

**INVENTIVE MINDS
MARVIN MINSKY ON EDUCATION**

Marvin Minsky
Edición de Cynthia Solomon y Xiao Xiao
The MIT Press, 2019.

Marvin Minsky: pensar el pensamiento

Seis excelentes ensayos sobre educación de uno de los creadores de la inteligencia artificial

Marvin Lee Minsky (1927–2016) es especialmente conocido como uno de los padres de la inteligencia artificial, campo que fundó junto con John McCarthy y Claude Shannon en la Conferencia de Dartmouth del ya lejano 1956. Junto a Seymour Papert (1928–2016), destacado discípulo de Jean Piaget e inventor del lenguaje de programación Logo, Minsky creó el prestigioso Instituto de Inteligencia Artificial en el Instituto de Tecnología de Massachusetts. También se le deben el primer simulador de redes neuronales (1951), el casco de realidad virtual (1963) o el microscopio confocal (1957), habiendo contribuido además a un número destacado de especialidades como las redes neuronales, las descripciones gráficas simbólicas, la geometría computacional, la semántica computacional, la percepción mecánica o el aprendizaje simbólico. En muchos casos, Minsky fue un pionero que anticipó ideas y soluciones que se desarrollarían años después.

Persona de gran creatividad y potencialidades en campos diversos, Minsky dedicó toda su vida gran atención a la cuestión educativa, pues estaba interesado en analizar los procesos cognitivos que las personas experimentan desde la infancia como referencia para la creación de elementos con inteligencia artificial, y viceversa: se interesaba en cómo los usos computacionales, de todo tipo de programas y mecanismos, podían ayudar a desarrollar mentes más creativas. De gran interés, *Inventive minds* nos invita a conocer algunos de los pensamientos clave de Minsky sobre diversos temas educativos.

El primer acierto de la obra ha sido la labor de selección de los seis ensayos que la conforman, realizada por Cynthia Solomon y Xiao Xiao, y la decisión de complementar cada uno de ellos con un texto

actual que, de la mano de prestigiosos expertos (Hal Abelson, Walter Bender, Alan Kay, Margaret Minsky, Brian Silverman, Gary Stager, Mike Travers y Patrick Henry Winston), contextualiza los escritos de Minsky y discute su vigencia. El desarrollo tecnológico se ha producido de forma acelerada desde que Minsky escribió estos ensayos y, por tanto, cierta revisión era imprescindible. También se nos presenta al autor en múltiples facetas personales, incluidas sus aficiones al dibujo, la música y las matemáticas.

Considere el lector estas seis preguntas: ¿pueden ser las computadoras y sus programas un instrumento para que los niños jueguen y descubran, como antes lo hacían con juegos de construcciones? ¿Qué es lo que dificulta el aprendizaje de las matemáticas? ¿Cuáles son las consecuencias de ordenar la educación segregando por edades? ¿Cómo enseñar a los niños buenas maneras de «pensar sobre el pensar», con nuevos actores motivadores o resolviendo problemas interesantes? Al cuestionar la educación en general, ¿qué tipo de habilidades deberían recibir mayor atención y qué cambios deberían producirse? ¿Cuáles son los temas y relaciones clave en educación, psicología y computación?

Si estas preguntas le han parecido interesantes, los seis ensayos de esta obra le proporcionarán respuestas. No es este un libro sobre tecnología, computación o robots, sino uno sobre procesos de aprendizaje y sobre la naturaleza de los sistemas (humanos o artificiales) con capacidad de aprender. Presenta ideas donde se entrelazan palabras mágicas como mente, pensamiento, aprendizaje, formación y creatividad, superando las rutinas carentes de motivación y apostando por la mente inventiva, lo que da título a la obra. Veamos a continuación algunos

de los pensamientos clave que nos ofrece Minsky en ella.

