mecanicista se expresa muy bien, aunque polifónicamente, con Kant y con Hegel. Kant será la recuperación de la causa final, y entonces el renacimiento de un universo teleológico, precisamente como consecuencia del determinismo de la causa eficiente, de la cual sabía muy bien el filósofo de Königsberg. En el mejor de los casos, Kant arribará a un callejón sin salida: las antinomias de la razón pura, en donde se puede y debe conocer el mundo fenoménico, ese del entendimiento, pero del cual escapan las ideas y las cosas en sí, las cuales sólo pueden ser pensadas, pero jamás conocidas; esto es, conocidas científicamente; es decir, a la manera de la física moderna. Por su parte, Hegel se dio a la tarea de pensar la totalidad –incluso en su fenomenología–, por fuera de la cual nada existe y nada es posible. Esa totalidad hegeliana adopta varias denominaciones (Koyré, 2013).

De hecho, toda la filosofía de la ciencia es filosofía clásica de la ciencia, o lo que es equivalente, es filosofía de la ciencia clásica. Precisamente por ello los supuestos o exigencias elevados por el Círculo de Viena: verificación, contrastación, conformación, en fin, falsación. Estos son, todos, criterios eminentemente físicos o fisicalistas de la solidez de una teoría, una hipótesis, en fin, un argumento. Como es sabido, la física clásica tiene un umbral muy bajo al error, en marcado contraste con otras ciencias y criterios, como la biología o las matemáticas. No en vano, un obispo de esa ciencia y filosofía de la ciencia, Popper, señala que la biología no es una ciencia, o que, en el mejor de los casos, es una

ciencia de una jerarquía menor, relativamente a la física<sup>1</sup>.

De esta suerte, al cabo, los científicos se dan a la tarea de formular o descubrir leyes, y ulteriormente, toda ley es a la *lettre* o en el espíritu, una ley al estilo de la mecánica clásica. Un autor tan filosóficamente independiente como R. Feynman todavía argumentará en favor de las leyes de la ciencia, lo que muestra que la estructura mental (*mindset*) de la física clásica marca fuertemente la forma como se entiende la investigación científica, ya muy entrado el siglo XX.

No es, por tanto, por casualidad, que se estante esa idea ideológicamente falsa y peligrosa en torno a “el método científico”, el cual es, por antonomasia, el método de las ciencias físicas o a la manera de la física – moderna. Todo lo que significa o entraña ese capítulo –bastante turbio–, por lo demás, de la metodología de la investigación científica porta el cuerpo (cadáver) y el espíritu (remembranzas) de la física moderna. Toda ciencia del control. Precisamente por ello la ciencia moderna nace con el talante de la predicción y la predictibilidad. No en vano, al cabo, una buena teoría es aquella que tiene o que permite una amplia y/o sólida capacidad de predicción. Sólo al final –filosófica y científicamente hablando– de la ciencia moderna, un autor (Thom, 1993; quien es uno de los autores fundacionales de las ciencias de la complejidad) señalará expresamente eso: predecir no es explicar.

## 2. Breve estructura de la lógica de contrafácticos

El determinismo es una de las cabezas de hidra de la ciencia clásica y, más amplia y radicalmente, de toda la tradición platónico-aristotélica. Ser occidentales significa ser deterministas; y de consuno, reduccionistas. La radicalidad que comportan la segunda y la tercera revolución científicas (Maldonado, 2020b) –esto es, la teoría cuántica y la teoría de la información, principalmente–, consiste exactamente en la crítica y el distanciamiento contra el determinismo, el reduccionismo, y claro, también el mecanicismo.

En la historia en general –historia de la ciencia, historia de la filosofía, historia general e historia de cada país, historia del arte, historia de cada ciencia o disciplina, notablemente–, el más grande de los peligros es el determinismo. Se trata, notablemente, de la creencia según la cual la historia sucedió de la manera como tuvo lugar y es imposible que hubiera podido acontecer de otra manera. Exactamente en este sentido toda la historia (o con mayor precisión, la historiografía) es lineal, incluso aunque ocasionalmente pueda no ser necesariamente acumulativa. Toda la historia e historiografía tradicionales han sido y son deterministas por acción, o por omisión. Un enunciado, un reconocimiento ciertamente fuerte.

Pues bien, el uso de contrafácticos consiste de manera explícita en un rechazo o un cuestionamiento, por decir lo menos, del determinismo histórico. La forma básica que asume el trabajo con contrafácticos es: ¿qué hubiera sucedido si...? En alemán es el trabajo del modo: *als ob*, y en inglés el trabajo de la forma: *what if?* Se denomina contrafáctico a este estilo de trabajo e investigación dado que toma distancia de los antecedentes en una premisa, y entonces, justamente, pone entre paréntesis, los hechos mismos – los cuales nunca pueden ser tomados como ciegos y tozudos. De hecho, una forma de trabajo bastante generalizada en la ciencia normal en general consiste en el trabajo con predicciones retrospectivas, que es, en verdad, una manera de hacer muy mala ciencia. Una predicción retrospectiva es un canto al determinismo y consiste en reconstruir un acontecimiento señalando que es imposible que hubiera podido suceder de otra forma y las razones por las cuales, tozudamente, tuvo lugar. Para una visión crítica de los contrafácticos véase Evans (2018). De acuerdo con Evans, ulteriormente, cabe distinguir dos fracciones en la ciencia, así: los conservadores, que se atienen a los hechos, y los progresistas, que acuden a ficciones del tipo contrafácticos.

La lógica de contrafácticos tiene una fuerte conexión con la lógica modal, la cual se ocupa básicamente de modalidades del conocimiento: necesidad, posibilidad, contingencia (Loux, 1979). Como quiera que sea, la idea de base del trabajo con modalidades y/o con contrafactualidades consiste en la creación de realidades

