

**PROGRESO CIENTÍFICO Y COMPLEJIDAD:
ACERCA DE *DINÁMICA CIENTÍFICA Y MEDIDAS DE
COMPLEJIDAD* DE MIGUEL FUENTES**

**Scientific Progress and Complexity:
About *Dinámica científica y medidas de complejidad*
by Miguel Fuentes**

LEANDRO GIRI ^{a, b, c}

<https://orcid.org/0000-0002-7068-9750>

leandrogiri@gmail.com

^a Universidad Nacional de Tres de Febrero, Caseros, Argentina.

^b Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Buenos Aires, Argentina.

^c FILOCOMPLEX: Grupo de Estudios en Filosofía de la Ciencia y Sistemas Complejos (Sociedad Argentina de Análisis Filosófico, Buenos Aires, Argentina).

Resumen

El libro *Dinámica científica y medidas de complejidad* de Miguel Fuentes introduce un enfoque novedoso para analizar el progreso científico a partir de métricas de complejidad. En este marco, el progreso de la ciencia se conceptualiza como una reducción en la cantidad de bits necesarios para describir los fenómenos, sugiriendo que la ciencia avanza al reducir la complejidad de sus explicaciones. Este análisis crítico examina los alcances y limitaciones del modelo propuesto por Fuentes, situándolo en relación con el ciclo paradigmático de Kuhn y explorando cuestiones como su carácter proposicionalista, el tratamiento de la inconmensurabilidad, el rol de la emergencia débil y la objetividad del progreso teórico.

Palabras clave: Progreso científico; Complejidad modelo-paramétrica; Filosofía de la ciencia; Dinámica científica; Inconmensurabilidad.

Abstract

Miguel Fuentes' book *Scientific Dynamics and Complexity Measures* introduces a novel approach to analyzing scientific progress through complexity metrics. In this framework, the progress of science is conceptualized as a reduction in the number of bits needed to describe phenomena, suggesting that science advances by reducing the complexity of its explanations. This critical analysis examines the scope and limitations of the model proposed by Fuentes, situating it in relation to Kuhn's paradigm cycle and exploring issues such as its propositionalist nature, the treatment of incommensurability, the role of weak emergence, and the objectivity of theoretical progress.

Key-words: Scientific Progress; Model-Parametric Complexity; Philosophy of Science; Scientific Dynamics; Incommensurability.

1. Introducción

El libro *Dinámica científica y medidas de complejidad* de Miguel Fuentes (2020) introduce un enfoque novedoso para analizar el progreso científico a partir de métricas de complejidad. En particular ofrece una métrica original que relaciona la complejidad de un sistema con la emergencia, denominada “complejidad modelo-paramétrica”, que le resulta útil para poder rastrear variaciones de la complejidad en las teorías durante su ciclo vital. Así, logra ofrecer un modo de medir el progreso científico a través de la variación de la complejidad a lo largo del tiempo. En otras palabras, lo que aparece es la posibilidad de cuantificar la variación del progreso científico. Esto, como veremos, tiene algunas posibilidades interesantes al complementar desde un punto de vista alternativo el modelo de progreso científico por ciclos paradigmáticos clásico de Thomas Kuhn (1971). En el marco de Fuentes, el progreso de la ciencia se conceptualiza como una reducción en la cantidad de bits de información necesarios para describir, explicar y predecir los fenómenos, sugiriendo que la ciencia avanza al reducir la complejidad en sus teorías.

Esta nota crítica examina los alcances y limitaciones del modelo propuesto por Fuentes (2020). Para ello, en primer lugar lo situaremos en relación con la filosofía de Thomas Kuhn para hallar puntos de contacto y posibilidades de exploración futura. En segundo lugar, analizaremos críticamente el carácter proposicionalista de la propuesta, que sitúa el núcleo central de la ciencia en sus productos (vistos, en definitiva, como bits de información agrupados en diferentes configuraciones), lo cual, afirmaremos, corre el riesgo de invisibilizar buena parte de la práctica científica como relevante en el progreso. En tercer lugar, analizaremos la relación entre inconmensurabilidad y emergencia débil, un punto que una vez elucidado podría reforzar el modelo de progreso científico de Fuentes. En cuarto lugar, criticaremos la posición objetivista sobre el progreso teórico que posee el modelo de Fuentes y analizaremos algunas implicaciones posibles de la adopción de su marco conceptual. Finalmente, resumiremos nuestro análisis en un apartado de conclusiones.

2. Puntos de contacto entre Fuentes y Kuhn

Fuentes (2020) propone que el desarrollo científico sigue una dinámica donde las teorías aumentan su complejidad a medida que aparecen datos que no encajan con sus predicciones. Para asimilar este punto es necesario comprender que la mirada de Fuentes precisa concebir a las teorías científicas en términos de información. Intuitivamente no es complejo en-

tender que las teorías, siendo constructos lingüísticos, perfectamente pueden interpretarse como información, y que la información puede medirse, cuantitativamente, como cantidad de bits (entendiendo al bit como la unidad mínima de información legible). Ahora bien, si uno quisiera analizar la cantidad de bits que posee una teoría concreta, supongamos la mecánica newtoniana, ya la cosa no sería tan sencilla. Uno podría sencillamente medir la cantidad de bits presentes en un cuerpo de texto determinado (pongamos por caso el *Principia Mathematica* de Newton), pero ¿qué es medir la cantidad de bits de una teoría? Para poder realizar una medición de este tipo, se hace necesario presentar de alguna forma la teoría en un cuerpo de información legible. El *Principia* es, sin duda, un ejemplar de presentación de la mecánica newtoniana, pero también lo son todas las presentaciones del tema presentes en los manuales de física, como así también las reconstrucciones racionales que los filósofos de la ciencia han realizado a lo largo del tiempo de existencia de la teoría. Cabe suponer, por un lado, que las presentaciones de la teoría pueden sufrir variaciones a lo largo del tiempo, pero, aun obviando este punto, no todos los ejemplares poseen la misma cantidad de bits. Esto dificulta bastante la medición efectiva de los bits de información presentes en la teoría. El modelo de Fuentes (2020) explicita que, de todas las versiones de una teoría, la medición de complejidad debería hacerse sobre su versión informacionalmente más corta (i.e. la que tiene menos bits). Ello implicaría saber qué cantidad de bits tienen todas las alternativas de presentación de una teoría para saber cuál es la más corta, lo cual no simplifica en gran medida nuestro análisis.

