

ISSN 1870-3186

cómoves?

Año 22 • Núm. 253 • Revista de Divulgación de la Ciencia de la Universidad Nacional Autónoma de México



**Ser aferrado no es exclusivo
de los terraplanistas**

**Contra la amenaza
del sarampión, vacúnate**

**Un refugio de manatíes
en Tabasco**

UnAm
La Universidad
de la Nación



México \$30.00 • EUA \$5.00 • UE €3.75

21
años

Secciones

3 De entrada

Estrella Burgos

5 Ráfagas

Noticias de ciencia y tecnología
Martha Duhne

7 Ojo de mosca

Ideología y ciencia
Martín Bonfil

15 Al grano

Mónica Genis

28 ¿Quién es?

Érica Torrens Rojas
J. William Cruz

30 ¿Será?

Distracciones chocantes
Luis Javier Plata

36 ¿Qué leer?

Entre el recuerdo y el olvido
Gloria Valek
Inmensidad asombrosa
José Antonio Rogerio

37 De película

La muerte de todo un mundo
Arturo Vallejo

38 Ven al museo

A las profundidades oceánicas
Tania Trejo Baxin

39 ¿Qué hacer?

Mónica Genis

40 Retos

[Poco más de] veinte
años después

Antonio Ortiz



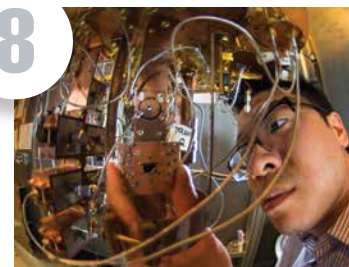
Foto: IBM Research
Diseño: Georgina Reyes Coria
Año 22 • Núm. 253 • Diciembre 2019

Artículos

8 El sueño de la computación cuántica

Qué tan cerca estamos de la revolución científica y tecnológica de las computadoras basadas en la física de lo muy pequeño.

Daniel Martín Reina



16

La amenaza del sarampión

Los retos para erradicar un virus extremadamente infeccioso que nos ha vuelto a atacar.

Miguel Ángel Cevallos

Zaga

20



24



Jonutla, refugio de manatíes

Un éxito de conservación comunitario que no ha contado con el apoyo institucional.

Francisco Cubas



Terraplanistas necios

¿Tiene sentido resistirse a aceptar que la Tierra es redonda y gira?

Sergio de Régules

32



Descarga la guía didáctica para abordar el tema de este artículo en el salón de clases. www.comoves.unam.mx



Universidad Nacional
Autónoma de México

Rector Enrique Graue
Wiechers

Secretario General Leonardo Lomelí
Vanegas

Coordinador de la
Investigación Científica William Lee Alardín



Director General César A. Domínguez
Pérez Tejada

Director de Medios
de Comunicación Ángel Figueroa Perea
Subdirectora de
Medios Escritos Rosanela Álvarez Ruiz

¿cómoves?

Editora Estrella Burgos
Asistente editorial Isabelle Marmasse
Jefa de redacción Gloria Valek
Coordinador científico Sergio de Régules
Diseño Georgina Reyes
Asistente de diseño Carla D. García
Gestión de contenido Claudia Hernández
Guillermo Cárdenas
Asesoría Alicia García B.
Martín Bonfil
Contenidos digitales Mónica Genis
Redes sociales Anayansi Rodríguez
Comercialización Gabriela García C.
Suscripciones Guadalupe Fragoso
Promoción Alma Ferreira
Alejandro Rivera

Comité editorial

Iván Carrillo, Rosa María Catalá, Agustín López
Munguía, Alejandro Magallanes, Javier Martínez
Staines, Pilar Montes de Oca, Plinio Sosa

Los artículos firmados son responsabilidad del autor por lo que el contenido de los mismos no refleja necesariamente el punto de vista de la UNAM. Prohibida la reproducción parcial o total del contenido, por cualquier medio, sin la autorización expresa de los editores.

¿Cómo ves?, Publicaciones UNAM, es una publicación mensual numerada de la Dirección General de Divulgación de la Ciencia de la UNAM. Editora responsable: Estrella Burgos Ruiz. Reserva de derechos al uso exclusivo del título ante el Instituto Nacional del Derecho de Autor de la Secretaría de Educación Pública 04-2002-073119042700-102. Certificado de licitud de título 10596. Certificado de licitud de contenido 8048, expedidos por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. ISSN 1870-3186. Impresa en: Tipos Futura S.A. de C.V., Av. El Rosario No. 751, Col. San Martín Xochinahuac, Alcaldía Azcapotzalco, Ciudad de México 02120. Distribución en la Cd. de México, Puebla, Tlaxcala, Hidalgo, Querétaro y Celaya: Distribuidora de Atípicos S.A. de C.V., Av. José María Morelos No. 78, 1er piso, Col. Juárez, Cd. de México 06600.