A través de los juegos elementales de construcciones, como el Lego o el mecano, se puede invitar a los niños a desarrollar su creatividad sin límites. Con el programa Logo, de Seymour Papert, hay todo un mundo por descubrir. Y con programas más avanzados también: entender el funcionamiento de las computadoras y aprovechar sus programas ofrece hoy un gran recurso formativo.

Muchos estudiantes piensan que no les gustan las matemáticas, cuando, en realidad, lo que no les gusta es lo que se les enseña en clase y cómo se les enseña. Faltan visiones más amplias que las rutinas aritméticas, así como mapas conceptuales y cuestiones relevantes de la vida diaria que también «den sentido a aprender» geometría, lógica, mecánica, estadística, combinatoria, álgebra o topología, e incluso a aprender de los errores cometidos.

No es evidente que la actual organización escolar por grupos de la misma edad favorezca la formación de los niños. Otras posibilidades más abiertas y un nuevo papel de los profesores podrían dar más oportunidades de progreso personal y contextos mucho más enriquecedores que los actuales.

Dado que el pensamiento es el instrumento principal para todo lo que hacemos, merece la pena enseñar a los niños buenas maneras de «pensar sobre el pensamiento». La resolución de problemas y todas las estrategias posibles para abordarlos constituyen un gran recurso educativo, y en el caso de las matemáticas, un motor imprescindible. Seguir a profesores, mentores, guías o consejeros puede influir también positivamente.

Si la educación debe preparar para el futuro, merece la pena reconsiderar la actual organización educativa y sus programas. El desarrollo del pensamiento crítico, las habilidades cognitivas, el talento y los recursos mentales exige hoy nuevos enfoques, representaciones y modelos de la realidad. Los nuevos recursos computacionales han ido ofreciendo en este ámbito nuevas oportunidades.

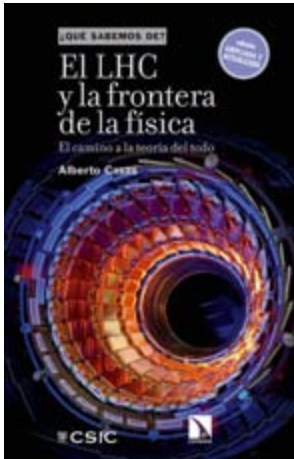
Si el objetivo es mejorar el pensamiento, no se trata de introducir la psicología en las escuelas, sino de plantear cómo aprenden los humanos: mediante los errores cometidos, reflexionando, desarrollando nuevas maneras de pensar... Múltiples elementos de la cibernética, la computación o la robótica pueden ser clave en este objetivo de pensar más y mejor.

La edición del libro ha sido muy cuidada, con excelentes notas, bibliografía y los encantadores dibujos naïf de Xiao Xiao. Lo único que se podría señalar como limitación es que el autor no llegue a examinar las posibilidades reales de los cambios que sugiere, ni muestre un conocimiento actualizado de los avances en educación matemática que ya se habían producido cuando se escribieron los ensayos.

A partir de la lectura de *Inventive minds* cabe que algunos lectores opten por profundizar en otras obras ya clásicas de Minsky como *The society of mind* (2007), o *The emotion machine: Commonsense thinking, artificial intelligence, and the future of the human mind* (2006). Otros lectores, de forma más directa, quizá puedan iniciar una reflexión profunda sobre la educación actual y sobre las necesarias transforma-

ciones que pueden facilitar las ciencias de la computación, revisando lo que ha sido su formación personal y lo que hubiese podido ser con planteamientos más abiertos y transversales. Y si el lector se dedica a la educación, tal vez los ensayos de Minsky le impacten hasta el extremo de replantearse muchos de sus principios.