alternativas; digámoslo de manera clara y directa: alternativas a la necesidad, a la causalidad, al determinismo. Subrayemos esta idea: el trabajo con contrafácticos consiste en la creación de realidades alternativas. Consiguientemente, no sin los datos, se trata, manifiestamente, con base en mucha y muy buena información, en un trabajo con la imaginación y la fantasía. La fantasía y la imaginación, que han sido muy ampliamente desechadas por parte tanto de la metodología de la investigación científica, como por parte de la filosofía clásica de la ciencia. En este sentido, bien vale la pena echar una mirada a Roberts (2013); Maldonado (2018; 2019; 2020c); Fischer (2016). Aquella condición sin la cual, absolutamente, nadie puede ser un gran científico o filósofo (*conditio sine qua non*) es la imaginación y la fantasía; esto es, la capacidad de imaginar mundos y realidades nuevas y diferentes, situaciones y tiempos anteriormente inopinados. El verdadero núcleo mitocondrial de la investigación son los experimentos mentales, las pompas de intuición, los actos ideatorios, en fin, la intuición y la imaginación; naturalmente, huelga decirlo, la imaginación creativa y no simplemente la imaginación asociativa. Pues bien, es en ese umbral donde se sitúa y actúa, exactamente aquí, la lógica de contrafácticos. Por qué es exactamente una lógica (Kvart, 1986), es algo que aquí debe tomarse como algo dado. Baste con decir que las áreas de discusión son la causalidad, las inferencias, especialmente las directas, las discusiones sobre semántica, los modelos de prioridades, la relevancia causal, la condición de equiprobabilidad, y otros aspectos que deben quedar aquí de lado por técnicos y por delimitación del tema. Baste con decir que las fuentes de esta lógica son N. Goodman (1946), R. M. Chisholm (1955), y R. Stalnaker (1968), y que la mejor asociación entre lógica de contrafácticos y la lógica modal se debe a N. Rescher<sup>2</sup>.

De manera general, la lógica de contrafácticos disuelve la frontera rígida entre conceptos y metáforas, entre categorías y tropos e integra ambas perspectivas. A partir de esta base es una muy buena información sobre el asunto de que se trata.

Un factor determinante emerge en este punto. La estructura mental de la física moderna

—la que ella establece y la que a la vez la hace posible y la desarrolla— afirma que en el mundo y la naturaleza sólo existen procesos generales, y habla entonces de universales, de generalidades de fenómenos sujetos a leyes, reglas y normas (Hawthorn, 1995). En contraste, la estructura mental de la lógica de contrafácticos tiene en claro que el mundo en general consiste en particulares contingentes. La forma como se expresan o se condensan estos particulares contingentes es en los conceptos de “singularidad”, de “eventos”, de “eventos raros”, en fin, por ejemplo, de “cisnes negros”. Dicho en otras palabras, se trata de observar lo singular, lo distinto, lo altamente improbable. Pues la verdad es que la historia es esencialmente improbable; esto, contra todas las creencias más difundidas al respecto. La naturaleza, como el universo mismo y la historia humana están constituidos y articulados por contingencias. Es en estas bisagras donde yacen, todo parece indicarlo, las claves de comprensión de las cosas. Las contingencias, una de las claves de la complejidad.

En verdad, la fuerza de las explicaciones en ciencia tanto como en la vida, estriba en los condicionales contrafácticos. Esto quiere decir que, si se consideran que tal y cual cosa había podido no suceder, entonces la fuerza de la explicación y de la comprensión aumenta. Los condicionales contrafácticos aumentan sensiblemente y muchas veces cambian, las explicaciones que hacemos de las cosas, o las que hemos heredado, por ejemplo, Munroe (2022).

Ahora bien, la dificultad consiste en los procesos de explicación y de comprensión, en el hecho de que muchas veces no existen explicaciones causales. Generalmente, son mucho más los contextos los que cumplen las veces de explicaciones causales. Las causas, cuando no se las muestra, se las infiere, y avanza entonces el proceso del conocimiento.

En otras palabras, la verdad es que usualmente, la gente, incluidos, naturalmente científicos y filósofos, prefiere malas explicaciones a no tener ninguna explicación. Entonces emergen, atávicamente, las causas. El más grande de todos los problemas, en la vida como en ciencia, es el papel de la aleatoriedad en la economía del conocimiento, del universo y el mundo. Lo cierto

es muchas cosas carecen de causas, incluso en el sentido amplio de explicaciones multi-causales” y enfoques “multivariados” y otras explicaciones semejantes. Recientemente, hemos hecho el descubrimiento de que muchas cosas son a-causadas (Svozil, 2018). Un auténtico reto para quienes están acostumbrados a creer en la causalidad.

Desde luego que existen regularidades accidentales. Una forma, idónea, como se las aborda y explica, es en términos de patrones (*pattern*). En contraste con las leyes, que son esencialmente inmutables, los patrones mismos cambian. Sin duda, el mejor ejemplo son los fractales, en cuya base, sencillamente, se encuentra una explicación de tipo iterativo. Como se aprecia, nuevos lenguajes emergen, nuevas estructuras mentales se configuran y, por consiguiente, nuevas explicaciones y nuevas realidades.

Hay un hecho determinante que cabe subrayar, sin cesar. Las explicaciones no son nunca nada fijo. Las explicaciones cambian, pueden cambiar. En esto exactamente consiste el proceso de aprendizaje, en un plano, y de evolución, en otro. En el lenguaje de la lógica se habla entonces de lógicas no-monotónicas; esto es, de aquellas lógicas en las que premisas ya adquiridas son modificadas por nueva información (Makinson, 2005). Así, la lógica de contrafácticos abre las puertas a las lógicas no-monotónicas, una de las lógicas no-clásicas.

Es una característica de la buena ciencia, o también de la ciencia de punta en el mundo de hoy, que una explicación es un fenómeno sujeto a cambios y modificaciones. Los cambios en las estructuras de las explicaciones pueden conducir a verdaderas revoluciones científicas. Pues bien, no hay nada que diga en el mundo que una explicación no puede cambiar; y la forma más básica de su cambio es la consideración de alternativas: *what if...?* — ¿qué hubiera sucedido si...?. La única condición —la única— para el trabajo con los condicionales contrafácticos consiste en llevar la explicación alternativa, o también, el conjunto de explicaciones alternativas hasta el final; esto es, alcanzar una explicación. En otras palabras, el ejercicio de contrafáctico está muy lejos, prácticamente en las antípodas de una simple hipótesis.

Lo anterior nos permite pasar a la tercera sección de este texto.

### 3. Si la física no hubiera triunfado

Si la física no hubiera triunfado, la ciencia por excelencia habría sido la química. La biología no estaba tan desarrollada como la alquimia-química. Las matemáticas se disparan a partir del siglo XIX. Las ciencias sociales no habían nacido aún, en los albores de la modernidad, pues nacen justamente debido a la importancia de la mecánica clásica en el siglo XIX, con A. Comte y el positivismo. La lógica apenas sí había cambiado desde Aristóteles. Será sólo después de Boole que cobrará un camino propio.

Hablaremos entonces de la alquimia-química provisionalmente para concentrarnos, en verdad, en la química; la transformación de la alquimia en química era un proceso necesario, acaso, incluso, inevitable.