Tiraje: 18 000 ejemplares.

Toda correspondencia debe dirigirse a: Dirección General de Divulgación de la Ciencia, Subdirección de Medios Escritos, Circuito Mario de la Cueva s/n, Ciudad Universitaria, Del. Coyoacán, Cd. de México, C.P. 04510. Tel.: (55) 56 22 72 97 Fax: (55) 56 65 22 07 comoves@dgdci.unam.mx

Año 22, número 253, diciembre 2019



ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS
DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

decentrada

Hace poco la compañía Google anunció que había alcanzado la “supremacía cuántica”. Suena al triunfo de un movimiento político nefasto, pero no: en realidad significa que por primera vez una computadora cuántica ha superado en un cálculo a las computadoras tradicionales, o “clásicas”. La supremacía cuántica es un hito muy importante en el desarrollo de computadoras mucho más poderosas y seguras que las tradicionales —computadoras cuánticas, cuyos elementos de memoria no están limitados a los clásicos valores 0 o 1, sino que pueden estar en combinaciones de ambos, como el gato de Schrödinger y por la misma razón: las extrañas leyes de la mecánica cuántica. En el artículo de portada de esta edición Daniel Martín Reina nos explica en qué consisten y cómo se aplican a estas computadoras, que tienen el potencial de cambiar el mundo de la computación.

Las vacunas no sólo protegen a quien las recibe, sino a toda la población. Mientras más individuos estén protegidos contra una enfermedad infecciosa, más difícil es que el agente de esa enfermedad se propague y cause una epidemia. Las personas que no se vacunan (por motivos religiosos o por creer, equivocadamente, que las vacunas causan más daño que bien) nos ponen en peligro a todos. En “La amenaza del sarampión” Miguel Ángel Cevallos nos relata el regreso de esta enfermedad, su relación con el movimiento antivacunas, y sobre todo, cómo se organiza una campaña de vacunación eficaz.

En el artículo “Terraplanistas necios” Sergio de Régules explica por qué los científicos de verdad no renuncian a una teoría a la primera dificultad, y de paso nos muestra lo único en lo que pueden tener razón las personas que creen que la Tierra es plana y que no da vueltas.

Completa la edición el relato de Francisco Cubas sobre un exitoso, aunque controvertido, proyecto para contribuir a la conservación de los manatíes que se está llevando a cabo en un municipio del estado de Tabasco con ayuda de la población local.

Aprovechamos para desearles a nuestros lectores felices fiestas y un año nuevo lleno de salud y felicidad.

Estrella Burgos

¿cómoves? 3

LOS PREMIOS NOBEL 2019

Por Martha Duhne Backhauss

Medicina o fisiología

Los estadounidenses William Kaelin y Gregg Semenza y el británico Peter Ratcliffe obtuvieron el premio por descubrir cómo las células detectan oxígeno y se adaptan a la cantidad disponible. Las células necesitan oxígeno como fuente de energía; sin este, mueren en lapsos muy breves.

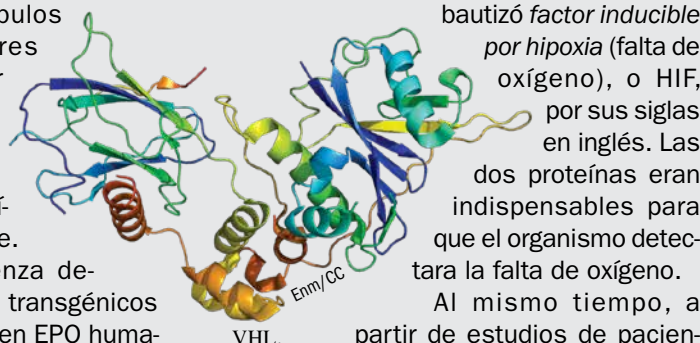
Semenza se dedicó a estudiar un gen que sintetiza en los riñones la hormona EPO, la cual promueve la producción de glóbulos rojos (portadores de oxígeno) y por lo tanto es fundamental para regular la concentración de oxígeno en la sangre. En 1991 Semenza desarrolló ratones transgénicos portadores del gen EPO huma-

no e identificó la secuencia genética encargada de iniciar la producción de la hormona EPO cuando descenden los niveles de oxígeno en la sangre.