—Claudi Alsina
Universitat Politècnica de Catalunya



EL LHC Y LA FRONTERA DE LA FÍSICA EL CAMINO A LA TEORÍA DEL TODO

Alberto Casas
Catarata, 2019

Un viaje alucinante al fondo de la naturaleza

Los grandes aceleradores de partículas y el «sentido común» de la realidad física

Una comparación del primer ciclotrón, construido por Ernest Lawrence en 1930 y el cual podía sostener en la palma de su mano, con los aceleradores circulares contemporáneos de decenas de kilómetros de longitud nos muestra en qué medida la física experimental de partículas elementales se ha adentrado en el territorio de la gran ciencia. La investigación en este campo, iniciada a principios del siglo xx en pequeños laboratorios universitarios, ha pasado a hacerse en grandes instalaciones similares a complejos industriales. Los grupos experimentales reducidos se han convertido en colaboraciones en las que participan cientos, cuando no miles, de personas.

La etapa más reciente en este proceso la encarna el Gran Colisionador de Hadrones (LHC), la infraestructura científica más compleja jamás construida, que nos ha permitido estudiar la naturaleza a escalas nunca antes exploradas. Gracias a él hemos podido confirmar la existencia del bosón de Higgs, el último ingrediente del modelo estándar que quedaba por descubrir.

Para conmemorar su número 100, la colección «¿Qué sabemos de?», de la editorial Catarata con la colaboración del Con-

sejo Superior de Investigaciones Científicas, ha publicado una edición actualizada de la obra que inauguró la serie: *El LHC y la frontera de la física*, de Alberto Casas. Cuando apareció la primera, en 2009, faltaban algunos meses para que el LHC comenzara sus operaciones. Por eso esta se completa con un apéndice en el que se valoran los casi diez años de vida del acelerador. Y lo hace no solo analizando sus logros en este período (el descubrimiento y estudio del bosón de Higgs), sino también sus posibilidades de descubrir nueva física a corto y medio plazo.

Uno de los propósitos del libro es relatar de forma accesible y entretenida la historia y las características del acelerador, la razón de su construcción y cómo se efectuó la primera detección del Higgs [véase «El descubrimiento del bosón de Higgs», por Alberto Casas; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, agosto de 2012]. También explicar los beneficios no estrictamente científicos de la inversión en gran ciencia. Pero *El LHC y la frontera de la física* es mucho más que eso. En algo menos de 140 páginas, el autor consigue embarcarnos en un viaje de descubrimiento que sin duda resulta tan fascinante como el destino final. Partiendo de las nociones más básicas

de relatividad y mecánica cuántica, y al hilo de la historia, aprendemos cómo la combinación de experimentos astutos e ideas teóricas audaces fue conformando nuestra imagen del mundo de las partículas subatómicas.

El autor es uno de los grandes expertos internacionales en física más allá del modelo estándar, razón por la que el libro no se queda en una mera descripción de los muchos éxitos del modelo. Nos da cuenta de sus limitaciones y de cómo estas apuntan a la existencia de física aún desconocida, que quizás el LHC (o sus sucesores) puedan detectar en el futuro. Aprendemos entonces sobre el problema de la jerarquía o sobre algunos escenarios de nueva física, como la supersimetría o las dimensiones adicionales. También sobre lo infundado de los temores de que el LHC pudiera provocar un apocalipsis global.

Más allá de la discusión de teorías científicas, el libro nos enfrenta con algunas cuestiones que, aunque no son habituales en la bibliografía de divulgación, tienen gran importancia para una adecuada percepción de la ciencia por parte del gran público. Por ejemplo, qué hace especial a la ciencia como forma de conocimiento, dónde radica su efectividad para describir y controlar la naturaleza, o cómo la retroalimentación de teoría y experimento dota al conocimiento científico de su robustez y fiabilidad.