Más allá de esta dificultad metodológica (que de hecho atraviesa también a todo intento de análisis epistemológico mediante reconstrucciones racionales), lo cierto es que, si el fin es esbozar una metateoría sobre el progreso teórico, alcanzará con tomar cualquier presentación de una teoría T determinada y medir sus bits desde un momento t_1 a un momento t_2 , a fin de analizar su variación. Por supuesto, como ya afirmamos, medir la cantidad de bits presentes en una edición determinada del *Principia* newtoniano no reviste mayor dificultad. Sin embargo, a fin de evitar confusiones en el análisis de la plausibilidad del modelo de Fuentes, conviene tomar una presentación formalizada de la teoría, donde se elimine toda la información superflua que pueda haber en un texto y se tienda a una mayor síntesis.

El trabajo de Fuentes no es del todo específico acerca de qué cosa es lo que persistiría en la versión reducida, nuclear de la teoría a la cual se le medirían los bits en el momento t_1 . Puede deducirse del texto, sin embargo, que no se trata solamente de la “teoría” entendida en el sentido clásico (sintáctico) de un sistema axiomático de colecciones de enunciados (i.e. las

leyes generales de la teoría + los enunciados particulares que pudieren deducirse de ellos, ver p.e. Savage, 1990). También han de agregarse los datos que pertenecen al conjunto de aplicaciones intencionales de la teoría (i.e. los datos de los cuales la teoría se supone que debe dar cuenta). Establezcamos entonces que, en el modelo de Fuentes (2020), una teoría T posee en un momento t_1 una cantidad de bits b_1 conformado por la suma de los bits propios de los enunciados de la teoría (b_e) y los bits propios de los datos de los cuales la teoría quiere dar cuenta (b_d).

Dicho esto, podemos plantearnos un seguimiento de la dinámica de T en el tiempo siguiendo la variación de sus bits. Ahora es buen momento para trazar un paralelismo con el modelo clásico de progreso científico por ciclos paradigmáticos de Kuhn (1971). Después de todo, en Fuentes y Miguel (2025) se señala la inspiración kuhniana del modelo de Fuentes, que presenta múltiples analogías (aunque también algunas diferencias ostensibles) con respecto a su predecesor.

Para recordar muy brevemente, de acuerdo al modelo clásico kuhniano, el conocimiento científico sobre un determinado dominio del saber comienza en un estado inmaduro, donde se enfrenta en competencia a una cantidad variable de cuerpos de conocimiento alternativos sobre el mismo dominio. Una vez que una alternativa, por algún determinado motivo, supera a las demás y se hace con el consenso de la comunidad de expertos, se convierte en un paradigma. Este paradigma posee una vida marcada por una dinámica cíclica. En su primera fase, el paradigma se halla en una etapa de “ciencia normal”, donde los científicos se dedican a resolver los puzzles (o enigmas), que son problemas enmarcados por las reglas metodológicas y teóricas aceptadas por la comunidad. También pueden aparecer anomalías, que son problemas que no logran ser resueltos con las reglas impuestas por la comunidad. La acumulación de anomalías puede llevar al paradigma a su siguiente fase, que es la de crisis. En la crisis la comunidad pierde su fe en el paradigma y muchos científicos encuentran motivación para desafiar al paradigma en búsqueda de alternativas. Una vez que aparece una alternativa plausible que logra aceptación de un grupo importante de científicos, ocurre el fenómeno de revolución científica, el paradigma antiguo es reemplazado por el nuevo y el ciclo comienza de nuevo.

Para nuestro paralelismo, diremos que la teoría T ha conformado un paradigma kuhniano (es decir, posee un cierto grado comunitario de consenso, y es posible identificar en él los elementos típicos de los paradigmas: modelos, generalizaciones simbólicas, valores y ejemplares) y se encuentra en la etapa de ciencia normal. Para simplificar, diremos que los bits de T son la suma de los bits propios de las generalizaciones simbólicas de T y de los ejemplares de T (entendiendo a las generalizaciones simbólicas como los

enunciados legaliformes de T y a los ejemplares como los casos exitosos en que T ha ajustado los datos, ver Kuhn 1971).

Los científicos agrupados bajo el paradigma se dedicarán, de ahora en más, a trabajar buscando puzzles que resolver. Una vez resueltos, la lista de ejemplares aumentará y por ello aumentará *bd* (los bits debido a los datos que ajustan con la teoría) y, por tanto los bits totales de T. Esto implica que durante una etapa de ciencia normal que funcione correctamente (de acuerdo a los parámetros de Kuhn, no así de acuerdo a los estándares de Karl Popper, ver 1975) la tendencia será de crecimiento de *bd*. Sin embargo, hay que recordar que en el modelo de Fuentes, el análisis de la variación de los bits de una teoría en el tiempo no es importante en sí mismo, sino como indicador de la variación de la complejidad.

La relación entre complejidad y bits se halla presente en una cantidad de métricas de complejidad diferentes. Fuentes (2020) analiza varias de ellas: la complejidad computacional, la algorítmica (o de Kolmogorov, llamada K) y la efectiva. Todas ellas permiten evaluar la complejidad analizando la cantidad y calidad de los bits de un cuerpo de información (para evaluar la complejidad de un sistema empírico, es necesario tener una teoría sobre ese sistema empírico, lo que lleva a que la complejidad sea relativa a dicha teoría). Dicho esto, Fuentes propone una métrica de complejidad novedosa, que denomina “modelo paramétrica” y consiste en “[...] una función que, a cada valor del parámetro de control de un determinado modelo utilizado para explicar el sistema en estudio, asigna el valor de la complejidad de Kolmogorov” (2020, p. 89).

