

EL CONCEPTO DE HEURÍSTICA: DE LAS EXPLICACIONES
EN LAS CIENCIAS NATURALES A LA EPISTEMOLOGÍA

SERGIO F. MARTÍNEZ*

INTRODUCCIÓN

El término heurística cubre una numerosa familia de conceptos con una amplia variedad de aplicaciones en las ciencias naturales y sociales. En este trabajo mi principal objetivo es mostrar, por medio de algunos ejemplos, que si bien el uso de métodos heurísticos para la solución de problemas es muy diferente en diversas disciplinas, recientemente se ha asumido que desde una perspectiva epistemológica los métodos o procedimientos heurísticos deben entenderse como subordinados a la estructura algorítmica de la ciencia.¹ Como veremos, este supuesto ha sido cuestionado en diferentes áreas de la ciencia al sugerir que el concepto de heurística debe desempeñar un papel central en una teoría de la estructura del conocimiento científico. Inicio con un breve repaso de la distinción entre algoritmos y heurísticas, que utilizaré a lo largo de este trabajo.

Un algoritmo es un conjunto de instrucciones (programables en una computadora) que permiten resolver mecánicamente un problema.²

* Instituto de Investigaciones Filosóficas, UNAM.

¹ En la historia y la sociología de la ciencia, muchas veces se hace uso de conceptos heurísticos en discusiones sobre el tema de la racionalidad, pero estos conceptos no se relacionan con preguntas acerca del origen de la normatividad epistémica de ciertos patrones de razonamiento (que es una manera de reformular el tema de este trabajo). En la filosofía a veces se toma en serio el papel de la heurística en cuestiones normativas, pero en general se considera como parte de una metodología deductivista que implícitamente reniega de la importancia del carácter situado de la racionalidad. Zahar, por ejemplo, siguiendo algunas ideas sobre el papel de las heurísticas en el razonamiento matemático y científico de Lakatos, elabora una "heurística racional" con connotaciones normativas, pero esa normatividad proviene, según Zahar, del supuesto de que en última instancia toda argumentación racional puede formularse como un argumento deductivo.

² En el caso de funciones numéricas, la idea intuitiva de resolución mecánica se aclara recurriendo a la tesis de Church-Turing, según la cual diferentes conceptos intuitivos de "procedimiento efectivo" coinciden en caracterizar la misma clase de procedimientos. Sin embargo, para otro tipo de funciones no podemos utilizar esta

Por tanto, la solución correcta ofrecida por un algoritmo viene con garantía de que si seguimos las instrucciones al pie de la letra llegaremos eventualmente a la solución correcta, sin necesidad de tomar decisiones adicionales en el camino. Estamos familiarizados con varios algoritmos desde la escuela primaria. Las fórmulas para resolver ecuaciones de segundo o tercer grado son ejemplos de algoritmos. Aprender a multiplicar o dividir es aprender el uso de algoritmos básicos aritméticos. Si, por ejemplo, queremos resolver una ecuación de tercer grado como $x^3 + 7x^2 - 2x - 14 = 0$, podemos utilizar una fórmula. Por medio de ella podemos encontrar las soluciones (las raíces) de la ecuación simplemente identificando los coeficientes de los diferentes términos de la ecuación y sustituyendo esos valores en la fórmula. Una vez realizado esto, lo que resta es llevar a cabo operaciones aritméticas simplificadoras para tener una lista de las soluciones. Esta fórmula nos permite siempre llegar a determinar las soluciones para cualquier ecuación de tercer grado. La única posibilidad de error proviene del hecho de que nuestras operaciones aritméticas en algún momento por lo menos no hayan sido llevadas a cabo correctamente. Si, por ejemplo, la fórmula nos pide calcular 2×3 y ponemos 5 como resultado de esa multiplicación, entonces no llegaremos a la respuesta correcta; pero ese tipo de errores es lo único que puede evitar que determinemos las soluciones a la ecuación. La fórmula para resolver ecuaciones de tercer grado es un ejemplo típico de un algoritmo.

Como lo aprendimos en la escuela, muchas veces es posible resolver una ecuación utilizando una regla heurística. Si queremos descomponer el polinomio del ejemplo anterior en sus raíces (resolver la ecuación), podemos tratar de buscarlas en los factores del término independiente. En nuestro caso deberíamos buscar los factores de 14. Si la regla funciona no hay muchas opciones, las raíces podrían ser 1, 2, 7, 14. No es difícil ver que 1 y 14 no pueden ser, y es fácil ver que 7 y 2 pueden ser raíces. Si probamos vemos que efectivamente la factoración $(x^2 - 7)(x + 2) = 0$ nos resuelve el problema. Este tipo de reglas no funciona siempre. Una regla como la anterior funciona sólo en algunos casos, y no podemos saber por adelantado cuándo va a funcionar, aunque a veces podemos tener indicios que lo sugieran. A

tesis, o un principio similar, para hacer precisa la idea de “resolución mecánica” requerida para formular con claridad el concepto de algoritmo. En este trabajo dejaremos de lado este tipo de problemas con la caracterización de algoritmo.

veces podemos utilizar varias reglas heurísticas y no encontrar la solución. Sin embargo, muchas veces, dependiendo del tipo de problema de que se trate y de la habilidad de quien lo trate, es posible resolver un problema de manera muy rápida utilizando una regla heurística, algo que requeriría mucho más tiempo y esfuerzo si recurrimos a la fórmula y seguimos paso a paso el algoritmo que nos indica. De existir un algoritmo para resolver un problema, la solución simplemente resultaría de seguir instrucciones mecánicamente; pero muchas veces el proceso es muy largo, requiere tantos pasos que podríamos pasarnos toda la vida calculándolos y antes nos moriríamos que terminar. Es más, se conocen problemas muy simples cuya solución está dada por un algoritmo, pero el algoritmo requiere calcular tantos pasos que aun las computadoras más veloces del presente podrían pasarse calculando sin interrupción hasta el fin del universo y todavía no llegar al resultado final. Así, es claro que muchas veces, incluso si existe un algoritmo para resolver un problema, prácticamente tenemos que recurrir a métodos heurísticos para tratar de resolverlo.

