

**IN SEARCH OF MECHANISMS.  
DISCOVERIES ACROSS THE LIFE  
SCIENCES**

Por Carl F. Craver y Lindley Darden. The University of Chicago Press; Chicago, 2013.

## Mecanismo

*Distinto de la máquina  
y núcleo de la función biológica*

La búsqueda de mecanismos define la trayectoria seguida por la historia reciente de las ciencias de la vida. Sin duda, muchos rasgos de la biología mecanicista se encuentran ya en *Sobre las partes de los animales* de Aristóteles (384-322 a.C.), aunque sería arriesgado llamar mecanicista a Aristóteles. La biología aristotélica ponía el énfasis en las explicaciones finalistas y funcionales, vale decir, en el objetivo que con un órgano o una conducta se perseguía. También se resaltaba la causa formal. Hasta la recuperación medieval del corpus aristotélico, el estudio de la naturaleza cristalizaba en herbarios y bestiarios, con predominio, sobre todo en los segundos, del carácter alegórico. (El castor nos enseña a alejarnos de la tentación del pecado.) Los herbarios, fundados en el color o la figura, revelaban un plan providente para la aplicación de remedios medicinales.

Las correcciones de Andrés Vesalio a la anatomía humana de Galeno y la demostración de la circulación de la sangre por William Harvey entran de plano en el nuevo giro de una búsqueda de mecanismos y creación de métodos experimentales que lo faciliten. En *The New Atlantis*, una obra escrita el 1626 que inspiró la organización social de la ciencia, Francis Bacon describía una sociedad utópica que se sostenía con los esfuerzos de científicos especializados y organizados para descu-

brir y controlar las causas escondidas de la naturaleza. La revolución científica contemplaba el mundo natural como un mundo de mecanismos; y comenzaron a observar la ciencia como organizada en torno a la búsqueda de mecanismos. En consecuencia, los métodos de la ciencia pasaron a calibrarse en términos de eficiencia y de fiabilidad como herramienta para la búsqueda de mecanismos.

Escrito entre 1629 y 1633, René Descartes dibujó en *Le Monde* un mundo de corpúsculos en incesante colisión. Imaginó innumerables modelos de mecanismos para explicar la diversidad de la naturaleza, viva e inerte. Pensaba en un mundo mecánico de bolas de billar. Todo, salvo la mente humana y Dios, se regía por una actividad fundamental: movimiento conservado a través de las colisiones. La sucesión de colisiones provocaba el movimiento a través del tiempo y desencadenaba la corriente de los ríos, las órbitas planetarias en torno al Sol o la circulación de la sangre. Otros filósofos propusieron nuevos modelos de actividad fundamental, para sacar a la luz los mecanismos. Con un mismo lema común: para explicar los fenómenos de la naturaleza no hay que recurrir a propiedades ocultas ni a fuerzas vivas. Los filósofos mecanicistas del siglo XVI y XVII concedían que la apelación a causas formales y finales cumplieran un papel heurístico en el descubrimiento de mecanismos biológicos, causa última de los fenómenos. Sin embargo, el biólogo mecanicista no interpreta alegorías morales, sino que, a la manera del ingeniero o del técnico, construye un proyecto, un mecanismo que opere en un sistema ideal.

Dos figuras poderosas del siglo XIX en la búsqueda de mecanismos en los organismos fueron Claude Bernard y Emil du Bois-Reymond. Una tendencia que encaja en la cosmovisión de Charles Darwin, en cuyo marco la adaptación exquisita y diversidad de sistemas vivos vienen producidos por un mecanismo de selección natural, un mecanismo carente de finalismo. Los tres resultaron determinantes en el curso de la biología posterior. Pero erraríamos si pensáramos que los biólogos abrazan los modelos mecanicistas clásicos. Para unos, las explicaciones mecanicistas de Descartes terminaron con la introducción de la doctrina newtoniana de las fuerzas y su negación a aceptar la tesis de la acción a distancia. Los mecanismos termodinámicos se agregaron a la lista de actividades en el siglo XIX para explicar la transferencia de energía y

tendencia al equilibrio. Las actividades electromagnéticas se establecieron sobre fundamentos sólidos por esas fechas. Diversos tipos de enlaces químicos descubiertos en el siglo XIX y principios del XX componen mecanismos bioquímicos, biomoleculares y metabólicos.