En otras palabras, para medir la complejidad de T, Fuentes sugiere utilizar la complejidad modelo-paramétrica, lo que consiste en:

- a) Elegir algún parámetro de control para la medición de la complejidad de T. El parámetro de control de un sistema es una variable que, de acuerdo a la teoría sobre dicho sistema, puede ser interesante seguir, ya que cuando tal variable o parámetro toma cierto valor en el sistema, este comienza a comportarse de una manera cualitativamente distinta. Esto es bastante claro para sistemas empíricos donde una cantidad de una sustancia sometida a una presión constante sufre una variación importante de comportamiento al alcanzar una cierta temperatura (supongamos, un cambio de fase), lo cual hace que la temperatura sea un buen parámetro de control para analizar dicho sistema empírico. Para analizar el comportamiento de sistemas de información como las teorías habrá que buscar variables relevantes que produzcan para cierto valor una diferencia ostensible de comportamiento. Un ejemplo posible (propuesto en Fuentes & Miguel, 2025) es el

de la precisión, ya que ciertas teorías pueden funcionar muy bien siempre que se toleren precisiones bajas. Una vez que se exige aumento de precisión (presumiblemente por mejora en las observaciones, mejores tecnologías de medición y cálculo, etc.), teorías que funcionaban aceptablemente bien son abandonadas o requieren el agregado de enunciados *ad hoc* que aumentan los bits debido al cambio en las generalizaciones simbólicas de la teoría.

- b) Medir la variación en la complejidad modelo-paramétrica, es decir, para diferentes valores del parámetro de control verificar qué ocurre con su complejidad de Kolmogorov K . Esta consiste en “la longitud del programa de computación más corto (en un lenguaje de programación predeterminado) que produce el objeto como salida, o *output*. Es una medida de los recursos computacionales necesarios para especificar el objeto [...]” (Fuentes, 2020, p. 37). Como se ve, si aumenta el valor de precisión exigida a una teoría, la complejidad entendida de esta manera presumiblemente aumenta debido a la cantidad de enunciados adicionales que hay que agregarle al sistema teórico para poder alcanzar la precisión buscada. En el ejemplo de Fuentes y Miguel (2025), esto se ilustra en los diferentes sistemas cosmológicos de Claudio Ptolomeo, Tycho Brahe y Johannes Kepler. Para alcanzar una precisión aceptable, Ptolomeo debió utilizar un sistema complejo de enunciados sobre el movimiento celeste que implican epiciclos y deferentes (que suman al valor de su b_e). El sistema de Kepler permite más precisión y menos bits para ello y menor K ya que el algoritmo para dar cuenta de los datos (básicamente obtenible de las leyes de Kepler) es mucho menor que el algoritmo que surge de una traducción computacional de los postulados del Almagesto ptolemaico.

A medida que los científicos de la etapa normal de T resuelven puzzles, afirmamos que los bits de t aumentan por el aumento de b_d (más datos caen en el ámbito de T), pero la K no aumenta: el algoritmo que nos permite expresar mediante un lenguaje computacional los postulados de T no se relacionan con los ejemplares sino con las generalizaciones simbólicas (i.e. las leyes de la T). Esto implica que el progreso normal de T no produce modificaciones en K y por ende en la complejidad modelo-paramétrica de T .

Sin embargo es propio del trabajo en ciencia normal ir exigiendo al paradigma cada vez más en términos de determinados valores percibidos como beneficiosos por la comunidad científica (ver Kuhn, 1982), por ejemplo en la precisión. Esto se puede relacionar, como sugiere el propio Fuentes (2020), con el desarrollo de innovaciones tecnológicas que aportan mayor

precisión en los datos, lo que obliga a que la teoría deba, de alguna forma, esforzarse más para poder dar cuenta de los desvíos que anteriormente eran computados como ruido (y por ende no se consideraban como parte de la información relevante de la teoría, y, en nuestro análisis epistemológico, quedaban por fuera de la medición de complejidad). A pesar del esfuerzo de la comunidad por maximizar la simplicidad (que de alguna manera es la columna vertebral del modelo de Fuentes, toda vez que implica el *desideratum* de reducir la complejidad de las teorías), lo cierto es que esta tendencia a la precisión mayor resulta conflictiva con la simplicidad al tender a complejizar a las teorías. Nuevos agregados *ad hoc* (piénsese en el agregado de movimientos al algoritmo que explicaba el movimiento retrógrado de Marte en el universo ptolemaico) impactan sobre *be*, ya que suman información a las generalizaciones simbólicas de *T*, y eso sí impacta en *K* y por ende en la complejidad modelo-paramétrica. Ello se observaría, en una gráfica de *K* vs. precisión, como una curva monótona creciente: el aumentar la precisión del sistema o bien deja a *K* igual (porque *T* es robusta para dar cuenta de los datos y sus nuevas cifras significativas) o bien aumenta a *K* (porque *T* agrega enunciados que la refuerzan). Esto puede describirse con la noción que Lakatos (1975) denominaría un proceso de *heurística negativa*.

En el modelo kuhniano, los puzzles que no logran ser resueltos siguiendo los lineamientos exigidos por el paradigma se transforman en anomalías. El efecto de las anomalías, sin embargo no es siempre el mismo. A veces pueden simplemente ignorarse (digamos, en los términos de Fuentes, que los datos anómalos se consideran ruido y son descartados). Un caso intermedio sería el que sugerimos anteriormente, en el que una hipótesis *ad hoc* emparcha una teoría y le infunde nueva vida, al costo de un aumento en la complejidad modelo-paramétrica. Otras veces una anomalía puede ser tan recalcitrante que conduce al paradigma a una crisis. El caso de la crisis no está descrito con precisión en Fuentes (2020), pero podemos imaginarlo como un caso similar al intermedio pero más extremo: los enunciados *ad hoc* que permitirían dar cuenta de los datos anómalos son contradictorios con las generalizaciones simbólicas de *T*. Esa recalcitrancia conlleva un aumento sustantivo en *K* que no tiene una relación, como en el caso intermedio, con el aumento de los bits en las generalizaciones (*be*) sino con algún fenómeno similar al que sucede en el software cuando se programa una operación “prohibida” (por ejemplo, una división por cero) que exige tanto al hardware que termina “crasheando”. Sería relevante poder dar cuenta de manera más precisa de este fenómeno de aumento sustantivo de *K* ante una anomalía recalcitrante en futuras investigaciones.