El tipo de problemas que un algoritmo nos permite resolver está determinado por la estructura lógica de los mismos. Un algoritmo para resolver ecuaciones de tercer grado nos resuelve el tipo de ecuaciones que matemáticamente, y sin ninguna ambigüedad, podemos caracterizar como ecuaciones de tercer grado. Un algoritmo para transformar grados Fahrenheit de temperatura en grados centígrados nos hace ese tipo de operaciones y en tanto que algoritmo no sirve para nada más. Una regla heurística, por el contrario, va a darnos una solución correcta, o aproximadamente correcta, en ciertas circunstancias y en otras no. La corrección de la respuesta va a depender de la manera en que entendamos el problema, de la forma que toma un problema particular, algo que no puede decidirse por medio de reglas fijas. Una parte importante del problema de aplicación de una regla heurística es la decisión de cómo entendemos el problema por resolver, del modo en que lo planteamos como tal. Si por medio de reglas heurísticas queremos calcular el área de una superficie con un perímetro irregular, nuestra aproximación va a ser más o menos correcta dependiendo de la descomposición del problema en subproblemas que puedan resolverse de manera simple y (por lo menos relativamente) exacta.

Los algoritmos nos dan una solución correcta a un problema, independientemente de cómo podamos descomponerlo en subproblemas, e independientemente de cuál es el *sustrato material* por medio

del cual el algoritmo se lleva a cabo. La idea es que podemos realizar la extracción de una raíz cuadrada en un papel, sobre la arena de la playa o en una pared, con lápiz, con pluma o con las uñas, el resultado es siempre el mismo. La utilidad de una regla heurística, sin embargo, muchas veces depende de cómo se implementa materialmente la regla. Por ejemplo, una regla de cálculo que nos permite calcular cantidades como $3^{5.7}$ va a darnos una mejor aproximación si es un material que no se expande con el calor o con el uso. Porque si su material se distorsiona, entonces se genera un error en la suma gráfica de cantidades que son la base para el cálculo que nos permite la regla. Podemos pensar algunas reglas heurísticas como independientes de su implementación material; por ejemplo, la regla que mencionamos anteriormente para encontrar las raíces de polinomios no parece depender de la manera en que se implementa materialmente, es más, podríamos decir que depende tan poco de una implementación material como el algoritmo que nos permite resolver la ecuación de tercer grado. En este sentido se puede pensar que una regla heurística es simplemente un algoritmo complicado, que tal vez sólo conocemos parcialmente.³ Si pensamos de esta manera, naturalmente llegamos a la conclusión de que el conocimiento científico se implementa por medio de algoritmos en última instancia, y mientras la búsqueda de algoritmos es central para la ciencia, la búsqueda y el uso de heurísticas sólo son paliativos propios de nuestras limitaciones epistémicas.

La tesis que someto a consideración en este trabajo es que si bien muchas reglas heurísticas pueden ser implementadas algorítmicamente, o en un sentido quizá todas, hay buenas razones para pensar que la importancia de los procedimientos heurísticos en la construcción del conocimiento científico, y por lo tanto en la epistemología de la ciencia, parece requerir el abandono de una tendencia profundamente arraigada a entender la ciencia como “algorítmica”. Esta tendencia se expresa de diferentes maneras, algunas de las cuales ejemplificaremos adelante; pero, muy en general, la idea es que es posible entender la ciencia (sus leyes) como una familia de algoritmos.

Una manera de criticar esta tendencia tradicional es notar que una propiedad muy importante de las reglas heurísticas (en la que Wim-

³ Esta idea se ha extendido mucho, pero pocas veces se ha defendido a fondo. Un libro en que la idea se elabora y se defiende es *Darwin's Dangerous Idea* (Daniel Dennett, Basic Books, 1995).

satt ha puesto mucho énfasis) es que el error generado por éstas tiene sesgos sistemáticos.⁴ La presencia de estos sesgos es esencial para entender de qué manera las reglas heurísticas nos permiten aprender de la experiencia, y, por lo tanto, para entender el importante papel que desempeñan en una amplia variedad de (si no en todo) razonamiento inductivo. Como veremos en el ejemplo siguiente, esta propiedad de las reglas heurísticas puede entenderse de manera muy natural como una consecuencia de la implementación material de las mismas. Esta propiedad de las reglas heurísticas es particularmente clara e importante cuando están corporalizadas en instrumentos, aparatos o sistemas tecnológicos (un término que introduciré adelante).

La regla de cálculo es un instrumento (usualmente de madera) que generalmente llevaban consigo los ingenieros antes de que existieran las computadoras. La regla permite llevar a cabo de manera aproximada una serie de operaciones aritméticas, por ejemplo, calcular raíces de cualquier potencia por medio de la suma gráfica de cantidades.⁵ Una regla de cálculo puede ser más o menos exacta, la exactitud depende de diferentes factores, por ejemplo del material con el que esté hecha la regla, de la exactitud de la representación gráfica de las diferentes escalas, de la calidad de los diferentes componentes y, por supuesto, de la habilidad del usuario. Muchas veces un problema se puede resolver de diferentes maneras, y un usuario habilidoso sabe cuál método es más apropiado, por lo que trata de compensar errores para llegar a la respuesta más exacta posible. Un sesgo sistemático de una regla puede tener su origen en cambios de temperatura, por ejemplo. Si la regla está hecha de aluminio y la temperatura sube, la expansión del metal genera error; pero éste es un error que hasta cierto punto puede predecirse, y esta predicción puede tomarse en cuenta en el diseño del instrumento, o puede permitirnos corregir la lectura y disminuir el error. Así pues, es claro que el procedimiento heurístico que implementa el instrumento no puede reducirse a decir que es un algoritmo implementado materialmente. La regla heurística implementada hace depender el resultado de la manera en que la implementación genera una distorsión sistemática que puede corregirse por lo menos

⁴ W. Wimsatt, "Reductionist research strategies and their biases in the unifs of selection controversy", 1980, pp. 213-259.