La alquimia-química tiene una historia tan o más antigua que la propia física. Con sus orígenes, previsiblemente, en Mesopotamia y en el antiguo Egipto, tiene una historia de prestigio que desborda los marcos de la mera ciencia occidental. Cabe decir, sin ambages, que la más universal de las “ciencias” (omitimos aquí una comprensión puntual de lo que sea “ciencia”, y usamos el término en sentido genérico) fue siempre la alquimia-química. Desde la India hasta la antigua Persia, desde el mundo árabe, hasta el Occidente bárbaro y el civilizado, esto es, lo pueblos germanos y la metrópolis Roma, el Vaticano y la Italia del Renacimiento, por ejemplo, la alquimia era una ciencia respetable, con reputados investigadores, con una tradición sólida, en fin, con una serie de textos que merecen siempre una segunda mirada cuidadosa<sup>3</sup>.

En la historia de la alquimia-química se encuentran figuras míticas como Hermes Trimegisto, hasta varios de los sabios y filósofos de la antigua Grecia; el mundo árabe siempre descolló por su amor al conocimiento y a los libros, y entonces es inevitable referirse a Geber, Al-Razí y Avicena; en la India es necesario mencionar a Al-Biruni, pero en Occidente se imponen los nombres de Nicolás Flamel, Paracelso, y el propio San Alberto Magno, el maestro de Tomás de Aquino, quien también trabajó en el tema. Ya en los albores de la ciencia moderna, trabajan

e investigan en alquimia-química Roger Bacon, George Ripley Juan de Peratallada, y el siempre legendario John Dee. Como es sabido, Newton dedicó estudios largos y profundos al tema; la lista en fin puede ampliarse sin ninguna dificultad. No había nadie culto o educado en la historia que no estuviera profundamente interesado en la ciencia de la transmutación, la cual comprendía a las técnicas (“ingeniería”), la astrología (“astronomía”), la propia química, siempre a la medicina y a la filosofía (Iñigo, 2011).

La razón por la que la alquimia se transforma en la química tiene que ver, como factores extra-científicos, por la anatematización por parte del cristianismo, y como factores internos, justamente por el ascenso de la física moderna y su aparato matemático. Pero claro, aquí el supuesto es que la física no triunfa. Por lo tanto, la alquimia-química se convierte en el modelo de racionalidad científica.

La alquimia desaparece en su *discurso* –esto es, en la búsqueda de la piedra filosofal, en la transmutación de los materiales en oro, principalmente–. Pero permanece en sus prácticas y haceres. Y son exactamente estas prácticas y haceres los que dan lugar a la química, la cual nace, de acuerdo con la historia oficial en el siglo XVII, en particular gracias a Robert Boyle y su texto *The Skeptical Chemist* (1661/1997). La diferencia entre alquimia y química estriba en el uso del “método científico” – que es de corte eminentemente físico o physicalista. Es preciso observar que durante mucho tiempo existió la discusión entre físicos y químicos acerca de si la química era una ciencia física o si poseía un estatuto epistemológico propio. En el lenguaje rápido de la ciencia se habla, aún hoy en día, de la física-química o la “física y la química”, como estando a un mismo nivel. Pero lo cierto es que la química posee una complejidad inmensamente mayor que la física moderna.

Con Boyle, la lista de grandes químicos en los orígenes de la primera revolución química incluye los nombres de J. Priestley, F. Cronstedt, J. Black, J.-L. de Cadet, Cavendish, C. W. Scheele, Volta y Lavoisier (Asimov, 2010). Después de Lavoisier la estación siguiente es Mendeleiev, y el resto es historia (Strathern, 2000). Semánticamente hablando, puede decirse que la inflexión

está en el siguiente aspecto: si se explica el mundo como compuesto por entidades o cuerpos, entonces tiene *cualidades*; pero si el mundo se compone de átomos, entonces debe hablarse, con propiedad, de *propiedades*. Una distinción para nada trivial.

La química es la ciencia que triunfa en la modernidad, después de la muerte de la Edad Media, y el tránsito por el Quattrocento. Las mejores universidades del mundo se centran en el desarrollo de la misma, y nace un impulso maravilloso a la ciencia.

Ahora bien, ¿qué significa pensar en términos químicos? ¿Cuáles son las características propias de la química que la diferencian de cualquier otra ciencia o disciplina? El hilo conductor será aquí la organización de la tabla de elementos. Dicho negativamente, la química se diferencia, radicalmente, de la física moderna porque no habla y no sabe de causalidad, como tampoco de jerarquías o centralidad, y todo lo que ellas comportan. En contraste, dicho positivamente, la química habla de reacciones, permite introducir la flecha del tiempo, que es determinante para entender los sistemas de complejidad reciente, y organiza y explica el mundo en términos de teoría de conjuntos.

En efecto, todo el basamento y, si cabe, la quintaesencia de la estructura mental de la química descansa en la Tabla de Elementos Periódicos. Los alquimistas organizaban el mundo y lo explicaban con base en siete elementos metálicos: el oro, la plata, el cobre, el estaño, el hierro, el plomo y el mercurio. Los siglos XV-XVII presenciaban una irrupción maravillosa de otros elementos, todos los cuales encuentran un primer intento de sistematización con la Tabla de Afinidades elaborada por Geoffrey (1718). La ley de la conservación de la masa y el estudio de la combustión ya habían hecho su aparición. Posteriormente, Mendeleiev organiza el sistema periódico y propone una tabla antecedente a la que conocemos hoy. Esta es la más importante de las revoluciones en ciencia, sin la menor duda.

En verdad, pensar en términos químicos equivale a pensar en términos de teoría de conjuntos. (Entre paréntesis, en un contexto perfectamente distinto, toda la matemática puede ser traducida o reducida –sin reduccionismos- a

la teoría de conjuntos). Gases livianos y gases pesados, metales pesados y metales livianos, elementos naturales y elementos artificiales, todo se organiza, ulteriormente en una magnífica teoría de conjuntos que permite entender a los elementos relacionamente. De esta suerte, la química permite pensar en términos relacionales o nodales, y de teoría de conjuntos. Lejos está el lenguaje de cuerpos, masas, fuerzas. Muchos antes que la física cuántica, la química pone al día un lenguaje relacional.