Siguiendo con nuestro paralelismo entre el modelo de Fuentes y el kuhniano, cabe entonces esperar que en la medida que aparezcan anoma-

lías y no sean ignoradas (es decir, impacten de alguna manera en be) la K aumentará. Eso sí, dependerá de la valoración que cada comunidad tenga sobre las anomalías el grado de recalcitrancia considerada para cada una y por ende el grado de aumento de K que producirá en T a medida que transcurra el tiempo. Lo cierto es que el fin de la fase de ciencia normal y el principio de la crisis será un resultado simplemente de la cantidad de complejidad que una comunidad tolere en un momento determinado. Profundizaremos sobre el asunto de la tolerancia comunitaria más adelante.

Finalizaremos nuestro paralelismo al analizar el fenómeno acaecido cuando una nueva teoría reemplaza la anterior ofreciendo una descripción más parsimoniosa, es decir, con menor carga informativa. El nuevo paradigma, que presenta una $T2$ superadora de T , debería poder dar cuenta de los datos de T (y tal vez algunos más), pero con una menor complejidad modelo-paramétrica. En otras palabras, la curva de $T2$ tendría un abrupto descenso de la complejidad, una discontinuidad, y luego comenzaría nuevamente su periplo como curva monótona creciente.

En la próxima sección analizaremos algunas particularidades del modelo de Fuentes (ya amalgamado al de Kuhn) para luego establecer algunas ventajas y límites.

3. El enfoque proposicionalista y su contraste con una perspectiva pragmatista

El modelo de Fuentes (2020) asume una concepción de la ciencia centrada en la generación de proposiciones teóricas (aunque la unidad mínima que le interesa, al visualizar los productos científicos en términos de información, es el bit), lo que podría caracterizarse como un enfoque proposicionalista, tal como sucede en la concepción tradicional en filosofía de la ciencia, post giro lingüístico (ver Giri, 2024). Este enfoque coloca su atención especialmente en los productos de la ciencia, entendidos de diferentes maneras (teorías, modelos, leyes, etc.) como entidades lingüísticas. Más allá de las virtudes de esta tradición, críticos como Hasok Chang (2022), desde un enfoque neopragmatista, han llamado la atención sobre la prioridad lógica del “saber cómo” (propio de un conocimiento “activo”) por sobre el “saber qué” (propio del conocimiento proposicional). En otras palabras, saber cómo construir y operar con teorías parece más importante (y más representativo de la práctica científica que es objeto de estudio de la filosofía de la ciencia) que la mera posesión de dichas teorías. Analizaremos aquí someramente las críticas que Chang atribuye a las filosofías proposicionalistas e intentaremos ver si las mismas pueden extenderse legítimamente al modelo de Fuentes (2020).

Una de las críticas de Chang (2022) a las filosofías proposicionalistas radica en que las mismas suelen partir de una concepción platónica del conocimiento, es decir, la idea de que el mismo puede entenderse como “creencia verdadera justificada”. Esta forma de categorizar al conocimiento implica valorar un cierto cuerpo de conocimiento por su grado de acercamiento a la “verdad” (entendida en algún sentido más o menos sofisticado de correspondencia con un mundo ontológicamente independiente de la cognición humana). Por ello propone, en contraste, una noción de verdad alternativa basada en la coherencia de operaciones epistémicas (i.e. en la convergencia entre diferentes operaciones que se realizan en la práctica científica para resolver diferentes problemas epistémicos).

Resulta relevante para nuestro análisis notar que el modelo de progreso científico de Fuentes parece ser totalmente agnóstico respecto al problema de la verdad. En este sentido, una vez que se asume que los productos de la ciencia son expresables proposicionalmente como “información” procesable de alguna manera, la evolución de dicho conocimiento se da en un contexto en que la comunidad científica busca su crecimiento al tiempo que intenta disminuir su complejidad (expresable convenientemente para nuestro análisis filosófico como complejidad modelo-paramétrica). Esto tiene algunas ventajas notables. En primer lugar, una teoría *T* no necesita ser “verdadera” en un sentido correspondentista, sino simplemente salvar los fenómenos de manera más parsimoniosa que sus competidoras. Esto ancla el modelo de Fuentes dentro de las filosofías dinámicas de la ciencia, ya que lleva a que el progreso de *T* sea evaluable en comparación con otras teorías y no a partir de *T* contra “el mundo” (lo que evita las paradojas metafísicas propias de la evaluación teórica desde el ojo de Dios, ver p.e. Kuhn, 2017). Lo que la comunidad científica o filosófica asuma por “verdad” en este sentido deja de ser importante en la evaluación del progreso. Lo que sí resulta relevante es que más datos sean explicables —con algún valor de parámetro de control creciente (en nuestro ejemplo, la precisión de la teoría)— con enunciados lo más simples posibles en términos informacionales. La hipótesis de que esto constituye el motor del progreso científico puede parecer audaz, pero es lo suficientemente interesante y clara como para someterla a la contrastación empírica, lo que le provee un valor incuestionable para una filosofía diacrónica de la ciencia. En definitiva, Fuentes (2020) no necesita tomar ninguna posición en el debate realismo-antirrealismo, y, de hecho, podría proveer una clave para el mismo: la mejor posición metafísica debería ser la que reduzca la complejidad del sistema teórico que la implique. Este camino de investigación no se ha emprendido aún pero podría ser prometedor. En todo caso, queda claro que la acusación de Chang sobre la metafísica que afecta a las posiciones proposicionalistas no hacen mella sobre el modelo de Fuentes.