⁵ Nótese que en este caso las reglas heurísticas materialmente implementadas en la regla de cálculo son un atajo a la solución de problemas que se resuelven por medio de algoritmos. Como veremos adelante, los procedimientos heurísticos no siempre pueden entenderse de esta manera.

parcialmente, si se sabe algo acerca del origen (causal) de la distorsión. No todo sesgo sistemático depende de la implementación material, por lo menos tan claramente como en el caso anterior. Por ejemplo, como Wimsatt⁶ muestra en su trabajo, los sesgos sistemáticos pueden tener su origen en características propias de técnicas para la construcción de modelos.

Esta característica distintiva de los procedimientos heurísticos, la existencia de sesgos sistemáticos en la generación de error, desempeña un papel importante en la caracterización de los dos conceptos centrales que me interesa introducir en este trabajo: el de *estructura heurística* y el de *sistema tecnológico*. Una *estructura heurística* es una colección de procedimientos heurísticos y algoritmos funcionalmente relacionados y organizados de manera jerárquica alrededor de la tarea de resolver un cierto tipo de problema. La regla de cálculo de los ingenieros es un ejemplo claro de estructura heurística. Pero el concepto de estructura heurística puede utilizarse también para modelar técnicas de laboratorio en las ciencias experimentales. A grandes rasgos, una técnica de laboratorio puede modelarse como estructura heurística porque está compuesta de una serie de subtécnicas, cada una con una función determinada, y que pueden arreglarse de diversas maneras para resolver diferentes tipos de problemas, para estabilizar distintos tipos de fenómenos o detectar diferentes tipos de sustancias, por ejemplo. En otros trabajos he desarrollado varios ejemplos de estructuras heurísticas y mostrado que las técnicas de laboratorio pueden verse como estructuras heurísticas.

Un *sistema tecnológico* consiste en una serie de estructuras heurísticas implementadas tecnológicamente. En un sistema tecnológico los algoritmos y procedimientos heurísticos se integran primordialmente por medio de una serie de instrumentos, aparatos y técnicas, que incluyen técnicas para la recolección y procesamiento de información, y permiten establecer lo que se considera un hecho científico o la confiabilidad de una predicción, explicación o tecnología. Las más de las veces la predicción, cuya confiabilidad depende de un sistema tecnológico, es acerca del comportamiento de un mecanismo, de la estabilidad de una cierta estructura o rasgo estructural de un sistema de cualquier tipo. Saber exactamente qué es un sistema tecnológico depende de cómo entendamos el concepto de tecnología. Entrar en esta discusión no es

⁶ W. Wimsatt, *op. cit.*, 1980.

⁷ Martínez, 1995, 1997; Martínez y Suárez, 1995.

importante para nuestros propósitos, lo importante es recalcar que para nosotros un sistema tecnológico implementa materialmente algoritmos y procedimientos heurísticos con un fin epistémico. Después de esta breve presentación de los conceptos de algoritmo y heurística, podemos recapitular brevemente sobre un aspecto relevante de la manera en que los conceptos de heurística y algoritmo han desempeñado un papel importante en la historia de la ciencia.

EL CONCEPTO DE HEURÍSTICA EN LA FÍSICA

En las ciencias naturales el concepto de heurística se ha transformado y diversificado a lo largo de dos ejes principales. Por un lado, según la concepción tradicional, la heurística consiste en una regla de razonamiento de utilidad práctica pero sólo aproximada para la solución de problemas matemáticos, como lo ejemplificamos en la sección anterior. Esto tiene lugar sobre todo como parte del desarrollo de métodos para la construcción y uso de modelos matemáticos que se han diversificado y difundido a través de muchas disciplinas científicas. El segundo eje a lo largo del que se ha diversificado el concepto de heurística es la ciencia experimental y la tecnología; éste es el eje a través del cual se desarrollan y se tornan importantes los conceptos de estructura heurística y de sistema tecnológico. Por supuesto, estos dos ejes no constituyen desarrollos independientes, pero es importante distinguirlos para entender mejor la historia del concepto de heurística y, sobre todo, ver la pertinencia de diferentes conceptos de heurística para una epistemología naturalizada. Cada uno de estos ejes tiene una historia digna de ser contada aparte, si bien ello puede hacernos perder de vista importantes elementos pertinentes para la epistemología del concepto de heurística. Opto por una estrategia intermedia. Con respecto al primer eje de la historia del concepto de heurística, voy a tomar como guía el desarrollo de métodos heurísticos que tiene lugar mediante la diversificación del patrón de explicación que se basa en un principio de mínima acción (o un principio asociado de maximización) en diferentes áreas de las ciencias naturales. Éste es un ejemplo muy importante de la manera en que el concepto de heurística se ha desarrollado en íntima relación con el desenvolvimiento de modelos matemáticos a lo largo de la historia de la ciencia. Posteriormente, mostraré que la incorporación de conside-

raciones acerca del papel que desempeña la implementación material de procedimientos heurísticos puede entenderse como un cuestionamiento de la subordinación de estos procedimientos a la estructura algorítmica de las teorías.