En esta misma dirección, la química permite explicar el mundo en términos de enlaces de distintos tipos: simples, covalentes, de van der Waals, y otros. Lo que sale es siempre diferente a lo que entra. Estos son, exactamente, las reacciones químicas. Como se aprecia, la lógica es perfectamente distinta a la de la mecánica clásica. El concepto que aparece aquí es totalmente novedoso en toda la historia de la humanidad: se trata de concepto de síntesis. Pensar en términos químicos comporta una estructura mental radicalmente distinta a la de toda la tradición platónico-aristotélica fundada en el análisis. Ciertamente que la química sabe de análisis, pero además y fundamentalmente, sabe de, y trabaja con, síntesis. Las síntesis químicas tienen una ventaja que ninguna otra ciencia ha alcanzado hasta el día de hoy.

Hay que tener una idea básica pero sólida para reconocer que los campos de la química son siete, así: la química física, la química teórica, la química orgánica, la química inorgánica, la química del estado sólido, la química de superficies, y la química organometálica, que es la de los metales de transición. La química sienta todas las bases, muchos antes de los trabajos de Boltzmann, para descubrir la flecha del tiempo y sistemas y procesos de complejidad creciente. Al fin y al cabo, los elementos de la Tabla Periódica están organizados en conjuntos y/o grupos de complejidad creciente: número de la masa atómica. Es posible identificar a cada elemento según la fila en la que ubica y por la columna en la que sitúa. Si el mundo de hubiera pensado y organizado de esta manera todo habría sido perfectamente distinto; son simplemente algo diferente.

El desarrollo de la química abrió las puertas para pensar a la Tierra no ya simplemente como

un planeta –un concepto eminentemente físico o fiscalista-, sino como un sistema vivo. Es, notablemente, lo que acontece gracias a Vernadsky (1997; publicado originalmente en 1926). La Tierra se transforma en la biosfera, y la biosfera es una amalgama de procesos físicos, químicos y biológicos. Por este camino, se hallan todas las garantías y fundamentos para hablar de problemas medioambientales, gracias, especialmente, a los ciclos biogeoquímicos. La historia del planeta habría sido muy distinta, y no habríamos encontrado el calentamiento global y la crisis climática; y al cabo, incluso, ni siquiera el problema de los límites planetarios.

Una breve observación se impone en este punto. El argumento de que el mundo habría sido perfectamente distinto no es simple y llanamente una hipótesis. Existen diferentes trabajos que ya anticipan esa idea. Quizás el más sólido tiene que ver con el Código de Arquímedes, que si se hubiera descubierto antes habría permitido, ya desde la Grecia antigua, el descubrimiento del cálculo infinitesimal. El manuscrito de Arquímedes se descubre en 1998 y comienza entonces una historia de verificación de su autenticidad; esa historia concluye en el año 2002 confirmando la autoría de Arquímedes. La historia no habría sufrido un retraso de más de veinte siglos y todo habría sido muy, muy diferente (Netz & Noel, 2007). El trabajo de Netz y Noel es un estupendo trabajo de contrafácticos en la historia de la matemática: ¿qué habría sucedido si se hubiera descubierto antes el manuscrito de Arquímedes?

Como se aprecia sin dificultad, la química dispone de un aparato semántico, unos métodos, una lógica, y una metodología perfectamente propia y diferente a la de la mecánica clásica. El mundo inerte es considerado como transiciones entre procesos abióticos y bióticos. La célula bacteriana transforma procesos abióticos en procesos bióticos, se alimenta de iones, y toda la cadena trófica en la naturaleza encuentra su punto de partida en procesos de nitrificación y desnitrificación, de ionización, de combustión y síntesis, y muchos otros. Sin ambages, la química habría permitido descubrir la vida, algo que fue imposible con la mecánica clásica y que sólo sucederá, mucho tiempo después, en 1942 con E. Schrödinger y gracias a esa revolución que

fue la física cuántica. La física moderna nunca avizó ni siquiera tuvo la intuición de la vida y los sistemas vivos. La química, en contraste, sí permite descubrir la vida en el universo, ya desde la nucleosíntesis que sucede en la primera generación de estrellas, y gracias al descubrimiento de que los elementos químicos se forman en las estrellas, a lo largo de las tres generaciones de estrellas que ha habido desde el big-bang (Hands, 2017).

En resumen, si la química hubiera triunfado como paradigma de la modernidad el mundo y la realidad habrían sido explicados de forma distinta, y consiguientemente, la realidad y el mundo se habrían organizado de manera distinta. El triunfo de la física moderna fue inmediatamente el triunfo de la primera revolución industrial. Con la máquina de vapor de Watt (1769) comienza la catástrofe del mundo moderno y contemporáneo. Por sus secuelas, por sus consecuencias. Una tecnología de base no física sino química habría tenido consecuencias muy diferentes: habría permitido una tecnología desde el estudio de las plantas y el aprovechamiento de la energía solar, la importancia de la fotosíntesis, y redes de cooperación, por ejemplo. Para una profundización de esta idea (véase Mancuso, 2017; 2019).

#### 4. ¿Qué habría sido de las ciencias sociales y humanas?

Todo el lenguaje de las ciencias sociales y humanas es distintivamente físico o fiscalista: masa, poder, fuerza, acción-reacción, resistencia, inercia, fricción, caída libre, estado, y muchos otros. Las ciencias sociales y humanas nacen, manifiestamente, a la luz de la mecánica clásica, exactamente en el marco de la Tercera República en Francia, bajo la cobertura del positivismo, y como la formulación del programa por parte de A. Comte. Análogamente a como había las ciencias de la naturaleza, deberían ser posibles unas ciencias del ser humano (*sciences de l'homme*). Estas fueron, en francés, *les sciences de l'homme*, y en inglés, *the social sciences*. No existe, por tanto, de entrada, ninguna diferencia entre las ciencias sociales y las ciencias humanas.

Cuando nacen, las ciencias sociales y humanas tienen, lógica y metodológicamente, un complejo de inferioridad –nunca abiertamente declarado– con respecto al modelo físico-matemático de la ciencia moderna. Surge así la idea de “ciencias duras y ciencias blandas”, o cualquier otra variación de la clasificación. Toda la clave está en la disposición o no de un aparato matemático. Por esta razón se introduce la distinción –a todas luces artificiosa– entre métodos cuantitativos y métodos cualitativos. Las ciencias sociales y humanas quisieron ser a la manera de la mecánica clásica; y verosímelmente la única que lo habría logrado habría sido la economía; en especial la microeconomía. Con la química nada semejante habría sucedido.