Otra de las críticas de Chang (2022) a la filosofía proposicionalista es que al hacer foco en los productos (lingüísticos) de la ciencia (teorías, modelos, etc.) pierde de foco las prácticas. No porque no se diga nada sobre los procesos que los científicos realizan de cara al trabajo con sus productos (hipotetización, contrastación empírica, medición, etc.). Sin embargo este tipo de acciones resultarían eclipsadas al considerarlas únicamente como pasos lógicos necesarios para la creación de los productos científicos, por lo que Chang sugiere ponerlas al frente al definirlas como la unidad epistemológica de análisis fundamental de su propuesta neopragmatista. Así, la “actividad epistémica” se define como un conjunto de operaciones (físicas, mentales, de papel y lápiz, etc.) cuyo propósito sea contribuir a la producción o mejora de conocimiento de acuerdo a ciertas reglas (explícitas o tácitas) de trabajo. Queda claro que una filosofía de la ciencia con este foco se ocupará del conocimiento activo, dado que se ocupa de acciones (i.e. es una praxiología) y no de conocimiento en términos de proposiciones, y por ende estará facultado para explorar de manera más profunda las particularidades de las prácticas concretas de los científicos. Si uno analiza qué ocurre con este aspecto en el marco de Fuentes, se verá que las acciones enfatizadas como relevantes tienen que ver con el aumento de la cantidad (en cuanto cantidad de bits de los datos de los cuales T dará cuenta) y calidad (en cuanto a la capacidad de las generalizaciones de T de dar cuenta de los datos, con alguna medida fiable que sirva de parámetro de control, como la precisión). Esto no sugiere una falla en el modelo de Fuentes, pero sí la conveniencia de complementarlo con un marco como el propuesto por Chang (2022) o su versión ampliada en Giri (2024) para una filosofía de la ciencia que dé cuenta no solo del progreso de los productos sino también de sus procesos, ya que estos también evolucionan de maneras relevantes y por ende deben analizarse en cualquier metateoría que quiera explicar el desarrollo del conocimiento científico.

En la próxima sección nos ocuparemos de un aspecto relevante del modelo de Fuentes, a saber, el de la emergencia. ¿Qué es lo que emerge de un sistema teórico y qué relación tiene este emergente con el progreso teórico?

4. Emergencia, complejidad y progreso teórico

La noción de emergencia es central para la propuesta de Fuentes (2020). Este concepto está muy presente en líneas generales en las indagaciones sobre complejidad, pues los sistemas complejos suelen manifestar propiedades novedosas con respecto al sustrato que le da origen, propiedades que difícilmente pueden ser predichas con la información de dicho sus-

trato. Dado que en la propuesta de Fuentes los sistemas teóricos presentan grados variables de complejidad (mensurable a través de la noción de complejidad modelo-paramétrica), es de esperar que se manifiesten fenómenos emergentes (i.e. que desde el sustrato informacional de T se manifieste algún fenómeno novedoso de alguna forma difícilmente predecible a través de la información de T). De hecho, Fuentes propone la noción de propiedad emergente modelo-paramétrica:

Propiedad emergente modelico-paramétrica E^* : Una propiedad será emergente, E^* , para el valor del parámetro de control, si la complejidad modelico-paramétrica C^* en ese valor del parámetro de control presenta una discontinuidad de tipo escalonado, es decir si se cumple que a un lado del valor del parámetro de control la complejidad es notoriamente menor que al otro lado del parámetro de control (Fuentes, 2020, pp. 89-90).

Básicamente, una propiedad emergente aparecerá si ocurre un aumento violento de la complejidad o un descenso abrupto. Según lo analizado al proponer el diálogo entre el modelo de Fuentes y el de Kuhn, en un período de ciencia normal la curva de complejidad modelo-paramétrica (que, recordemos, tiene en sus ordenadas a la complejidad de Kolmogorov K y en abscisas el valor de un parámetro de control P como la precisión de T) la curva siempre es monótona creciente: (i.e. exigir más precisión a una teoría no llevará a su simplificación sino más bien lo contrario). Así pues, la discontinuidad que genera la propiedad emergente no puede ser otra que la aparición de una anomalía recalcitrante. ¿Y qué es lo que emerge? Pues lo que emerge es la etapa de crisis, que típicamente es difícil de predecir apenas surge (aunque *a posteriori* puedan reconocerse algunas señales típicas: aparición de nuevas tecnologías de observación, aumento de la frecuencia de aparición de anomalías no recalcitrantes y otras por el estilo). Lo importante de la etapa de crisis es que se trata de un periodo de inestabilidad desde el punto de vista informacional: dado que la comunidad científica ha perdido su fe en el paradigma (ver Kuhn, 1971), los científicos más rebeldes probarán diferentes alternativas para dar cuenta de las anomalías recalcitrantes. Algunas alternativas pueden ser agregados *ad hoc* para salvar el paradigma. Otras pueden ser paradigmas rivales para causar una revolución científica. En todo caso, un filósofo historiador muñado del marco de Fuentes que observe el proceso histórico en que aparece la propiedad emergente modelo-paramétrica en T (i.e. la anomalía recalcitrante) no podrá predecir el valor que tomará el par ordenado P (parámetro de control) vs. K en el siguiente instante temporal. Podríamos observar una discontinuidad fuerte en la misma curva de T (con un aumento escalonado de

la complejidad modelo-paramétrica) o la aparición de una nueva curva T2 que ha resuelto, tras revolución científica, los problemas de su antecesora, comenzando desde niveles basales de complejidad.

Esta manera de entender la emergencia es consistente con la idea de emergencia débil,

Lo esencial de la comprensión de una propiedad débilmente emergente es entender que esta propiedad del sistema no es compartida por sus partes más pequeñas. De este modo, es impredecible o inesperado dadas las propiedades y las leyes que dominan el sistema o los componentes de nivel inferior. Más aún, y fundamentalmente, la aparición de sistemas o componentes que surgieron a partir de él (Fuentes, 2020, p. 60).

Mientras que

El principal contraste con la emergencia fuerte es que la débil es compatible con la reductibilidad debido al hecho de que dentro de su marco teórico permite que un componente sea simultáneamente reducible e impredecible. Por ejemplo, variaciones en condiciones iniciales pueden significar que los procesos con leyes totalmente deterministas pueden ser aún impredecibles debido a consecuencias imprevisibles (Fuentes, 2020, p. 60).