En la física, versiones del principio de la mínima acción han sido principios explicativos muy importantes desde los griegos. Herón de Alejandría hizo ver que si asumíamos que un rayo de luz siempre viajaba de manera tal que minimizaba la distancia de la trayectoria entre un objeto y el observador, se podían explicar varias propiedades de la luz. Aristóteles arguye utilizando el mismo patrón explicativo cuando pretende explicar el movimiento circular de los planetas. Aristóteles dice que los planetas se mueven en órbitas circulares, porque de todas las curvas cerradas que delimitan un área determinada, el círculo es la más corta. Alternativamente, se puede demostrar que una órbita circular requiere el menor tiempo, a una velocidad dada, para cubrir un área precisa. En el siglo XVII Fermat fue el primero en mostrar que si se asume que la luz viaja de un punto a otro de manera tal que el tiempo de viaje es mínimo, entonces se explican varias leyes de la óptica. Éste es el primer caso en que el asumir un principio de mínima acción lleva a integrar explicaciones y a formular predicciones importantes. Maupertuis, a mediados del siglo XVIII, arguye que este tipo de principios muestra la acción de causas finales en la naturaleza y, por lo tanto, la existencia de Dios. Un poco después, Euler y Lagrange mostraron que este tipo de explicaciones podían interpretarse sin requerir el supuesto de causas finales. El comportamiento de los sistemas se entendería como descrito por un algoritmo (deducible de una ecuación).⁸ Ésta es una de las estrategias fructíferas por medio de las cuales se eliminan explicaciones teleológicas de la física y, a partir del siglo XIX, de otras ciencias naturales.

Las explicaciones que recurren a principios de la mínima acción permiten reinterpretar un comportamiento aparentemente teleológico como el resultado de seguir mecánicamente una secuencia de instrucciones.

La gran cantidad de problemas en los cuales el principio de la mínima acción se puede utilizar para modelar una situación y, por lo tanto, la gran variedad de situaciones en las que un comportamiento aparente-

⁸ En la formulación de Lagrange, el comportamiento de un sistema físico general está determinado por el requisito de que la integral en el tiempo de una función del sistema es un valor extremo.

mente teleológico se puede explicar como el resultado de la existencia de un algoritmo de cierto tipo que describe la manera de actuar de los procesos naturales, sugieren decididamente una tesis como la del determinismo laplaciano. Según esta tesis cualquier estado futuro del mundo está determinado por un algoritmo que en principio determina la posición de todas y cada una de las partículas materiales del universo en cualquier tiempo futuro, asumiendo que se conocen los estados de las partículas y las fuerzas que actúan sobre ellas en un tiempo inicial. Desde esta perspectiva, la tesis del determinismo laplaciano puede verse como la transformación de la fructífera estrategia para la construcción de modelos explicativos generada a partir de principios como el de acción mínima, en una tesis metafísica. El determinismo laplaciano asume que los algoritmos que explican el comportamiento de los procesos naturales como el resultado de interacciones entre partículas newtonianas también nos permiten explicar todo proceso del mundo natural, sin necesidad de recurrir a ningún supuesto teleológico.⁹ En la medida en que este tipo de patrón explicativo es importante en la física, el desarrollo de los métodos heurísticos en ésta se diversifica mucho y sigue apegado a la idea de heurística que mencionamos al principio. La heurística contribuye a encontrar soluciones aproximadas, o soluciones exactas bajo ciertas condiciones, a los algoritmos que, se considera, describen la estructura del mundo natural.

Hay quienes piensan que es cuestionable el supuesto de que *la física consiste en última instancia en la búsqueda de algoritmos*. Roger Penrose ha sugerido que la única manera de entender el lugar de la conciencia en el mundo físico es reconociendo que no toda actividad mental es una computación algorítmica. Para Penrose, la habilidad humana que nos permite hacer matemáticas no es algorítmica. Su propuesta es controversial y, como varios críticos han hecho ver, no es clara, en particular porque parece asumir supuestos muy cuestionables acerca de la cognición humana.¹⁰ Es importante recalcar que una propuesta como la de Penrose sugiere que el concepto de heurística debería desempeñar en la ciencia un papel no subordinado al de algoritmo, en la

⁹ En "Sobre la relación entre historia y causalidad en biología" (Martínez y Barahona, 1998), elaboro un poco más la historia del mecanicismo en el sentido que aquí se menciona.

¹⁰ En su reseña de Penrose, Hilary Putnam hace ver que éste no considera la posibilidad de que el programa necesario para entender el carácter algorítmico de la habilidad matemática sea tan complejo que ningún ser humano pueda entenderlo en la práctica. Ésta y otras críticas son resumidas por Dennett.

medida que cuestiona la tesis que toda explicación de procesos aparentemente teleológicos (como lo sería la búsqueda de solución a un problema matemático) puede formularse como una explicación no teleológica en término de algoritmos.

Robert Geroch y V. Hartle han sugerido una manera en la que podemos entender de modo más preciso la tesis de que la física es no algorítmica: una teoría de la física es no algorítmica si no hay un algoritmo que implemente la teoría, esto es, si no hay un algoritmo que relacione los resultados de los experimentos con las predicciones de la teoría.¹¹ De existir una teoría de este tipo, aunque puede ser puesta a prueba empírica, no se puede establecer una estrategia para el procesamiento de datos y la elaboración de experimentos que se lleve a cabo mecánicamente. Por ejemplo, fijemos un dispositivo experimental y tratemos de expresar la predicción de una teoría que no es algorítmica para ese experimento. Para predecir con un margen de error de 10% uno manipula las matemáticas de la teoría, construye modelos de datos, establece criterios de significación, etc., hasta llegar eventualmente al número asociado con la predicción. Para poner a prueba la predicción con un margen de 5% usualmente sólo se tendrían que modificar ligeramente los modelos ya construidos. Sin embargo, en el caso de una teoría no algorítmica ese tipo de modificaciones puede no ser relevante. Lo que muestran Geroch y Hartle es que se debería de repensar totalmente el problema; además, poner a prueba una predicción con diferentes márgenes de error puede requerir toda una nueva construcción de modelos, estimaciones y métodos de aproximación. Las predicciones nunca podrían verse como rutinarias. Geroch y Hartle sugieren que la teoría cuántica de la gravedad puede ser un ejemplo de una teoría física no-algorítmica. El punto que se debe destacar es si una teoría de la física es no-algorítmica; si bien las predicciones estarían disponibles en principio, la derivación de ellas a partir de la teoría nunca sería una tarea rutinaria, y en este sentido los métodos heurísticos y los sistemas tecnológicos requeridos para extraer la predicción tendrían que considerarse parte del aparato conceptual que nos permite derivar la predicción. A continuación quiero dar otro ejemplo de cómo entender la mediación de la tecnología en una epistemología de la ciencia, en un sentido que no reduce el papel de los sistemas tecnológicos a la implementación de algoritmos.