En 1993 Ratcliffe descubrió que este mecanismo estaba presente en todas las células de todos los tejidos del cuerpo de los animales, lo que demuestra que es de importancia vital. Más tarde Semenza detectó un complejo de dos proteínas, a las que bautizó *factor inducible por hipoxia* (falta de oxígeno), o HIF, por sus siglas en inglés. Las dos proteínas eran indispensables para que el organismo detectara la falta de oxígeno. Al mismo tiempo, a partir de estudios de pacien-

tes con cierto tipo de cáncer, Kaelin demostró que en estas personas estaba desactivado el gen llamado VHL, que funciona como un interruptor que previene la aparición de tumores. Ratcliffe y Kaelin descubrieron que este gen también interactúa con el gen HIF y es parte del sensor de oxígeno celular, necesario para detectar la falta de oxígeno.

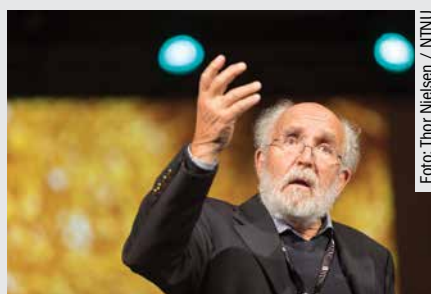
El sofisticado sensor celular descrito por Semenza, Ratcliffe y Kaelin es esencial para el correcto funcionamiento del cuerpo; por ejemplo, para los músculos durante esfuerzos intensos, para que el sistema inmunitario responda de manera eficiente, para el desarrollo del embrión y durante la formación y crecimiento de tumores, por lo que estos descubrimientos han tenido impacto en distintos campos de la medicina.



Física

El premio se otorgó a James Peebles, de Canadá, y Michel Mayor y Didier Queloz, de Suiza, por “contribuciones a nuestra comprensión de la evolución del Universo y del lugar que ocupa la Tierra en el Cosmos”.

James Peebles es uno de los principales arquitectos de la versión actual de la teoría del *Big Bang*, teoría que se ha ido construyendo poco a poco desde los años 1930, cuando quedó claro que el Universo se está expandiendo. Peebles contribuyó a explicar la distribución actual de los cúmulos de galaxias a partir de acontecimientos que ocurrieron durante el *Big Bang* y a explicar cómo se relaciona la expansión del Universo con su estructura. Sus contribuciones teóricas se adelantaron a las observaciones de la radiación cósmica de fondo (el “eco” del *Big Bang*) que se realizaron con sondas espaciales durante los úl-



Michel Mayor.

timos 30 años. Estas observaciones confirman las ideas de Peebles.

Mayor y Queloz reciben el premio por descubrir el primer planeta orbitando alrededor de una estrella fuera del Sistema Solar. El planeta fue detectado indirectamente por Queloz, recién graduado de astronomía en la Universidad de Ginebra, Suiza, una noche de enero de 1995 en el observatorio de Haute-Provence, en el sur de Francia. Queloz y Mayor, su director

de tesis, se dedicaron durante meses a estudiar la estrella por el llamado método de la velocidad radial, que permite deducir las características de un planeta a partir de las alteraciones que su gravedad causa en el movimiento de su estrella. El método existía desde hacía décadas, pero hasta 1995 no se había podido medir el bamboleo de las estrellas para extraerle las características de los posibles planetas que la orbitan.

Una vez que estuvieron seguros, Queloz y Mayor dieron a conocer su hallazgo en una conferencia en Florencia. El planeta de Queloz y Mayor tarda cuatro días en dar una vuelta alrededor de su estrella, lo que significa que se encuentra mucho más cerca de esta que nosotros del Sol.

Hoy en día, con otros métodos y sobre todo la sonda espacial Kepler, conocemos más de 4 000 exoplanetas.

Química

El premio fue para el estadounidense John B. Goodenough, el británico Stanley Whittingham y el japonés Akira Yoshino, considerados los padres de la batería de litio, que es la fuente de energía de teléfonos celulares, relojes, computadoras portátiles y vehículos eléctricos de largo alcance, además de que permite almacenar y transportar enormes cantidades de energía provenientes de fuentes renovables, como el viento y el Sol.

El litio es un metal que cuenta con un solo electrón en su órbita externa, lo cual hace que este salte fácilmente a otro átomo, convirtiéndolo así en un ion de litio más estable y con carga positiva.

En la década de los 60, con cada vez más vehículos que consumían combustibles fósiles y emitían ga-



Pilas de iones de litio.

ses contaminantes a la atmósfera, la compañía petrolera Exxon decidió invertir para encontrar nuevas formas de producir energía. A Whittingham, de la Universidad de Stanford, le interesó el proyecto y en 1972 empezó a trabajar para esa compañía. El investigador desarrolló una batería de litio metálico

que tenía un gran inconveniente: puede explotar.