La atención prestada en metaciencia a los mecanismos biológicos es un asunto bastante reciente. De los años setenta del siglo pasado, con aportaciones pioneras de Stuart Kauffman y Bill Wimsatt. De forma colateral, en los años ochenta Wesley Salmon sistematizó la explicación mecanicista causal en *Scientific explanation and the causal structure of the world*. Salmon abraza una concepción óptica de la explicación y define el concepto de causalidad en términos de procesos e interacciones.

La biología se ha venido centrando con mayor intensidad en los mecanismos a medida que ha ido alejándose de la mera historia natural, descriptiva, y satisfaciendo el triple criterio fundamental de toda ciencia: predicción, explicación y control. La descripción del mecanismo equivale a exponer la naturaleza del fenómeno de interés. Conocer el mecanismo nos permite predecir de qué modo se comportará el fenómeno: si sabemos cómo opera un mecanismo, podemos adelantar su funcionamiento con un cambio de condiciones o de situación. Nos faculta para intervenir en el mecanismo y, con ello, producir, eliminar o modificar el fenómeno de interés. En otras palabras, los mecanismos biológicos nos interesan porque queremos someterlos a control.

En la inquisición sobre un mecanismo hay que empezar por caracterizar el fenómeno, plantearse adecuadamente el problema. La naturaleza del fenómeno aporta claves sobre el tipo de mecanismo subyacente que bien pudiera ser responsable del fenómeno. Habrá luego que construir un esbozo o esquema, un espacio de mecanismos posibles para un fenómeno determinado. Unas veces, los científicos recurren a la analogía para elaborar esquemas de mecanismo plausibles; otras, toman prestado un esquema de un campo vecino; o también, combinan módulos que se saben repetidos en el mundo biológico.

En el camino hacia el descubrimiento del mecanismo, viene luego la evaluación, la separación entre lo bueno y lo malo de un esquema ideado. Y, por último, la revisión, que somete a prueba el esquema privilegiado de mecanismo cuando

se presenta una anomalía empírica. Los mecanismos no son meras correlaciones entre variables, sino entidades y actividades con propiedades espaciales y temporales organizadas para producir, resaltar o mantener el fenómeno.

Las entidades tienen tamaño, forma, posición y orientación. Las actividades presentan orden, tasa y duración. Las entidades son partes del mecanismo con determinadas propiedades. Las actividades son lo que realizan los mecanismos; son productores de cambios. Una enzima (entidad) fosforila (actividad) una proteína (entidad); la celulosa (entidad) degrada (actividad) las paredes celulares de las plantas (entidad) al descomponer la celulosa en sus componentes glúcidos. Una neurona (entidad) libera (actividad) un neurotransmisor (entidad). El HIV-1 (entidad) infecta (actividad) más de 34 millones de personas (entidad) y causa (actividad) el sida (entidad). Los organismos, las células, las macromoléculas son clases de entidades. Empujar, atraer, difundir, abrir y bloquear son tipos de actividades. Las entidades tienen propiedades, como la estructura y la orientación, que les permiten comprometerse en actividades específicas. Por su parte, las actividades requieren la existencia de entidades con ciertas propiedades específicas. Por ejemplo, la difusión a través de una membrana requiere entidades de tamaño apropiado, diferencias de concentración en cada lado de la membrana y una membrana permeable a iones pertinentes.