Una manera de formular las implicaciones del reconocimiento del azar del mundo cuántico que nos obliga a reconocer la aceptación de la

¹¹ Geroch y Hartle, "Computability and physical theories", 1986.

teoría cuántica como teoría fundamental de la física quiere decir que no es posible generalizar sin límite inferencias respecto a la relación entre estados cuánticos y estados clásicos. Los sistemas tecnológicos que permiten formular predicciones exitosas de la mecánica cuántica explotan generalizaciones que se pueden formular a través de nuestros modelos, pero esas relaciones causales “accidentalmente” establecidas entre el nivel cuántico y el nivel macroscópico, más que apuntar a leyes de validez universal describen relaciones que permanecen invariantes bajo ciertas condiciones. Pero entonces las inferencias respecto a la relación de estados que podemos hacer en una situación, a partir de un sistema tecnológico, no tienen por qué ser válidas con respecto a otro sistema tecnológico, ni siquiera “en principio”. Por ello, en lugar de entender los sistemas tecnológicos que nos permiten formular predicciones como meros intermediarios pasivos entre el mundo y nuestras teorías, debemos entenderlos como elementos que nos permiten hacer un mapa de ciertas relaciones invariantes entre estados; no tenemos por qué pensar que en algún sentido nos estamos aproximando a una caracterización irrestrictamente general de una “estructura” del mundo. Así, el problema de la relación entre estados cuánticos y clásicos es una relación contingente que no podría ser descrita por un algoritmo.¹²

Esta manera de entender la relación entre las mecánicas clásica y cuántica sugiere una forma posible en la que el concepto de heurística puede entrar en la física en un nivel epistemológicamente fundamental. La mediación de la tecnología en la conformación de relaciones invariantes entre estados parece sugerirnos que en la caracterización del conocimiento científico debemos considerar la forma en que ese conocimiento se va estructurando en una gran diversidad de prácticas que de muy diferentes maneras van haciendo mapas de lo que puede o no hacerse; en este sentido van delimitando las fronteras contingentes de las leyes. Así, *la mediación contingente de la tecnología, corporalizada en estructuras heurísticas tendría un papel indispensable en la explicación filosófica de la naturaleza del conocimiento que genera la física.* Nótese que esta propuesta cuestiona de raíz la idea todavía ampliamente aceptada de que la física es una ciencia cerrada, porque sus conceptos

¹² Nancy Cartwright elabora algunas ideas en esta dirección. Nótese que si se llegara a encontrar un sistema tecnológico en el que la inferencia a un estado cuántico no fuera posible, esto no implica que la teoría cuántica sea incorrecta. Éste es un ejemplo de que la relación entre modelos y teorías no se puede concebir por medio de ideas simplistas, como el ideal de contrastación empírica que les gusta tanto a varios filósofos.

y sus leyes, a diferencia de otras ciencias, constituyen un sistema autónomo. Según esta idea tradicional, todo lo que se requiere para hacer una predicción o explicación física, y para mejorarla, es tomar en cuenta conceptos y leyes físicas. Sin embargo, es claro que los argumentos en favor de la tesis de que en la física, como en cualquier otra ciencia, las leyes son leyes *ceteris paribus*, son argumentos en favor de la tesis de que la mediación tecnológica es indispensable para la formulación de leyes de la física, y viceversa. La mediación tecnológica desempeñaría un papel análogo al que desempeña la existencia de organismos vivos en la biología.

EL CONCEPTO DE HEURÍSTICA EN BIOLOGÍA

Como en otras ciencias empíricas, los métodos heurísticos se han desarrollado mucho en biología como parte del desarrollo de métodos para la construcción y evaluación de modelos, área muy importante de la que no hablaré aquí porque no está relacionada directamente con el presente trabajo.¹³ Aquí me interesa recalcar un uso epistémico del concepto de heurística. En la biología el concepto de heurística desempeña un papel central en la medida que *toda adaptación puede entenderse como una estructura heurística*; sobre este tema hablaré, si bien brevemente. Esto permitirá hacer una transición a la manera como el concepto de heurística desempeña un papel en ciertos desarrollos de la economía y la inteligencia artificial, que harán posible delinear mejor la idea que exploro en este trabajo.