Una cuestión que constituye el verdadero *leitmotiv* del libro es el concepto de «teoría efectiva» como base de nuestro conocimiento de la naturaleza. La física describe la realidad acotándola en escalas y adaptando los términos de la descripción a la escala correspondiente. Así, a un ingeniero le basta con conocer algunas propiedades físicas de los materiales con los que diseña un puente, codificadas en unos cuantos parámetros, sin preocuparse por la estructura atómica de la cual se derivan. Un análisis en estos términos es perfectamente legítimo para el ingeniero, pero no

para el físico del estado sólido que aspira a entender las propiedades microscópicas del material. La física newtoniana, que basta para construir el puente, deja de funcionar a pequeñas distancias, donde debe ser reemplazada por la mecánica cuántica. Al mismo tiempo, tenemos que abandonar la imagen cotidiana de un sólido continuo para pensar en términos de electrones y átomos.

Y es que, como explica el autor, nuestro sentido común no es extrapolable a todas las escalas. O dicho de otra forma: cada escala de distancias tiene su propio «sentido común», su teoría efectiva. La idea de cómo uno reemplaza a otro a medida que nos movemos entre escalas reviste una importancia clave para aclarar toda posible confusión sobre el verdadero funcionamiento de la física. Clarifica, en particular, cómo el carácter progresivo y acumulativo de esta ciencia se deriva de completar las teorías existentes, extender su dominio de aplicabilidad y empujar en el proceso la frontera del conocimiento.

Esta secuencia de teorías efectivas, con sus sucesivos dominios de validez, conecta con la otra trama subyacente del libro: el reduccionismo explicativo. Nuestra comprensión de los fenómenos naturales y de su multiplicidad se basa en la posibilidad de describirlos en términos de estructuras más simples. Desde la unificación de la física terrestre y celeste llevada a cabo por Newton en el siglo xvii hasta la física de partículas contemporánea, este ha sido probablemente el principio intelectual más exitoso en la historia del pensamiento científico. Llevado hasta sus últimas consecuencias, nos conduce a la búsqueda de esa «teoría del todo» a la que el subtítulo del libro hace referencia como meta última de la física de altas energías.

Decía Ortega y Gasset que la claridad es la cortesía del filósofo. Y sin duda también la del científico, especialmente cuando se dirige a un público amplio. En *El LHC y la frontera de la física* su autor nos demuestra unos altísimos niveles de cortesía excepcionales en la divulgación

actual. Su claridad se basa precisamente en no renunciar un ápice al rigor ni a la profundidad en la presentación, y en evitar, además, simplificaciones extremas que puedan distorsionar o trivializar el contenido.

La reedición actualizada de la obra de Casas es una excelente noticia para la divulgación en castellano y para el público interesado en el presente y el futuro de la física de partículas. Pero este libro es, además, una lectura especialmente recomendable en esas edades formativas en las que es necesario alimentar la curiosidad y estimular el pensamiento más allá de los meros contenidos académicos. Se trata de un libro conciso, claro, ameno y riguroso, que de engrosar las bibliotecas de los centros de enseñanza media bien podría despertar o reorientar más de una vocación científica.

—Miguel Á. Vázquez-Mozo
*Instituto Universitario de Física
 Fundamental
 Universidad de Salamanca*



TIMEFULNESS
HOW THINKING LIKE A GEOLOGIST CAN HELP
SAVE THE WORLD

Marcia Bjornerud
 Princeton University Press, 2018

La importancia del tiempo geológico

De Hutton a la geocronología moderna

La vida del ser humano, y la de la naturaleza en general, va asociada al tiempo. En el día a día es el reloj el que marca nuestros pasos y actividades, pautados por la hora oficial local. Al respecto, curioso es el caso del archipiélago ártico de Svalbard, sin tiempo oficial cuando la geóloga Marcia Bjornerud preparaba su tesis doctoral, en 1984, debido a un largo pleito entre rusos y noruegos sobre el huso que debían seguir, si el de Moscú o el de Oslo. Allí el trabajo de campo no empezaba hasta julio, cuando se rompían los hielos y podía navegarse, y duraba hasta septiembre, coincidente con las 24 horas de luz solar

del verano. Una época sin claves externas para el sueño y donde se pierde la sensación de paso del tiempo, como si hubiera quedado congelado.