En verdad, ya desde la propia historia de la alquimia-química las oposiciones entre ciencia y filosofía, de un lado, y entre la naturaleza y el ser humano eran inexistentes. Es la física la que introduce oposiciones semejantes, y por tanto jerarquías. El dualismo cartesiano, y todas sus nefastas consecuencias corresponden a una forma de pensar equivocada y que nada sabía de la alquimia-química.

La constitución de las dos culturas (C. P. Snow, 2012), esto es, el dualismo ser humano-naturaleza ha tenido consecuencias altamente negativas. Con la química algo semejante jamás habría sucedido. Baste con poner de manifiesto que la más social de todas las ciencias (naturales) es la química: basta con echar una mirada desprevenida a los vestidos, las casas, los objetos que nos rodean, incluso la comida que se ingiere, todo lo cual pone al descubierto que la química juega un papel altamente destacado.

Más radicalmente, la estructura mental de la química permite entender al mundo en términos perfectamente distintos al dualismo cartesiano-newtoniano. En términos filosóficos, la química permite pensar la identidad y la diferencia al mismo tiempo; y como lo pone en evidencia un premio nobel de química, se trata del reconocimiento de que la naturaleza y el mundo están constituido por lo mismo y no lo mismo (Hoffman, 1997).

Las ciencias sociales y humanas habrían desarrollado una visión mucho bastante más armónica con la naturaleza que lo que permitió el

modelo de la física. El hiperconsumo, la obsolescencia programada, la consideración de que existen “recursos naturales”, todos los problemas de contaminación y de polución, la degradación de la naturaleza – nada de esto habría sucedido de haber vencido la estructura mental de la química. En consecuencia, los problemas de desertificación, tala de árboles y bosques, la privatización del agua en numerosos países, la minería a cielo abierto, por ejemplo, no habrían sucedido. Una afirmación fuerte y directa. La razón está en el hecho de que la química es la bisagra que permite articular las ciencias de la tierra –por tanto, los estudios sobre deriva continental, tectónica de placas, aguas submarinas, ciclos biogeoquímicos–, y las ciencias sociales y humanas. El propio estatuto social y cultural de las ciencias en general sería perfectamente diferente. La física clásica cosificó el mundo, introdujo la administración científica (Ford, Taylor, Fayol, Forrester), convirtió a la medicina en una ciencia definida en función de la enfermedad, sentó las bases de la inequidad, la impunidad, la violencia y las guerras. Todas las guerras de la modernidad hasta la primera guerra mundial fueron las guerras de la física. De consuno, el Estado (*sic*; en mayúsculas atávicamente) se definió en términos de poderes (legislativo, judicial y ejecutivo) – todo, en una concepción física o fiscalista de las cosas. La última y más reciente expresión de esta historia es el lenguaje de y sobre las instituciones – entes inanes, por definición. La física jamás supo de vida, en ninguna acepción de la palabra.

Naturalmente que las ciencias sociales y humanas habrían nacido, pero su parto, concepción y filosofía hubiera sido muy diferente a las que fueron y hay. Pensar en términos de enlaces, pensar como síntesis, pensar en términos no binarios ni dualistas, en fin, pensar sabiendo del tiempo fue algo que jamás sucedió en la economía, la política la sociología, la antropología o la psicología tal y como sucedieron entre los siglos XVII y XX. Una concepción diferente de los seres humanos habría dado lugar a relacionamientos distintos con los seres humanos.

Pensar en términos no-causales y sin jerarquías fue algo que jamás sucedió en la historia de las ciencias sociales, sólo hasta hace muy poco tiempo. La propia termodinámica habría nacido

mucho antes, y seguramente en un lapso más breve que lo que aconteció. Ulteriormente, fue un químico el primero que en toda la historia de la humanidad recuperó a Heráclito y la idea del devenir: I. Prigogine, quien concibe a su propio desarrollo –la termodinámica del no-equilibrio– como una “física del devenir” (Prigogine, 1980). Dicho sin más, es la primera mención relevante de Heráclito en el ámbito de las ciencias. Lo que imperó fue siempre una concepción del universo y el mundo en términos de “estado” (véase “los estados de la materia”, que es pura física). La idea del devenir –*panta rei*–, sólo es incorporada gracias a los trabajos de Prigogine; por extensión, gracias a la complejidad, y entonces las divisiones de ciencias y disciplinas estallan en pedazos.

Al interior mismo de las ciencias sociales y humanas se estableció la oposición con respecto a las humanidades; esto es, las artes, la literatura, la filosofía, especialmente. Filosóficamente, la alquimia-química jamás supo de oposiciones semejantes. Todo resultó como consecuencia de la física moderna.

En el mundo en el que triunfa la química como la ciencia de la primera revolución científica y que sirve, por tanto, como paradigma, las tecnologías limpias habrían emergido mucho antes. Digámoslo de manera explícita: todas las tecnologías limpias y tecnologías verdes tienen un fundamento químico, mucho más que físico (Wilbraham *et al.*, 2012; Brown *et al.*, 2009). La gestión del mundo, la propia comprensión del mundo y la naturaleza, en fin, las relaciones con el mundo y los demás seres humanos jamás hubiera tenido lugar de la forma como sucedió bajo la égida de la física clásica. La física sirvió de base para el menosprecio de la naturaleza, y con ella, de otras formas de existencia humana.

No en última instancia, el tema que habría sido perfectamente indiferente habría sido la relación entre los seres humanos y los demás sistemas vivos –aguas, animales, plantas. Después de todo las ciencias sociales y humanas contribuyen a explicar cómo hemos vivido, cómo podemos vivir, cuál es el lugar y la economía de los seres humanos en el contexto de la biosfera y del universo. Quisiera decirlo de manera franca y directa: las ciencias sociales hubieran sido menos fiscalistas y habrían humanizado muchos más

a la naturaleza, un tema que no es para nada baladí. Después de todo, los temas relativos a la naturalización de la existencia humana y la humanización de la naturaleza permanecen entre los aspectos más sensibles tanto de la filosofía como, ulteriormente, de la sabiduría misma. Sin ambages, todo el destino de los debates entre capitalismo y socialismo hubieran sido perfectamente distintos, acaso, eventualmente, inexistentes.

Todos los problemas de convivencia que se traducen en violencia de todo tipo, inequidad, crímenes de toda índole –incluido el feminicidio–, son la obra de una visión inanimada del mundo; por el contrario, saber vivir, y vivir bien –*suma qamaña*, *sumak kawsay*–, aparecen, sin ninguna dificultad una vez que se entiende a la naturaleza en términos de ciclos, de procesos, de intercambios. La historia más reciente lo aprendió, pero con un costo muy elevado.