Hay dos conceptos de adaptación en la biología. Por un lado está el concepto de adaptación que entiende a ésta como el resultado de respuestas funcionales a cuestiones que se pueden formalizar como problemas de decisión implementables por medio de un algoritmo. Por otro lado está el concepto de adaptación según el cual ésta resulta de procesos históricos evolutivos (que involucran aspectos de desarrollo ontogenético y ecológico). Ambos conceptos de adaptación han sido muy importantes en biología, pero la manera estándar de entender la teoría de la evolución, hasta muy recientemente, toma la idea funcional de adaptación como el punto de partida para decirnos cuál es el contenido empírico de la teoría, y por lo tanto pretende reducir el segundo

¹³ Sobre este tema, véase W. Wimsatt, *op. cit.*, 1980.

concepto de adaptación al primero. Esta estrategia reduccionista distingue aquellas interpretaciones de la teoría que podemos llamar “ortodoxas”. Una interpretación ortodoxa permite mantener la subordinación tradicional de conceptos heurísticos a la estructura algorítmica de la teoría, ya que en esta interpretación toda estrategia heurística puede entenderse como la implementación de un algoritmo complejo.¹⁴

De acuerdo con la interpretación ortodoxa, la evolución hace que un organismo confronte a su medio de manera totalmente análoga a como un diseñador racional confronta problemas de decisión. El concepto de selección natural se utiliza para evitar la obvia extensión de la analogía que impondría la conclusión de que la evolución requiere un diseñador. En este sentido la estrategia explicativa es análoga a la que recurrimos cuando se buscan principios de acción mínima para explicar, sin valerse de causas finales, un comportamiento aparentemente teleológico. Es más, es posible formular matemáticamente la idea y, por lo tanto, pensar las aclaraciones seleccionistas como un ejemplo más de la estrategia explicativa, seguida con tanto éxito desde el siglo XVII para eliminar las causas finales de nuestras explicaciones por medio de principios de acción mínima.

Más específicamente, la estrategia explicativa en la interpretación ortodoxa de la teoría es la siguiente: se asume que cualquier respuesta funcionalmente apropiada de un organismo puede explicarse en términos de la acción de la selección natural. Por ejemplo, la potencialidad de adaptarse a diferentes ambientes se explica como una manifestación de la flexibilidad de un carácter que ha sido determinado por la selección natural, o como un efecto secundario de factores seleccionados previamente. Esta estrategia requiere explicar el origen de esa flexibilidad de los caracteres sin recurrir a causas finales, y esto tiene también una respuesta ortodoxa. La respuesta es que la fijación de los caracteres y de su flexibilidad en particular son resultado de un proceso de acumulación de alelos modificadores o reforzadores de caracteres. A su vez, esta acumulación resulta de un proceso de selección que tiene lugar en el conjunto de potenciales modificadores y reforzadores que surgen azarosamente. Así, una adaptación se modela como un problema de decisión cuya solución, por lo menos en principio, tenemos razones para pensar que puede describirse por medio de un algoritmo.

Si se acepta esta manera ortodoxa de entender la teoría de la evolución, el concepto de heurística no desempeña un papel epistemo-

¹⁴ Dennett, *Darwin's Dangerous Idea*, 1995.

lógicamente central o distintivo en la teoría de la evolución. Se puede aceptar que los métodos heurísticos para la solución de problemas son tan importantes en la biología contemporánea como en la física tradicional, con lo que se podría argüir que el concepto epistemológicamente significativo es el de algoritmo. En 1995, Dennett formula esta idea ortodoxa: la evolución puede entenderse como un proceso de optimización de un algoritmo. Una heurística simplemente es un algoritmo abreviado, pero en principio, de acuerdo con esta interpretación ortodoxa de la teoría de la evolución, el peso de una explicación lo llevan los posibles algoritmos que permiten modelar un proceso evolutivo como resultado del azar y la selección.

Sin embargo, esta manera ortodoxa de formular el contenido empírico de la teoría de la evolución tiene problemas muy serios. Para empezar, la estrategia explicativa mencionada anteriormente adolece de graves deficiencias. En ella se reduce la explicación de la adaptación a una postulación de factores generados al azar que a su vez se someten a la selección. Por ejemplo, como es bien sabido, la relación entre genes y fenotipo es muy sensible al contexto. Esta dependencia no se considera problemática para la formulación seleccionista estándar, pero si se aceptan ciertas consecuencias (para las que hay buena evidencia experimental) de esta dependencia del contexto, entonces se genera un problema importante para dicha estrategia explicativa seleccionista. Si se considera un gene como principal, modificador o reforzador, dependiendo del contexto genético en el que el gene ocurre, ya no es posible simplemente postular que esos reforzadores y modificadores surgen al azar. Algo más se tiene que decir respecto a la naturaleza del azar, y en particular a cómo cuestiones de diseño y probabilidad se relacionan a través de la referencia a un “contexto genético”. La importancia del segundo concepto de adaptación radica en reconocer el origen de los caracteres en una explicación evolucionista. Lo que me interesa destacar es que si se reconoce la importancia del segundo concepto de adaptación (para explicar por ejemplo los cambios en la distribución de organismos), el concepto de estructura heurística desempeña un papel epistemológico central, ya que *adaptación*, en este segundo sentido, puede modelarse como una estructura heurística. Una variación será más o menos exitosa según el medio en que viva un organismo. Las diferentes adaptaciones se refuerzan mutuamente, y sus sesgos sistemáticos se pueden modelar como una estructura heurística.¹⁵

¹⁵ Para una elaboración más profunda de esta idea, véanse Wimsatt y Martínez.

HEURÍSTICA EN LA ECONOMÍA Y EN LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL: EL CONCEPTO DE SATISFACCIÓN

En la economía la idea de maximización o minimización, entendida como una tendencia de todas las unidades del sistema a dirigirse hacia una posición óptima, de equilibrio, ha sido uno de los principios metodológicos básicos de la ciencia económica. Esta estrategia explicativa es, por supuesto, una versión de aquella asociada con principios de acción mínima. Herbert Simon sugiere, en trabajos que empieza a publicar a principios de los años cincuenta, que la fuerza motriz de la economía no es un principio de maximización sino un principio de satisfacción. De acuerdo con el primero de ellos, un agente tiene éxito si encuentra una solución correcta al problema que le interesa, mientras que en el segundo principio el agente tiene éxito si encuentra una solución “suficientemente buena”. Tomar como guía el principio de maximización requiere que, por lo menos en principio, se asuma que el agente puede recorrer todas las opciones posibles para elegir la mejor. El principio de satisfacción sólo requiere que se examinen algunas de las opciones posibles hasta encontrar una satisfactoria.