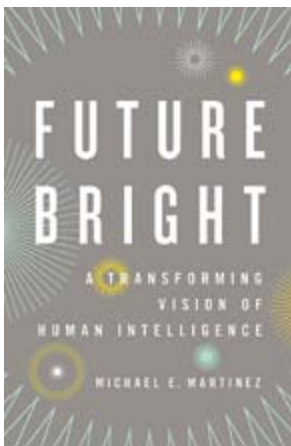
Los fisiólogos estudian los mecanismos a pequeña y a gran escala, desde la circulación de la sangre hasta la filtración del agua en los túbulos microscópicos del riñón. Los biólogos moleculares descubrieron los mecanismos básicos de la replicación del ADN y la síntesis de proteínas; continuaron elucidando miríadas de mecanismos de la regulación génica. Y en el camino se ha favorecido la convergencia de campos. Así, la biología molecular y la biología evolutiva constituían disciplinas alejadas entre sí; la primera era mecanicista y centrada en las moléculas; la segunda, teórica y centrada en las poblaciones. Pero ahora ambas convergen en el estudio de los mecanismos moleculares que explican el funcionamiento de los procesos evolutivos, el mecanismo de selección natural y los mecanismos aislantes de especiación. Los neurocientíficos investigan los mecanismos de la memoria espacial, la propagación de los potenciales de acción, la apertura y cierre de los canales iónicos en las membranas neuronales. Los ecólogos abordan los mecanismos de los ciclos de los nutrientes.

Cierto es que, en biología, no se reduce todo a mecanismos; por ejemplo, la labor taxonómica que cataloga la biodiversidad o la epidemiológica que modela la propagación de una enfermedad. Categorización, generalización, modelización, observación y predicción son a menudo útiles en la búsqueda de mecanismos, pero el valor de esas prácticas científicas no se agota con su contribución a la

búsqueda de mecanismos. El giro mecanicista adoptado por la biología obedece en buena medida al poder instrumental del conocimiento mecanicista, su fuerza predictiva y capacidad de control.

Los mecanismos biológicos operan a veces como máquinas; así una doble hélice de ADN se abre a la manera de una cremallera y sus bases se mezclan con otras bases que presentan una forma (y carga) complementaria. Pero, muy a menudo, los mecanismos biológicos no se parecen a las máquinas. La máquina es un aparato con piezas preexistentes, organizadas e interconectadas. Señalemos el reloj mecánico, la bomba de agua, el motor de combustión interna o el computador. Los mecanismos biológicos, en cambio, han venido forjándose a través de la evolución por selección natural y del desarrollo; pensemos en el mecanismo de visión y su evolución hasta llegar al ojo humano. La diferencia entre máquinas y mecanismos no es solo un asunto de complejidad y elegancia. Los mecanismos son característicamente activos, constituyen la forma en que las cosas operan cuando operan. Las máquinas existen siempre, actúen o no actúen. Un reloj parado es una máquina, no un mecanismo. Los mecanismos biológicos realizan cosas, cambian cosas, sintetizan cosas, mueven cosas y transmiten cosas. Y, lo que es más importante, una misma máquina puede constar de numerosos mecanismos completamente distintos.

—Luis Alonso



### FUTURE BRIGHT. A TRANSFORMING VISION OF HUMAN INTELLIGENCE.

Por Michael E. Martinez. Oxford University Press; Oxford, 2013.

## Inteligencia

*Cualidad dinámica*

La neurociencia cognitiva se propone llegar al problema de la inteligencia a través de la profundización en el conocimiento del cerebro. Se ha venido dando

por cierto que la inteligencia constituya un carácter programado genéticamente, inalterable desde el nacimiento. Si lo primero tiene una justificación metodológi-

ca, el segundo enunciado carece de base real. Por más que, desde que Alfred Binet inventara el test del cociente intelectual (CI), hace más de cien años, se asentara la idea de una inteligencia prefijada, inmutable como el color de los ojos. Si nuestro CI era de 115 a la edad de 18 años, lo sería a la edad de 32 y a la edad de 72. Es tesis del autor que, lejos de constituir la inteligencia humana una cualidad estática, podemos mejorarla, o degradarla, en el transcurso del tiempo. El CI, la medida común de inteligencia, fluctúa en el curso biográfico de la persona, así como de generación en generación.