En síntesis, la visión objetivista y cosificadora del mundo y la naturaleza verosíblemente no habría tenido lugar con la intensidad y características, consecuencias y justificaciones, directas e indirectas.

## 5. ¿Y en el mundo? ¿Y en la cultura?

El mundo en general es el resultado de intercambios de materia y energía. Pues bien, los cambios de energía que suceden en las reacciones químicas son muy fáciles de medir. Los cambios sobre la energía libre es uno de los núcleos de trabajo en química. Si esto se hubiera puesto de manifiesto antes de la revolución industrial, antes que el modelo newtoniano, el mundo sería un lugar amable y vivible, mucho más de lo que lo es hoy, en medio de la crisis climática.

El mundo conocido es un mundo de crisis, sistémicas y sistemáticas. El mundo conocido demanda posibilidades, y las posibilidades se encuentran tanto hacia adelante como hacia atrás. Y hacia atrás el mundo de posibilidades es puesto de manifiesto gracias a la lógica de contrafacticos. Sólo podemos pensar lo real en el trasfondo de lo posible; sólo así hay esperanzas, y las esperanzas se nutren del futuro y el presente, tanto como del pasado.

Si la química hubiera triunfado y hubiera fracasado la física clásica en su protagonismo, logramos adelantarnos en algunos campos cien años, en otros doscientos. No habría sucedido la crisis climática, y muchas de las guerras – mundiales y locales- seguramente no habrían sucedido; pues fueron y han sido guerras entre poderes, entre estados, entre fuerzas – y los tres son conceptos pivotes de la mecánica clásica. La mecánica clásica a la vez que plasma a toda la modernidad y al mundo normal hasta la fecha, es el producto mejor acabado de la racionalidad occidental. Esa racionalidad que cree en cuerpos, causas, jerarquías, centralidades, comienzos y finales, por ejemplo.

La química pone abiertamente, sobre la mesa, a plena luz del día, la idea de ciclos. Mientras que el planeta es un sistema abierto a la información y a la energía, es cerrado a la materia. La materia que hace posible la vida sólo es posible encontrarla en el planeta; y su base son los ciclos biogeoquímicos. Ciclos incesantes, permanentes, nunca interrumpidos, siempre continuos. La vida es el resultado de esos ciclos y al mismo tiempo el catalizador de los mismos, conjuntamente con ese enorme termostato que es el planeta.

La ciencia consiste, simple y llanamente en una forma de pensamiento, pero ese pensamiento incide notablemente, directa o indirectamente, sobre las acciones de los seres humanos; entre sí tanto como con y sobre la naturaleza. Por ello la importancia de estudios como la sociología de la ciencia, la antropología de la ciencia, la historia de la ciencia, la filosofía de la ciencia, por ejemplo. La formación en ciencia es formación en estructuras mentales, en formas de pensar, y ulteriormente, en formas de vivir.

Los hombres –y mujeres- que trabajaron, siempre usualmente a la sombra, en la alquimia eran personas que creían en los cambios; por eso mismo la alquimia y la química fueron y son ciencias de permutaciones, de transformaciones. Prigogine lo cita en un par de ocasiones en toda su obra, el premio nobel de química de 1977, retomando una idea de corte eminentemente alquimista: ígnea *mutat res*; el fuego cambia todas las cosas. En contraste, el lenguaje y la cosmovisión de la mecánica clásica fue siempre el

de estados, desde la inercia, hasta el movimiento uniformemente acelerado. Todo lo demás era asunto de fuerzas, y proporciones entre masas, en fin, de gravitación. No en vano, la filosofía de la naturaleza de la mecánica clásica coincide, plano por plano, con la idea de una naturaleza humana. Esto es, el estudio de un ser de naturaleza inmutable, que no sabe de cambios o transformaciones.

Contra esta idea de una naturaleza humana, la antropología descubrirá un ser humano sujeto a variaciones y cambios, tanto en el espacio como en el tiempo. Y las artes, en especial, esas del siglo XIX descubrirán experiencias variables, en cada caso singulares, nada universal e indiferenciado. Claro, la química ya rondaba en los ambientes de los salones más cultos y educados. Cuando fracasó como paradigma la física y triunfó la química, el tiempo se adelantó, y la modernidad del arte tuvo lugar, por lo menos, cien años antes (Daix, 2002).

La física triunfó debido a que la Edad Media necesitaba, después de la muerte de la teología como *Scientia Magna*, seguir pensando el mundo y la naturaleza como inmutables. La alquimia siempre fue asociada a herejías, mientras que la física, a pesar de los casos G. Bruno y Galileo, no lo fue. La alquimia –eso era bien conocido-, era el tema de culturas paganas y ajenas: la India, Persia, Mesopotamia, Egipto, varios países musulmanes, China, y los pueblos Germánicos, principalmente. En los sitios más centrales, Irlanda, Inglaterra, Francia y Escocia, era un asunto socialmente vergonzante, cuyo epítome fue Newton, justamente. Suecia ocupa un lugar propio, más cercano a los Germanos que a los Ingleses. En la católica España, la alquimia fue un asunto clandestino; en esa metrópolis que fue la hoy Italia, fue prácticamente desconocida u ocultada Parker, 2018).

De suerte que es posible, además, hablar de una sociología y una historia de la ciencia, relativamente a la alquimia, y a su contrapeso, la física. La cosmovisión alquimista era peligrosa, y por eso fue siempre perseguida. Hasta que triunfó, como es en este ejercicio de contrafácticos (debo dejar aquí de lado una consideración de las razones por las que triunfó, que sería el objeto

de otro texto, aparte. Las limitaciones de espacio me obligan a dejarlo aparte).

La química permitió un acceso de la mujer a la ciencia, de forma mucho más fácil que lo que la física hizo. Al fin y al cabo, en el contexto de la cultura, la alquimia se asimilaba a la brujería. La presencia de la mujer en la ciencia fue un cambio radical en la cosmovisión y en las relaciones. Todavía en el siglo XX, por ejemplo, una figura tan importante como Emmy Noether (1882-1935) fue menospreciada o subvalorada, en su momento, por el establecimiento científico de los físicos; por ejemplo.