Simon relaciona esta diferencia entre los dos principios con dos conceptos de racionalidad implícitos en la ciencia económica: asocia el principio de maximización con una “racionalidad sustantiva”, y el principio de satisfacción con una racionalidad procedimental. La diferencia es que mientras que el primer tipo de racionalidad no requiere consideraciones psicológicas, ya que toda organización o agente tienden a su comportamiento óptimo, independientemente de cualquier consideración contextual o histórica, el segundo tipo de racionalidad toma en cuenta la psicología y diversos aspectos de la organización social para explicar cómo la competencia imperfecta se relaciona con criterios de satisfacción. Así, en este caso el comportamiento óptimo de un agente depende del comportamiento óptimo de los otros. El modelo satisfaccionista de Simon abre la puerta a un concepto de racionalidad que no identifica una decisión racional con una decisión óptima, y permite formular esa distinción a partir de la manera como la organización social determina a los diferentes actores con respecto a la formulación de sus posibles elecciones y preferencias.¹⁶

¹⁶ Por supuesto, la propuesta satisfaccionista de Simon se entiende como una ligera modificación del patrón explicativo basado en un principio de maximización. Aquel agente que sigue el principio de maximización sabe que si pudo llevar a cabo la computación adecuada, no pudo haberlo hecho mejor; mientras que el que se guía

Simon extiende el uso del concepto de satisfacción al planteamiento de problemas en la inteligencia artificial desde finales de los años cincuenta. En 1975, Simon y Newell reformulan el ideal satisfaccionista en términos de lo que ellos llaman el “principio de la acción inteligente”, según el cual toda acción adaptativa, y por lo tanto todo proceso de razonamiento, puede representarse como un proceso de computación de símbolos físicos. Estos símbolos son físicos debido a que tienen un sustrato físico o biológico. Una consecuencia importante es que diferentes sistemas de símbolos funcionalmente equivalentes pueden emplear distintos sustratos. Según Simon y Newell, esto permite modelar procesos efectivos de razonamiento, procesos que, como Simon los entiende, obedecen a una “lógica natural”, y que se identifican con las famosas “heurísticas” de Polya. La idea es que en cada nivel de complejidad de una situación que involucra comportamientos es posible identificar las diversas heurísticas que han sido elaboradas para razonar en las diferentes situaciones. *Una vez que hemos encontrado suficientes reglas heurísticas, éstas pueden ser programadas en una computadora.*

Así, en su aplicación a la inteligencia artificial queda claro que el concepto de heurística de Simon, si bien reconoce la importancia de la manera en la que el razonamiento se corporaliza en agentes que son parte de organizaciones, con recursos limitados, retiene todavía demasiado de la vieja manera de entender la relación entre los razonamientos concretos y los modelos abstractos de la racionalidad que pueden servir de normas. El modelo de una racionalidad sustantiva construida a partir de procedimientos algorítmicos sigue desempeñando el papel de ideal normativo para Simon. Él, como muchos de los científicos que trabajan en inteligencia artificial hoy día, piensa que esas teorías científicas nos permiten explicar el comportamiento humano (o que permitirán hacerlo cuando estén desarrolladas), de la misma manera que las teorías moleculares revelan el comportamiento de los gases. Simon piensa que esas teorías son explicativas, a partir de la postulación de entes teóricos que a su vez se identifican con estructuras simbólicas esencialmente consistentes en patrones cambiantes de neuronas o relaciones neuronales. Las heurísticas de Simon son adaptaciones en el sentido puramente funcional de adaptación, y por lo tanto asumen implícitamente muchos supuestos

por el principio de satisfacción minimiza (ahorra) esfuerzo y tiempo. Pero en el momento de reconocer la tremenda importancia que debemos otorgar a las diferencias existentes entre los conceptos asociados de racionalidad, es posible mostrar que ésta es filosóficamente importante.

cuestionables con respecto a conceptos biológicos, y por lo tanto a cómo la biología puede ayudarnos a elaborar una teoría de la racionalidad descriptivamente adecuada y normativamente pertinente. El enfoque de Simon asume también que los elementos distintivos del comportamiento inteligente pueden separarse de la percepción y de la acción, en tanto que esas estructuras simbólicas postuladas sobre las que recae la explicación constituyen una “interfase” de representaciones que justifica esa separación y división de tareas explicativas. De esta forma, el problema de la racionalidad se ve nada más como un tema que puede enfocarse sólo a partir de una teoría de la dinámica y como estructura de esas estructuras simbólicas que están en la cabeza, *separable de una teoría de la acción y la percepción*.

Hay razones de peso para pensar que se debe replantear esta separación tajante entre teorías de la acción y la percepción, y teorías del conocimiento. Elaborar estas razones requiere prestar atención a discusiones filosóficas contemporáneas de la ciencia. Por un lado, hay ejemplos recientes de construcción de robots que muestran que el supuesto representacionista de Simon no tiene por qué asumirse. Mataric, por ejemplo, ha construido un robot que no contiene representaciones internas de la actividad que desarrolla, pero que es capaz de moverse con destreza en un cuarto lleno de objetos. El robot de Mataric se ha adaptado al laboratorio de forma que puede seguir las paredes y evitar obstáculos porque tiene una serie de “reflejos” muy simples, calibrados de manera que responden apropiadamente a la distribución de objetos en el laboratorio.¹⁷ Pero el robot no sigue ningún “programa” que ponga a su disponibilidad una representación de las paredes. El robot reconoce marcas en el terreno que se identifican en términos de correspondencias entre sus propios movimientos y sus insumos “sensoriales”. Sin embargo, la correspondencia no puede explicarse a partir del supuesto de que el robot tiene una “representación” en términos de los diferentes componentes de la pared que son pertinentes para explicar su comportamiento adaptado, sino a partir de la existencia de esos reflejos que han sido calibrados a un ambiente determinado.