La inteligencia, motor de las capacidades humanas, constituye la técnica más poderosa de todas. Para aprovecharla hemos de conocer las expresiones específicas sobre las cuales la mente posee el monopolio; entre otras, la resolución de

problemas y la coordinación que requiere la interacción social. Superamos de lejos a las máquinas, que operan a través de rutinas lógicas. El intelecto confiere sentido a una información compleja y aprovecha esa información para resolver problemas. Así puede detectar patrones y caminos que se les escapan a los computadores más avanzados. En la coordinación de un trabajo que requiera interacción social, la comunicación fluida debe combinarse con el tono emocional de las interacciones. Un trabajo eficaz debe tomar en consideración las miríadas de formas en que las personas difieren (personalidad, intereses, carácter, experiencia, etcétera).

El estudio científico de la mente puede retrotraerse a mediados del siglo XIX. En 1869, en la Inglaterra victoriana, Francis Galton, primo de Charles Darwin, publicaba *Hereditary genius*, donde ponía de manifiesto las notables diferencias intelectuales, congénitas en su opinión, entre individuos. Identificó a un millar de genios cuya obra perduraba. Consideraba que la excelencia escaseaba y la cifraba en un individuo cada mil. Había que dilucidar, además, si era una característica aleatoria o se heredaba. Él se inclinaba por la heredabilidad de la eminencia; llegaba incluso a asociar caracteres psicológicos con condiciones genéticas. ¿Por qué no cuantificar la memoria, la comprensión o la resolución de problemas, fenómenos mentales que asociamos a la inteligencia? No fue Galton quien se aprestó a dar ese paso. Lo acometería en el último decenio de la misma centuria Alfred Binet, psicólogo francés.

A Binet se le planteó la dificultad de aprendizaje que mostraban algunos niños. Para distinguir entre aquellos cuyos problemas de aprendizaje se debían a su baja capacidad intelectual y los que, aunque capacitados, fracasaban por abulia, falta de motivación u otras razones, ideó lo que hoy reconocemos como el primer test de inteligencia. La prueba mezclaba rompecabezas, juegos de memoria y cuestiones sobre conocimientos generales. El criterio era sencillo. Si la capacidad intelectual del niño igualaba a la de sus compañeros de la misma edad, entonces su edad mental correspondía a su edad cronológica. La separación entre edad mental y edad cronológica resultó determinante en la construcción de la teoría de la inteligencia. Una etapa ulterior sería calcular la relación entre ambas.

No dio ese paso Binet, sino Wilhelm Stern. La propuesta de Stern sobresalía por su simplicidad: cociente intelectual (CI) = edad mental/edad cronológica  $\times$  100. La fórmula adolece de ciertas limitaciones. Por sí misma no nos informa sobre lo que un niño puede conseguir. Cuantifica la inteligencia sin cualificarla. La escala del CI es constitutivamente relativa porque se calcula solo mediante la comparación con otras personas. Hoy, sin embargo, se prefiere computar el cociente intelectual basándose en la curva de Bell, o distribución normal. La curva de Bell ilustra también la variación típica en otras cualidades del hombre. El distanciamiento del promedio se mide mediante la desviación típica o estándar. En promedio, varones y mujeres presentan el mismo cociente intelectual.