Timefulness constituye una suerte de introducción a la geología cuya lectura y comprensión se ven facilitadas por el recurso a frecuentes metáforas y analogías. Así, la propia Tierra se compara a un melocotón, explica la autora: con hueso o núcleo, carne o manto, y piel o corteza. La autora hace gala, además, del manejo solvente de muchos marcos temporales de la historia del planeta, con sus 4600 millones de años de antigüedad. Un dominio

que el libro quiere extender a la sociedad en general, pues, según se queja la autora, la persona culta contemporánea carece del sentido de tiempo geológico: cuánto duran los grandes capítulos de la historia de la Tierra, cuál fue la velocidad de cambio durante períodos precedentes de inestabilidad ambiental, o cómo se desarrollan las escalas temporales de los sistemas de aguas freáticas y otras maravillas de la naturaleza.

Desde las primeras lecciones se enseña en geología que las rocas no son sustantivos, objetos, sino verbos, procesos. Algunos procesos quedan a la vista: erupciones volcánicas, acreción de un arrecife coralino, desarrollo de un cinturón montañoso. Dondequiera que se mire, las rocas dan testimonio de sucesos que se desplegaron durante largos períodos de tiempo. En el siglo xviii comenzó a descubrirse la antigüedad de las diversas clases de roca que componen el planeta, la escala temporal geológica, y con afán científico empezó a plantearse la cuestión de la edad de la Tierra. De acuerdo con el relato del Génesis, hasta entonces asumido en su literalidad, se aceptaban los 6000 años computados por James Ussher en 1654. Este arzobispo de la Iglesia de Irlanda había calculado incluso la fecha de la creación: un 23 de octubre del año 4004 antes de nuestra era, que cayó en domingo.

En 1789, sin embargo, James Hutton se percató de la vastedad del tiempo geológico en un saliente de Siccar Point, en la costa escocesa. Muchos habían visto aquel promontorio, pero solo Hutton supo inferir en aquellos horizontes rocosos un registro vivo de paisajes desaparecidos. Las rocas verticales subyacentes representaban una antigua cadena montañosa donde los estratos marinos habían sido inclinados por una alteración de la corteza. Y la superficie que truncaba ese horizonte representaba un intervalo de erosión, prolongado lo suficiente para arrasar montañas, sobre cuyas ruinas se fueron acumulando sedimentos, las rocas superiores. A partir de la tasa de erosión del suelo, Hutton dedujo que la discontinuidad representaba un largo intervalo temporal, infinito si lo comparáramos con la edad de la Tierra de acuerdo con la interpretación literal de la Biblia.

Hutton dio un paso más y rompió con la creencia de que el pasado y el presente de la Tierra estaban gobernados por regímenes distintos, la idea de que en el pasado habría habido episodios violentos, como el diluvio universal, en tanto que el presente sería un período de estabilidad. Hutton introdujo la idea central de la geología, el uniformismo, según la cual los procesos del presente son los mismos que los que operaron en el pasado geológico. En su *Theory of the Earth*, de 1789, propuso la iteración de un ciclo ilimitado de acumulación de rocas, levantamientos, erosión y renovación de la Tierra. Charles Lyell siguió la senda de Hutton en su canónico *Principles of geology*, que más tarde inspiraría a Charles Darwin su teoría de la evolución [véase «Las leyes de Lyell, a examen», por Michael Rampino; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, octubre de 2018].

Los primeros intentos de transcribir el registro geológico en una historia de la Tierra se basaron en la idea de que determinados tipos de roca se habían formado en el ancho mundo en distintos momentos del pasado. Granitos y gneises constituían las rocas originarias o primarias, en tanto que las areniscas y calizas eran secundarias. Gravas y depósitos de arena constituían materiales terciarios. Al cuaternario pertenecían sedimentos sin cementar. A comienzos del siglo XIX se introdujeron claves orgánicas para determinar la edad de los estratos: determinadas conchas y otros restos fósiles se daban en horizontes o lechos característicos. Se asociaron mamíferos con el Cenozoico, reptiles con el Mesozoico y peces y trilobites con el Paleozoico.