Dicho esto, podría ser interesante —aunque aquí no podremos realizarlo en profundidad sino solo enunciarlo— indagar sobre la relación entre la emergencia y el fenómeno de inconmensurabilidad.¹ La inconmensurabilidad (en un sentido no trivial) se predica de dos teorías rivales, es decir que compitan sobre un dominio de aplicación similar o al menos parcialmente solapado (ver Díez, 2012). En tal sentido, la aparición de una crisis en un paradigma no implica la aparición de “inconmensurabilidad”. Sin embargo, el nuevo paradigma que reemplace al anterior (y por ende disminuya la complejidad necesaria para dar cuenta de un conjunto de datos) sí será inconmensurable con el anterior. Esta inconmensurabilidad, en el sentido taxonómico, es lo que se manifiesta como la imposibilidad de una traducción total del vocabulario de T2 al de T1 (por el principio de no superposición, ver Oberheim, 2023). Si nos restringimos a una mirada lexical de las teorías, podemos pensar que lo localmente inconmensurable de T2 respecto a

¹ Sobre la discusión respecto a si la inconmensurabilidad teórica puede ser considerada un “fenómeno” legítimamente (Oberheim & Hoyningen-Huene, 2009) o no (Sankey, 2018), ver Giri (2023).

T1 es al menos parte de “su novedad”, que al menos es responsable en parte del éxito de T2 respecto a T1 y que por ende es parte de lo que ha logrado reducir la complejidad necesaria para dar cuenta del conjunto de datos propio del dominio intencional de aplicación. Dado que adoptamos el marco kuhniano para dialogar con el de Fuentes, adoptamos su mirada dinámica de las teorías científicas, y por lo tanto aceptamos que las teorías no se crean desde un vacío cognitivo, sino desde un sustrato de otras teorías. Así, toda T2 tuvo una T1 anterior que intentó dar cuenta de un dominio de fenómenos determinado. Pero por supuesto, T2 no surge solamente del sustrato de T1, pues todo cuerpo de conocimiento es un sistema abierto. ¿Abierto a qué? Pues a la creatividad de los científicos, al azar, a teorías fuera del dominio de aplicación y otras cuestiones interesantes de investigar. Partir de la literatura sobre la inconmensurabilidad surgida de los estudios kuhnianos podría ser, entonces, un punto interesante para ampliar la propuesta de Fuentes, al asociar el fenómeno en cuestión con la aparición de novedades emergentes en los sistemas teóricos.

En la próxima sección abordaremos otro punto relevante en nuestro análisis crítico del modelo de progreso teórico de Miguel Fuentes (2020) respecto a la objetividad del progreso científico que el modelo parece presuponer.

5. Progreso teórico: objetividad vs. constructivismo

Las filosofías de la ciencia propias de la concepción heredada (ver Suppe, 1979), entre otras, intentaron fomentar una imagen de la ciencia como objetiva y por tanto dieron cuenta de la práctica científica como mediada por decisiones racionales. De acuerdo a esta imagen, una teoría se aceptaba si cumplía con ciertas condiciones relacionadas con la evidencia empírica de un modo inobjetable de acuerdo a estándares más o menos rígidos. Si bien existieron objeciones a esta visión en la primera mitad del siglo XX (quizás la más notoria sea la de Ludwik Fleck, 1986), el golpe más fuerte a la misma fue el surgido, de manera involuntaria, por la publicación de *La estructura de las revoluciones científicas* de Thomas Kuhn (1971). Afirmamos que el golpe fue involuntario porque la filosofía kuhniana no intentaba generar una imagen relativista del progreso científico (ver Kuhn, 2002), pero dejó sin duda un flanco abierto (ver Mladenovic, 2007; Giri & Giri, 2020) que fue capitalizado por el programa fuerte de Edimburgo (ver p.e. Barnes, 1982; Barnes & Bloor, 1982) para fundar su programa relativista en sociología de la ciencia. El problema de esta interpretación, al menos para sus críticos, es que supone que los estándares de progreso científicos son relativos a los estándares de una comunidad científica en un momento

dado, y por ende, al menos en parte, subjetivos. Esto abre la puerta a visiones que pueden ser más o menos radicales pero que tienen de trasfondo la idea de que el valor epistemológico de la ciencia como la forma de conocimiento humana racional por antonomasia es cuando menos exagerada, y, en el extremo, un relato más dentro de otros que se disuelven en la mirada posmoderna de la historia. En definitiva, puede clasificarse a toda posición respecto del progreso científico entre un polo objetivista (i.e. que sostiene que las decisiones sobre evaluación de teorías responden a criterios “racionales”, entendiendo por los mismos criterios epistémicos como la precisión, poder explicativo, capacidad predictiva, etc.) y un polo subjetivista o relativista (i.e. que sostiene que las decisiones sobre evaluación de teorías responden a criterios no epistémicos, entendiendo los mismos como cuestiones ideológicas contextuales externas a la ciencia). Por supuesto, existen posiciones intermedias.

Dicho esto, el marco de Fuentes (2020) parece colocarse fuertemente en el polo objetivista, ya que reduce la idea de progreso a la aparición de una teoría alternativa sobre un dominio dado de aplicación con una complejidad modelo-paramétrica menor. Sin embargo, aquí hay alguna cuestión que merece la pena explorarse respecto al parámetro de control con el cual se mediría la complejidad modelo-paramétrica. La elección de la precisión como parámetro tiene la ventaja de que es cuantificable (y por ende puede diagramarse con relativa simplicidad una curva de P vs. K). Por supuesto que no es del todo claro que todo progreso científico normal pueda visualizarse empíricamente (en un estudio historiográfico) como una anomalía resultado de una exigencia de mayor precisión. El marco nos habilita a probar otros parámetros de control para visualizar la dinámica de la complejidad modelo-paramétrica. ¿Qué otros parámetros se podrían utilizar? En principio, estamos algo exigidos a utilizar variables cuantitativas que se correspondan a valores epistémicos (o al menos, variables cualitativas ordinales, donde podamos señalar como mínimo que hubo aumento o disminución de P en un instante $t+1$: el poder explicativo no parece poder medirse, pero sí es posible decir si aumentó o disminuyó en algún momento dado). En la medida en que el parámetro de control se mueva en el conjunto de variables que constituyen valores epistémicos, el modelo continuará dando cuenta del progreso científico como un proceso objetivo.