La política, y con ella la ciencia y los estudios políticos, fue una de las ciencias que nunca fue posible a la manera como tuvo lugar bajo la luz de la física moderna. Antes que pivotar en torno al Estado y las Instituciones, por ejemplo, supo de interacciones, cooperación, síntesis y equilibrios químicos – esto es, ulteriormente, homeostáticos-. Esa sociología peligrosa de Habermas (1988) y de Luhman (2007), la sociología sistémica y de acción comunicativa, nunca nació cuando la química iluminó con sus conceptos la cultura en general. Al fin y al cabo, la de Luhmann y Habermas es sociología sin sujetos, sociedad sin sujetos, sólo procesos, mecanismos, correajes y estrategias. La antropología misma, como la ciencia del otro –ajeno y distante- y de lo otro, nunca tuvo nacimiento, sino esa antropología centrada en la vida, y no en el proyecto burgués del siglo XIX. A fortiori, la antropología estructural, y con ella todo el estructuralismo, no nacieron jamás, pues la atención se centró en las relaciones entre los seres humanos y sus entornos naturales. Una antropología (más) vernácula, digamos.

## 6. Conclusiones

El mundo que vivimos es tan sólo uno de múltiples mundos posibles. Observar, describir, formular hipótesis sobre el mundo, verificar o confirmar esas hipótesis y demás es tan sólo una posibilidad, y de hecho siempre la mejor, en la tarea de explicar y comprender el mundo. Pero se olvida, usualmente se pasa por alto en efecto, que existe y son posibles otros mundos.

El mundo, decía con razón Wittgenstein es lo que viene al caso: *Die Welt ist alles, was der Fall ist*; exactamente, el mundo es todo lo que viene al caso. Desde el punto de vista del conocimiento en general –artes, filosofía, ciencia, notablemente-, el mundo no es otra cosa que el conjunto de explicaciones que tenemos sobre él. Pues bien, siempre son posibles y existen numerosas otras explicaciones sobre el mundo y la realidad.

Sólo que, si es así, entonces es una obligación tanto moral como epistemológica, mostrar con detalle, cómo y por qué esos otros mundos son posibles. Una ciencia que se define en función de la vida no le da la espalda a la realidad, pero se define, frontalmente, de cara a lo posible. Pensar posibilidades no es, finalmente, otra cosa, que pensar tiempos mejores, mundos mejores, una vida mejor – siempre diferente a la actual, cualquiera que sea esa realidad.

La ciencia –como el arte– refleja una época y al mismo tiempo contribuye a crearla. De este modo, cuando la física no triunfó fue otra época la que surgió: con valores diferentes, con lenguajes distintos, con aproximaciones y explicaciones propias, en fin, con formas perfectamente singulares de relacionarse. Ese mundo, por definición fue mejor, como lo es, en general y por principio, el mundo de las posibilidades.

La ciencia (episteme), sostenía Platón (en el *Teetetes*), consiste en una elemental ecuación, así:

$$\text{Ciencia} = \text{Creencia} + \text{Justificación}$$

Todas las personas tienen numerosas creencias, y tiene derecho a ellas. La clave está en la justificación de las creencias. Es en las justificaciones que se puede establecer la buena ciencia de la pseudo-ciencia, un asunto altamente espinoso.

Lo mejor de la ciencia en general, y de la lógica, más exactamente, de las lógicas no-clásicas en particular, consiste en el reconocimiento expreso de que no caben ya explicaciones de tipo determinista. Nos hemos empezado a liberar/ liberado del determinismo. Los mundos posibles consisten en *buenas explicaciones posibles*. Pensar bien consiste exactamente en pensar en todas las posibilidades, y nadie piensa bien si no piensa en todas las posibilidades; no porque todas las

posibilidades se cumplen, sino porque cualquier puede llevarse a cabo.

Permutar las cosas, pensar en términos de síntesis, crear la tabla periódica como el alfabeto de la totalidad del universo conocido y por conocer puso en el foco de la educación en ciencia y de la investigación la importancia de la imaginación y la fantasía. Al fin y al cabo, para cambiar los elementos y pensar en posibilidades, debemos poder imaginarlas antes. Pues las posibilidades no se ven con los ojos y con la percepción natural. Las posibilidades se las alcanza mediante intuiciones, actos fantasiosos, mucha imaginación. Las posibilidades, en otras palabras, suponen un método científico, perfectamente distinto a observación-descripción y demás. Mientras que la física clásica creó un mundo de control, la química puso en evidencia un mundo de gente libre y de mucha creatividad. Creatividad y juego. Qué sucede si se agrega una pizca de este elemento, qué sucedería si se agrega algo más de calor, y así sucesivamente. La química es el juego de las posibilidades, de lejos, mucho más que la física moderna.

## Notas

1. En rigor, esta idea es de lo que podríamos llamar el primer Popper. Es cierto que ya en su edad madura moderó esta afirmación.
2. Un lector interesado puede remitirse a los trabajos de esos autores citados además de Kyburg & Teng (2001).
3. Para un estudio de las relaciones entre bárbaros y civilización, véase Heather (2010).

## Referencias

- Asimov, I., (2010). *Breve historia de la química. Introducción a las ideas y conceptos de la química*. Grupo Anaya.
- Ball, Ph., (2004). *Critical Mass. How One Thing Leads to Another*. Farrar, Straus, and Giroux.
- Boyle, R., (1997). *The Skeptical Chemist*. The Classics of Science Library.
- Bowler, P. J., & Morus, I. R., (2007). *Panorama general de la ciencia moderna*. Crítica.
- Brown, T. L., LeMay, Jr., H. E., Bursten, B. E., Murphy, C. J., & Woodward, P., (2009). *Química. La ciencia central*. Pearson.
- Chisholm, R. M., “Law Statements and Counterfactual Inference”, en: *Analysis*, vol. 15, No. 5 (Abril), pp. 97-105; doi: <https://doi.org/10.2307/3326359>
- Cohen, I. B., (1989). *Revolución en la ciencia. De la naturaleza de las revoluciones científicas, de sus etapas y desarrollo temporal, de los factores creativos que generan las ideas revolucionarias y de los criterios específicos que permiten determinarlas*. Gedisa.
- Daix, P., (2002). *Historia cultural del arte moderno. De David a Cézanne*. Cátedra.
- Evans, R. J., (2018). *Contrafactuales. ¿Y si todo hubiera sido diferente?*. Turner.
- Ferguson, N., (1998). *Historia virtual. ¿Qué hubiera pasado si...?*. Taurus.
- Fischer, E. P., (2016). *El gato de Schrödinger en el árbol de Mandelbrot*. Crítica.
- Goodman, N., (1946). “The problem of counterfactual conditionals”, en: *Journal of Philosophy*, 44 (5):113-128; doi: 10.2307/2019988
- Gribbin, J., (2005). *Historia de la ciencia. 1543-2001*. Crítica.
- Habermas, J., (1988). *La lógica de las ciencias sociales*. Tecnos.
- Hands, J., (2017). *Cosmosapiens. Human Evolution from the Origin of the Universe*. Overlook Duckworth.
- Hawthorn, G., (1995). *Mundos plausibles, mundos alternativos*. Cambridge University Press.
- Heather, P., (2010). *Emperadores y Bárbaros. El primer milenio de la historia de Europa*. Crítica.
- Hoffman, R., (1997). *Lo mismo y no lo mismo*. Fondo de Cultura Económica.
- Iñigo, L. E., (2011). *Breve historia de la alquimia*. Ediciones Nowtilus.
- Koyré, A., (2013). *Introducción a la lectura de Hegel*. Trotta.
- Kvart, I., (1986). *A Theory of Counterfactuals*. Ridgview Publishing Company.
- Kyburg, Jr., H. E., & Teng, Ch. M., (2001). *Uncertain Inference*. Cambridge University Press.
- Lewis, D., (1995). *On the Plurality of Worlds*. Blackwell.
- Loux, M. J., (1979). *The Possible and the Actual. Reading in the Metaphysics of Modality*. Cornell University Press.
- Luhmann, N., (2007). *La sociedad la sociedad*. Herder.
- Makinson, D., (2005). *Bridges from Classical to Nonmonotonic Logic*. King's College.