Pasado el ecuador del siglo XIX, William Thomson, más conocido como Lord Kelvin, atacó la idea huttoniana de una Tierra infinitamente vieja como una violación de la segunda ley de la termodinámica. Comenzó a publicar una serie de ensayos sobre la edad de la Tierra de acuerdo con la física, atendiendo en particular a la velocidad de enfriamiento del planeta y a la vida media del Sol. Dedujo una edad de unos 20 millones de años.

En 1905, Ernest Rutherford demostró que la radiactividad era un proceso de desintegración exponencial y reconoció de inmediato su poder de reloj natural para determinar la edad de rocas portadoras de uranio. Pero fue un joven estudiante de física del Imperial College, Arthur Holmes, quien acometiera el proyecto de recabar los primeros datos geológicos absolutos. Comenzó buscando muestras de rocas portadoras de uranio, como el zircón. Conoció la concentración de uranio y aplicando la ley de desintegración radiactiva, cabía determinar los años transcurridos desde la cristalización del mineral.

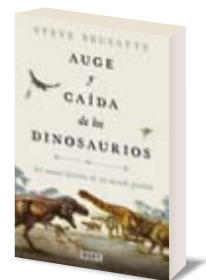
En 1911, a pesar de la comprensión todavía rudimentaria del fenómeno de la radiactividad, Holmes había obtenido ya la edad absoluta de media docena de rocas ígneas cuya edad relativa en la escala fundada en los fósiles dependía de sus relaciones con rocas sedimentarias. Hasta los años treinta no se comprendió la complejidad de la geoquímica de los isótopos del plomo. En 1929, Rutherford mostró que había dos isótopos del uranio, ^{238}U y ^{235}U , que producían dos isótopos del plomo al final de una larga serie de desintegraciones con vidas medias muy diferentes. Muy poco tiempo después, Alfred Nier, creador del espectrómetro de masas, identificó un tercer isótopo del plomo, no radiogénico. Se comprobó que las tres especies servían para datar rocas e incluso establecer la edad de la Tierra. A medida que se fue generalizando el uso del espectrómetro de masas, a finales de los cincuenta y decenio de los sesenta, la geocronología se convirtió en ciencia.

Hoy, gracias a la geocronología de alta precisión, a la observación directa de la Tierra por medio de satélites y a un siglo de seguimiento de sus signos vitales (temperatura, precipitación, comportamiento de los glaciares, reserva de aguas freáticas, nivel del mar y actividad sísmica), muchos de los procesos que parecían fuera del alcance del ser humano pueden ser cronometrados en tiempo real.

—Luis Alonso

NOVEDADES

Una selección de los editores
de *Investigación y Ciencia*



AUGE Y CAÍDA DE LOS DINOSAURIOS LA NUEVA HISTORIA DE UN MUNDO PERDIDO

Steve Brusatte
Debate, 2019
ISBN: 9788417636135
400 págs. (23,90 €)



100 CURIOSITATS SOBRE LA TAULA PERIÒDICA I ELS ELEMENTS QUÍMICS

S. Álvarez, E. Cremades, J. Duran,
X. Duran, C. Mans y P. A. Vieta
Cossetània Edicions, 2019
ISBN: 978-84-9034-844-4
224 págs. (14,90 €)



ESO LO EXPLICA TODO
Dirigido por John Brockman
Con textos de R. Dawkins, F. Wilczek,
S. Pinker, F. Dyson, L. Randall, S. Turkle,
A. Gopnik y N. N. Taleb, entre otros
Deusto, 2019
ISBN: 978-84-234-1715-5
456 págs. (22,95 €)