Sin embargo, cabe la pregunta: ¿es posible medir la dinámica de la complejidad modelo-paramétrica con un parámetro de control no epistémico? Imaginemos valores no epistémicos o ideológicos que podrían fungir el rol de parámetro de control. Basta que sean variables cuantitativas o cualitativas ordinales que permitan dar cuenta de algún tipo de avance aunque no necesariamente en un sentido universal de progreso. Por ejemplo, si se

pensara en una teoría que beneficie a un grupo social, podríamos pensar en una variable “beneficio al grupo social x”. A medida que se le exija a la teoría durante el avance de la ciencia normal que beneficie más y más al grupo social x, puede que su complejidad crezca por la necesidad de agregar nuevas generalizaciones simbólicas. Un ejemplo análogo sería, dentro de la teoría neoliberal en economía, la necesidad de efectuar enunciados *ad hoc* para establecer los beneficios sociales de recortar el gasto por parte de los gobiernos, que aumentaría su complejidad modelo-paramétrica sobre la base de un parámetro de control no epistémico, a saber la mejora de las ganancias de los empresarios y financistas que controlan los mercados (ver Gómez, 2014). Esto debería explorarse aún más, pero señala la manera de compatibilizar el modelo de progreso científico de Fuentes (2020) con una visión no objetivista del crecimiento del conocimiento, lo que demuestra una potencial flexibilidad del marco que podría utilizarse para abordajes epistemológicos e historiográficos alternativos.

6. Conclusiones y líneas de investigación futuras

El análisis crítico realizado en este trabajo ha permitido una evaluación profunda del modelo de dinámica científica propuesto por Miguel Fuentes (2020) en su libro *Dinámica científica y medidas de complejidad*. En primer lugar, se ha destacado la originalidad del enfoque de Fuentes al considerar el progreso científico como una reducción en la cantidad de bits necesarios para describir los fenómenos (una cantidad creciente de datos, lo que implica necesariamente una disminución de la complejidad). Se trata de un modelo que, aunque novedoso, requiere un análisis detallado sobre sus implicaciones filosóficas y metodológicas.

A lo largo del artículo, se ha explorado la relación entre el modelo de Fuentes y el ciclo paradigmático de Kuhn (1971), identificando puntos de contacto entre ambas propuestas, como la idea de la variabilidad de la complejidad en las teorías científicas y su relación con los paradigmas establecidos. Sin embargo, también se han identificado puntos importantes que pueden enriquecer el modelo de Fuentes, particularmente en lo que respecta al tratamiento de la emergencia débil y la inconmensurabilidad en los paradigmas científicos. La integración de estos conceptos en el modelo de Fuentes podría proporcionar una comprensión más matizada de cómo las teorías científicas cambian no solo en términos de la complejidad de sus explicaciones, sino también en cuanto a la naturaleza de los cambios paradigmáticos y los efectos de las anomalías recalcitrantes.

Además, se ha hecho una crítica al carácter proposicionalista del modelo de Fuentes, que pone un énfasis casi exclusivo en los productos

teóricos de la ciencia, entendidos como configuraciones de bits de información. Si bien esta perspectiva ofrece una base cuantificable para evaluar el progreso científico, se ha argumentado que omite aspectos cruciales de la práctica científica, como los procesos epistemológicos involucrados en la generación y validación de teorías. En este sentido, se ha sugerido que un diálogo con un enfoque pragmatista podría complementar el modelo de Fuentes, al integrar el “saber cómo” y las prácticas científicas que constituyen la labor cotidiana de los científicos. Este énfasis en las prácticas podría ofrecer una visión más completa de cómo se genera el conocimiento y cómo las teorías científicas evolucionan a lo largo del tiempo.

Otro de los aspectos críticos abordados en este trabajo ha sido la noción de objetividad en el modelo de Fuentes. A pesar de que Fuentes se adscribe a una visión objetivista del progreso científico, en la que el avance de la ciencia se mide mediante la reducción de la complejidad informacional de las teorías, se ha señalado que este enfoque podría beneficiarse de una mayor consideración de los factores sociales y contextuales que influyen en el progreso teórico. La integración de factores no epistémicos, como las influencias ideológicas o los intereses sociales, podría abrir nuevas líneas de investigación que permitan entender el progreso científico de una manera más flexible y rica. Así, se ha planteado la necesidad de explorar en qué medida el modelo de Fuentes puede adaptarse para incorporar estas dimensiones sin perder su capacidad para evaluar la complejidad teórica de las ciencias.

En cuanto a las líneas de investigación futuras, el trabajo ha identificado varias áreas clave que podrían profundizarse para enriquecer el modelo de dinámica científica de Fuentes. Una de las líneas más prometedoras es la exploración de la relación entre la complejidad modelo-paramétrica y el desarrollo de nuevas tecnologías. La capacidad de medir la complejidad teórica a través de parámetros como la precisión de los datos podría verse influenciada por innovaciones tecnológicas que permitan obtener datos más precisos o mejorados. De este modo, la interacción entre el progreso científico y las innovaciones tecnológicas debería ser estudiada de forma más detallada, con el fin de comprender mejor cómo estos dos factores se influyen mutuamente en el marco de la evolución de las teorías científicas.

Otro aspecto relevante para futuras investigaciones es la posible correlación entre la reducción de la complejidad teórica y la aceptación de teorías dentro de las comunidades científicas. Si el modelo de Fuentes sugiere que la ciencia progresa al reducir la complejidad de sus explicaciones, sería interesante investigar si las teorías científicas que presentan menor complejidad en términos de bits son más propensas a ser aceptadas por la comunidad científica. Esta cuestión podría abordarse a través de estudios historiográficos que analicen el proceso de aceptación de teorías y cómo la

simplicidad, en su sentido informacional, afecta la disposición de los científicos a adoptar nuevas explicaciones.