Hay otro tipo de razones muy diferentes que se pueden esgrimir para rechazar aquel tipo de tesis representacionista fuerte que implica una separación tajante entre acción y conocimiento, como el que está implí-

¹⁷ Mataric, “Integration of representation into goal-directed behavior-based robots”, 1993, pp. 304-312.

cito en buena parte de la inteligencia artificial y la filosofía de la mente. En la concepción tradicional, la cognición se entiende primariamente como una “arquitectura de símbolos” que se busca estudiar haciendo abstracción del medio ambiente y de la cultura en la cual la cognición tiene lugar. En particular, se piensa que el uso de aparatos y herramientas es parte de ese medio ambiente que es necesario abstraer para llegar a entender realmente qué es la cognición. Como dice Hutchins en su libro *Cognition in the Wild*, la cultura se ve simplemente como un mero receptáculo de ideas sobre el que operan los procesos cognitivos. Este reduccionismo de la cultura a una serie de contenidos ideacionales es otra versión del reduccionismo cognitivo respaldada por supuestos representacionistas, y que defiende Simon. Se parte de un agente cognitivo “simplificado” al que posteriormente se intenta agregar elementos culturales e históricos. Se asume, pues, de entrada, que el tipo de aspectos cualitativos de la experiencia que son modelables por medio de estructuras heurísticas no es algo real, algo que pueda servirnos de base para una teoría del conocimiento, sino algo “agregado” por el sujeto a lo único que es real, lo “físico”. Como dice Hutchins, este reduccionismo tiene un costo alto:

Cuando nos comprometemos con la idea de que toda inteligencia está en la frontera entre adentro y afuera, uno está obligado a incorporar todo aquello que se requiere para producir los comportamientos observados [...] Sin embargo, cuando nos equivocamos en delimitar al sistema, podemos atribuir las propiedades correctas a un sistema equivocado, o lo que es todavía peor, podemos inventar propiedades y atribuir las al sistema equivocado. En este juego de atribuciones ha habido una tendencia a poner más de lo que está allí.¹⁸

Es muy importante reconocer ese apoyo mutuo que tiene lugar entre una cierta manera de entender la teoría de la evolución, teorías de la cognición, las tareas de la inteligencia artificial y supuestos acerca de teorías de la racionalidad y la explicación para ver la fuerza de las críticas enunciadas anteriormente. No hay dudas de que el papel preeminente que la teoría de la evolución ha llegado a desempeñar en proyectos de naturalización de una teoría filosófica de la mente o de una teoría del conocimiento es un gran avance de la ciencia del siglo XX. Sin embargo, es importante darse cuenta de que hoy día continuar con

¹⁸ E. Hutchins, *Cognition in the Wild*, 1995, pp. 355-356.

esta idea requiere abandonar supuestos compartidos en varias disciplinas acerca de lo que son la adaptación y el razonamiento heurístico.

CONCLUSIÓN

Mi tesis central es que la imposibilidad de caracterizar la estructura epistémica de la ciencia como algorítmica nos permite ver maneras en las que las estructuras heurísticas y los sistemas tecnológicos pueden y deben incorporarse en una teoría del conocimiento científico. Esto requiere hacerle lugar en la historia de la ciencia y la filosofía a una concepción del conocimiento que de entrada no imponga fronteras artificiales entre una teoría de la acción y una teoría del conocimiento, y que en particular permita replantearse, de una manera diferente a la que hasta ahora ha sido usual, el papel de la tecnología en la conformación del conocimiento científico.

Una epistemología naturalizada toma en serio lo que dice la ciencia para formular una teoría del conocimiento, pero la "autoridad" de la ciencia sólo puede verse a contraluz de nuestra capacidad crítica para identificar los prejuicios que tenemos que abandonar. Varios de esos prejuicios tienen que ver con una revalorización de la importancia del razonamiento heurístico para la elaboración de una teoría del conocimiento que sea algo más que una caricatura útil para un curso introductorio sobre epistemología.

BIBLIOGRAFÍA

- Cartwright, Nancy, "Quantum technology: Where to look for the quantum measurement problem", *Fellows R. Philosophy and Technology*, Cambridge, Cambridge University Press, 1995.
- Dennett, Daniel, *Darwin's Dangerous Idea*, Basic Books, 1995.
- Geroch, Robert, y V. Hartle, "Computability and physical theories", *Foundations of Physics*, vol. 16, núm. 6, 1986.
- Hutchins, Edwin, *Cognition in the Wild*, Cambridge, MIT Press, 1995.
- Martínez, Sergio, "La autonomía de las tradiciones experimentales como problema epistemológico", en *Crítica*, núm. 80, agosto de 1995.
- , "Una respuesta al desafío Campbell...", Sergio Martínez y León Olivé, *Epistemología evolucionista*, México, Paidós-UNAM, 1997.
- y Barahona, "Sobre la relación entre historia y causalidad en biología", 1998.

——— y Suárez, *Crítica*, núm. 80, 1995, pp. 3-48.

Mataric, "Integration of representation into goal-directed behavior-based robots", *IEEE Trans. On Robotics and Automation*, núm. 8, fasc. 3, 1993, pp. 304-312.

Putnam, Hilary, "Review of shadows of the mind", *The New York Times Book Review*, 20 de noviembre de 1994, p. 1.

Wimsatt, W., "Reductionist research strategies and their biases in the unifs of selection controversy", *Scientific Discovery*, vol. 2, Dordrecht, Reidel, 1980.