Ni Galton ni Binet estaban interesados en medir la inteligencia por sí misma. Sus mediciones se hallaban al servicio de predecir algo que consideraban importante. Galton deseaba poder predecir el estatuto social y suponía que la eminencia en ciencia, arte o liderazgo constituía el pináculo de dicho estatuto. Los esfuerzos de Binet se encaminaron hacia el rendimiento y el éxito escolares. A comienzos del siglo XX, Lewis Terman, de la Universidad Stanford, tradujo al inglés el test de Binet y le añadió nuevas entradas. Adaptó también la fórmula de Stern y se convirtió en el gran divulgador de las pruebas de inteligencia. De hecho, uno de los más extendidos es la escala Stanford-Binet de CI. De la escuela se pasó a la universidad, institución que en ciertos lugares somete a sus candidatos al Test de Aptitud Escolar (SAT, de *Scholastic Aptitude Test*), pergeñado de acuerdo con escalas de CI en forma y concepto. Con un CI de 120 podremos desempeñar un trabajo moderadamente complejo. A esa idea se le llama la hipótesis del umbral.

Algo más tarde, en los años veinte, Catherine Cox acometió una investigación sobre 301 personajes de la civilización occidental, que habían aportado una contribución significativa al campo de la ciencia, el arte, la música, la política y la filosofía, desde el Renacimiento en adelante. Le interesaba averiguar si ya mostraban esa inteligencia privilegiada a una edad temprana. Publicó en 1926 los resultados con la siguiente conclusión general: habían dado pruebas de sus dotes desde la niñez. «A los dos años, Coleridge leía la Biblia; a los cinco, Mozart

compuso un minuetto; a los ocho, Goethe escribió una obra literaria propia de una persona madura». Puso CI, entre otros, a Jean Jacques Rousseau (125), Nicolás Copérnico (130), Rembrandt Van Rijn (135), Martín Lutero (145), Charles Darwin (140), Abraham Lincoln (140), Leonardo da Vinci (150), Thomas Jefferson (150), Wolfgang Amadeus Mozart (150), Charlotte Bronte (155), Michelangelo Buonarroti (160), Galileo Galilei (165), Samuel Taylor Coleridge (165), Isaac Newton (170), John Stuart Mill (170), Gottfried Wilhelm Leibniz (190) y Wolfgang Goethe (200). Estas cifras, pese a su carácter aproximado, revelaban que los niveles de inteligencia en el rango de 135 a 180 caracterizaban a quienes dejaban huella para la humanidad.

No es lo mismo inteligencia que cociente intelectual. El CI es un valor cuantitativo, abreviado, de inteligencia. Pero no significa que se trate de un resumen cabal de la inteligencia de la persona. Numerosos aspectos de importante información quedan al margen. Por eso la ciencia se plantea si existe una inteligencia única o hemos de hablar con mayor propiedad de gavilla de facultades. Entre los psicólogos reina una división secular. Hacia 1900, Charles Spearman postulaba la tesis de la entidad unitaria, definida por un factor global, o factor *g*. En el polo antagónico, L. L. Thurstone defendía una inteligencia integrada por un haz de posibilidades: memoria, razonamiento matemático y comprensión verbal, entre otras. Conjuntadas, formaban la inteligencia. Otros vieron la solución en la aceptación de ambas posturas. La inteligencia sería, a un tiempo, una y múltiple en un esquema jerárquico.

Resulta patente que la inteligencia humana presenta un abanico amplio de manifestaciones; entre ellas, el autor destaca la inteligencia fluida y la inteligencia cristalizada. La primera nos remite a la capacidad de la mente para adaptarse a un entorno novedoso, complejo y cambiante. Se dice que es inteligente la persona que se desenvuelve bien en situaciones inéditas, tareas novedosas o problemas embarazosos. La inteligencia cristalizada se manifiesta en la capacidad para dominar grandes cuerpos de información. Suele ir asociada a una capacidad verbal. La inteligencia fluida y la cristalizada se complementan entre sí. La inteligencia cristalizada ofrece el conocimiento actual, lo que ya se sabe. Pero si el conocimiento adquirido no basta, el vacío lo ocupa la



inteligencia fluida, la capacidad de abordar lo desconocido.