Asimismo, sería pertinente ampliar el modelo de Fuentes a otras áreas del conocimiento, fuera de las ciencias exactas, para evaluar su aplicabilidad a disciplinas como las ciencias sociales o las humanidades. Esto permitiría examinar si el concepto de complejidad modelo-paramétrica puede capturar adecuadamente el progreso en campos donde la cuantificación de los datos y la precisión de las teorías no son tan fácilmente medibles.

Finalmente, el trabajo ha abierto un debate sobre la relación entre el modelo de Fuentes y el concepto de inconmensurabilidad entre teorías científicas. Si bien se ha identificado que el modelo de Fuentes podría ofrecer una clave para abordar la inconmensurabilidad sin necesidad de recurrir a alguna noción de verdad metafísicamente controvertida, sería relevante continuar explorando cómo se podrían combinar las nociones de complejidad teórica y cambio paradigmático para proporcionar una explicación más profunda de cómo las teorías científicas dejan de ser comparables, tanto en términos de sus datos como de sus explicaciones.

El modelo de dinámica científica de Fuentes ofrece una perspectiva innovadora para entender el progreso de la ciencia, pero también presenta varias oportunidades de mejora y ampliación. Las líneas de investigación futura mencionadas en este trabajo abren nuevas avenidas para explorar la interacción entre complejidad, tecnología, prácticas científicas y criterios sociales en el desarrollo del conocimiento científico, lo que podría enriquecer el debate filosófico y epistemológico sobre el progreso científico.

Bibliografía

- Barnes, B. (1982). *T. S. Kuhn and social science*. MacMillan Press.
- Barnes, B., & Bloor, D. (1982). Relativism, rationalism and the sociology of knowledge. En M. Hollis & S. Lukes (Eds.), *Rationality and relativism* (pp. 21-47). The MIT Press.
- Chang, H. (2022). *Realism for realistic people: A new pragmatist philosophy of science*. Cambridge University Press.
- Díez, J. (2012). Inconmensurabilidad, comparabilidad empírica y escenas observables. En P. Lorenzano & O. Nudler (Eds.), *El camino desde Kuhn: La inconmensurabilidad hoy* (pp. 67-118). Siglo Veintiuno.
- Fleck, L. (1986). *La génesis y el desarrollo de un hecho científico*. Alianza.
- Fuentes, M. (2020). *Dinámica científica y medidas de complejidad*. Sociedad Argentina de Análisis Filosófico (SADAF).
- Fuentes, M., & Miguel, H. (2025). El cambio teórico a la luz de la dinámica de la complejidad. En L. Giri, I. Cervieri & P. Melogno (Eds.), *Thomas*

- Kuhn y el cambio revolucionario: Una mirada a las conferencias Notre Dame* (pp. 191-212). Ediciones Universitarias de la Universidad de la República.
- Giri, L. (2023). The landscape of a metaphysical battlefield: A comment on Eric Oberheim. En L. Giri, P. Melogno, & H. Miguel (Eds.), *Perspectives on Kuhn: Contemporary approaches to the philosophy of Thomas Kuhn* (pp. 127-138). Springer.
- Giri, L. (2024). Sistemas técnicos en la investigación: Articulando la filosofía de la técnica de Quintanilla con la nueva filosofía pragmática de Chang. *Guillermo de Ockham*, 22(2), 41-54. <https://doi.org/10.21500/22563202.6977>
- Giri, L., & Giri, M. (2020). Recuperando un programa kuhniano en historia de la ciencia. *Cuadernos de filosofía*, 38, 75-98. <https://doi.org/10.29393/CF38-3LMRP20003>
- Gómez, R. (2014). *Neoliberalismo, fin de la historia y después*. Punto de Encuentro.
- Kuhn, T. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica.
- Kuhn, T. (1982). Objetividad, juicios de valor y elección de teoría. En *La tensión esencial: Estudios selectos sobre la tradición y el cambio en el ámbito de la ciencia* (pp. 344-364). Fondo de Cultura Económica.
- Kuhn, T. (2002). Epílogo. En J. Conant & J. Haugeland (Comps.), *El camino desde La estructura* (pp. 131-148). Paidós.
- Kuhn, T. (2017). *Desarrollo científico y cambio de léxico*. FIC-Udelar, ANII, Sociedad Argentina de Análisis Filosófico.
- Lakatos, I. (1975). La falsación y la metodología de los programas de investigación científica. En I. Lakatos & A. Musgrave (Eds.), *La crítica y el desarrollo del conocimiento* (pp. 203-344). Grijalbo.
- Mladenovic, B. (2007). "Muckraking in history": The role of the history of science in Kuhn's philosophy, *Perspectives on Science*, 15(3), 261-294. <https://doi.org/10.1162/posc.2007.15.3.261>
- Oberheim, E. (2023). Incommensurability and metaincommensurability: Kind change, world change and indirect refutation. En L. Giri, P. Melogno & H. Miguel (Eds.), *Perspectives on Kuhn: Contemporary approaches to the philosophy of Thomas Kuhn* (pp. 93-122). Springer.
- Oberheim, E., & Hoyningen-Huene, P. (2009). The incommensurability of scientific theories. En E. Zalta (Ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Stanford University.
- Popper, K. (1975). La ciencia normal y sus peligros. En I. Lakatos & A. Musgrave (Eds.), *La crítica y el desarrollo del conocimiento* (pp. 149-158). Grijalbo.

- Sankey, H. (2018). The demise of the incommensurability thesis. En M. Mizrahi (Ed.), *The Kuhnian image of science: Time for a decisive transformation?* (pp. 75-91). Rowman and Littlefield.
- Savage, C. W. (1990). Preface. En C. W. Savage (Ed.), *Scientific theories: Minnesota studies in the philosophy of science. Volume 14* (pp. vii-ix). University of Minnesota Press.
- Suppe, F. (1979). En busca de la una comprensión filosófica de las teorías científicas. En *La estructura de las teorías científicas* (pp. 13-266). Editora Nacional.

Recibido el 5 de marzo de 2025, aceptado el 29 de abril de 2025.