- Maldonado, C. E., (2020a). *Pensar. Lógicas no-clásicas*. Editorial Universidad El Bosque.
- Maldonado, C. E., (2020b). *Teoría de la información y revolución científica*. Editorial Universidad El Bosque.
- Maldonado, C. E., (2020c) “La (buena) ciencia como (un acto de) rebelión”, en: *Pacarina del Sur* [En línea], año 11, núm. 41, octubre-diciembre, 2019. ISSN: 2007-2309; disponible en: <http://pacarinadelsur.com/home/utopias/1820-la-buena-ciencia-como-un-acto-de-rebelion>
- Maldonado, C. E., (2019) “La educación: un caso conspicuo de rebelión en la ciencia”, en: *Praxis Pedagógica*, 19(24), 1-8. <http://dx.doi.org/10.26620/uniminuto.praxis.19.24.2019.1-8>.
- Maldonado, C. E., (2018) “La investigación como ludopatía”, en: *Pacarina del Sur*, Año, 10, No. 37, Octubre. Diciembre, ISSN 2007-2309, disponible en: <http://www.pacarina.org/home/alma-matinal/1677-la-investigacion-cientifica-como-ludopatia>
- Maldonado, C. E., (2016). *Complejidad de las ciencias sociales. Y de otras ciencias y disciplinas*. Desde Abajo.
- Mancuso, S., (2019). *El increíble viaje de las plantas*. Galaxia Gutenberg.
- Mancuso, S., (2017). *El futuro es vegetal*. Galaxia Gutenberg.
- Munroe, R., (2022). *What if? 2: Additional Serious Scientific Answers to Absurd Hypothetical Questions*. Riverside Books.
- Netz, R., & Noel, W., (2007). *El Código de Arquímedes. La verdadera historia del manuscrito que podría haber cambiado el rumbo de la ciencia*. Planeta.
- Parker, G., (2018). *El siglo maldito. Clima, guerras y catástrofes en el siglo XVII*. Planeta.
- Prigogine, I. y Stengers, I., (2002). *La nueva alianza. Metamorfosis de La ciencia*. Alianza Editorial.
- Prigogine, I., (1980). *From Being to Becoming. Time and Complexity in the Physical Sciences*. W. H. Freeman and Company.
- Prigogine, I., (1962). *Non-equilibrium Statistical Mechanics*. Interscience Publishers.
- Roberts, R. M., (2013). *Serendipia. Descubrimientos accidentales en la ciencia*. Alianza Editorial.
- Serres, M., (Ed.), (1991). *Historia de las ciencias*. Cátedra.
- Snow, C. P., (2012). *The Two Cultures*. Cambridge University Press.
- Stalnaker, R. C., (1968). “A Theory of Conditionals”, en: *Studies in Logical Theory*, Nicholas Rescher (ed.), Oxford: Basil Blackwell, págs. 98–112.
- Stengers, I., (2019). *Otra ciencia es posible: Manifiesto por una desaceleración de las ciencias*. Emprendimientos Editoriales.
- Strathern, P., (2000). *El sueño de Mendeleiev. De la alquimia a la química*. Siglo XXI.
- Svozil, K., (2018). *Physical (A)Causality. Determinism, Randomness and Uncaused Events*. Springer Verlag.
- Thom, R., (1993). *Prédire n'est pas expliquer*. Flammarion.
- Vernadsky, V. I., (1997). *La biosfera*. Argentinaria.
- Wilbraham, A. C., Staley, D. D., Matta, M. S., Waterman, E. L., (2012). *Chemistry*. Pearson.

**Carlos Eduardo Maldonado** (maldonado-carlos@unbosque.edu.co). Es profesor titular en la Facultad de Medicina de la Universidad El Bosque. Ph.D. en Filosofía (KULeuven, Bélgica); Postdoctorados como: *Visiting Scholar*, University of Pittsburgh; como *Visiting Research Professor*, Catholica University of America (Washington, D.C.); como *Academic-Visitor-Visiting Scholar*, University of Cambridge. Publicaciones recientes (2022): “Internalismo y externalismo en el trabajo en complejidad en América Latina”, en: *Revista Ciencias de la Complejidad*, vol. 3, No. 1, págs. 12-21; doi: <https://doi.org/10.48168/cc012022-002>; (2022) Maldonado, Carlos Eduardo; Garzón, Fabio Alberto. «*Bioethics and Complexity. An Appraisal of Their Relationships to Other Sciences*». *Ramon Llull Journal of Applied Ethics*, [en línea], 2022, Vol. 1, Núm. 13, <https://doi.org/10.34810/rljaev1n13Id398683>; (2022) “La complejidad humana consiste en un entramado de tiempos”, en: *Cinta de Moebius*, 73:14-23; doi: <https://doi.org/10.4067/S0717-554X2022000100014>; (2022) “Five Arguments toward Understanding Life in Light of a Physics of the Immaterial”, en: *Proceedings 2022*, 81, 19. [https://doi.org/10.3390/proceedings\\_2022081019](https://doi.org/10.3390/proceedings_2022081019). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9262-8879>

Recibido: 7 de octubre, 2021.  
Aprobado: 20 de marzo, 2022.