Podemos acotar la inteligencia fluida de múltiples maneras. Algunos tests de inteligencia fluida emplean formas abstractas, mientras que otros utilizan palabras o números. Todos comparten un rasgo en común: los tests de inteligencia fluida requieren que el sujeto perciba una pauta compleja y la aplique a la solución de un problema. También la novedad es un aspecto que debe considerarse. Importa que el problema o el rompecabezas se le presenten por vez primera al sujeto. Esa exigencia de novedad constituye la nota distintiva de las matrices de Raven, un test clásico de inteligencia fluida. La inteligencia cristalizada constituye el recurso intelectual que corresponde al conocimiento estructural, junto con las habilidades de aprendizaje que facilitan la construcción del conocimiento en el transcurso del tiempo.

Además de las facultades cognoscitivas, la mente humana es poderosa en otras vertientes; por ejemplo, en creatividad, en relaciones sociales (inteligencia social) y en autoconsciencia. En su libro *Frames of mind*, Howard Gardner expuso

su teoría de las inteligencias múltiples, que pormenorizaba en siete tipos: lógica-matemática, lingüística, espacial, musical, cinestésica-corporal, interpersonal e intrapersonal. Las inteligencias lógico-matemáticas, verbales y espaciales corresponderían directamente a factores que los psicométricos venían reconociendo hacía décadas. Para Gardner, el pensamiento y la conducta inteligentes eran producto de diversas destrezas, una combinación de lo familiar y lo innovador.

Se insiste hoy también en que las emociones condicionan la forma en que pensamos y el contenido de los conceptos. Ansiedad y frustración pueden obstruir el pensamiento inteligente, en tanto que emociones más positivas, como el interés y la sorpresa, pueden dirigir e incentivar la mente. La ansiedad constituye una de las emociones más estudiadas. Puede, a veces, anular la capacidad racionadora de un sujeto. La inteligencia emocional, divulgada por Daniel Goleman a través de *Emotional intelligence*, designa la facultad de percibir y expresar emociones, asimilar la emoción en el pensamiento, comprender y razonar con emociones y regular las emociones en el yo de otros. Se ha cuestionado, sin embargo, que la

emocional sea un tipo particular de inteligencia.

En estado embrionario se encuentra la teoría de la inteligencia distribuida. Introducida por Roy Pea, reconoce que toda manifestación de inteligencia humana entraña mucho más que una sola mente que opere de forma aislada. La inteligencia, que operaría siempre a través de recursos definidos por la cultura, vendría a reflejar los conceptos y las prioridades de una cultura local y se desenvolvería con una paleta de instrumentos, técnicas y prácticas. En efecto, hasta las técnicas más elementales pueden servir al pensamiento. La información escrita, recogida en libretas de apuntes o en tratados, pueden compensar la falibilidad predecible de la memoria. Pluma, papel y mente, cuando operan asociadas, son más poderosos que la mente sin auxilio externo. No podemos imaginarnos los logros extraordinarios de Shakespeare, Beethoven y Galileo sin las técnicas disponibles en su tiempo: pluma, piano y telescopio. Los útiles que constituyen la inteligencia distribuida no solo extienden las capacidades de la mente, sino que afectan también a la forma en que esta opera.

—Luis Alonso

# INVESTIGACIÓN Y CIENCIA



## OFERTA DE SUSCRIPCIÓN

Reciba puntual y cómodamente los ejemplares en su domicilio

Suscríbase a *Investigación y Ciencia*...

- ▶ por **1 año** y consiga un **17% de descuento** sobre el precio de portada (**65 €** en lugar de 78 €)
- ▶ por **2 años** y obtenga un **23% de descuento** sobre el precio de portada (**120 €** en lugar de 156 €)
- ▶ **REGALO** de 2 ejemplares de la colección TEMAS a elegir.\*

Y además podrá acceder de forma gratuita a la versión digital de los números correspondientes a su período de suscripción.



Puede suscribirse mediante:

[www.investigacionyciencia.es](http://www.investigacionyciencia.es) ◀

Teléfono: 934 143 344 ◀

\* Consulte el catálogo. Precios para España.