John Goodenough, físico alemán nacionalizado estadounidense, probó distintos materiales y en 1980 desarrolló una batería más eficiente a base de óxido de cobalto con iones de litio.

Finalmente en 1985, Akira Yoshino, de la empresa japonesa Asahi Kasei, consiguió eliminar el litio puro de la batería, sustituyéndolo por iones de litio más seguros. La nueva batería era ligera y resistente y además podía recargarse cientos de veces sin menoscabo de su rendimiento.

Las pilas de iones de litio han permitido el desarrollo de equipos inalámbricos que nos permiten comunicarnos, y vehículos que nos permiten transportarnos, de maneras impensables hace unos años.

Ciencias económicas

El Premio del Banco de Suecia en ciencias económicas en memoria de Alfred Nobel se otorgó al indio Abhijit Banerjee y a la francesa Esther Duflo, del Instituto de Tecnología de Massachusetts, y al estadounidense Michael Kremer, de la Universidad de Harvard, por “su enfoque experimental para aliviar la pobreza global”.

A pesar de que han existido tremendas mejoras económicas recientes en todo el mundo, la reducción de la pobreza sigue siendo un tema urgente de atender. Más de 700 millones de personas en el mundo viven con ingresos extremadamente bajos y cada año alrededor de cinco millones de niños menores de cinco años mueren de enfermedades que podrían haberse prevenido o curado con tratamientos muy baratos. La mitad de los niños del mundo abandona la escuela antes de haber adquirido habilidades básicas.

Los galardonados de este año desarrollaron un nuevo enfoque para luchar contra la pobreza mundial que resumen así: dividir un problema grave, que podría resultar imposible de resolver, en preguntas concretas, precisas y manejables que pueden enfrentarse con medidas prácticas cuidadosamente diseñadas para cada sitio y población específicos.

Banerjee y Duflo impulsan este tipo de soluciones desde el Laboratorio Abdul Latif Jameel de Acción

contra la Pobreza, con más de 150 académicos que han diseñado cientos de evaluaciones y proyectos especializados para estudiar, medir y reducir la pobreza en más de 80 países. Estos proyectos han tenido impacto en cerca de 400 millones de personas. Por ejemplo en India sus estudios demostraron que, más que acceso a créditos o nuevas técnicas agrícolas, era el acceso a agua potable una de las inversiones más rentables y con mayor impacto en países en vías de desarrollo.

Kremer descubrió, entre otras cosas, que la forma más efectiva de luchar contra el abstencionismo escolar consiste en dar a los niños tratamientos contra lombrices parasitarias que provocan agotamiento, y desarrolló una iniciativa llamada *Deworm the World* que organiza campañas de desparasitación en países como Etiopía, Kenia y Vietnam.



Foto: Stephanie Skinner/evidenceaction.org

Las tortillas y el ácido fólico

Un estudio realizado por investigadores del Instituto Nacional de Salud Pública de México y de la Universidad de Columbia encontró que una gran proporción de mujeres en edad fértil en nuestro país consumen niveles de ácido fólico por debajo de los que recomienda la Organización Mundial de la Salud.

El ácido fólico, o vitamina B9, es una vitamina que ayuda al organismo a mantener y crear células nuevas, función que es imprescindible en periodos de la vida como la infancia y el desarrollo embrionario. Las mujeres que cuentan con suficiente ácido fólico antes y durante el embarazo pueden prevenir posibles defectos en el bebé.

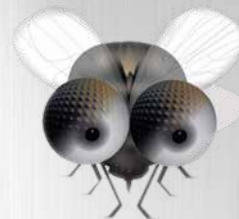
La mejor manera de obtener el ácido fólico necesario es simplemente alimentarse con una dieta balanceada, lo cual no sucede en buena parte de la población. Se calcula que más de 2 000 millones de personas en el mundo padecen deficiencias en su dieta de elementos tan importantes como el hierro, el yodo, el ácido fólico y la vitamina A, lo que les ocasiona serios problemas de salud. Una forma de atacar este problema es añadir estos nutrientes a los alimentos básicos, como el pan y la tortilla. El gobierno mexicano adoptó una legislación sobre enriquecimiento de harina de trigo y maíz con ácido fólico desde 2001, y se hizo obligatorio en 2008.

Los investigadores midieron el contenido de ácido fólico en pan y tortillas recolectados en distintas regiones geográficas del país, y después calcularon la cantidad de tortillas y pan que comían los mexicanos a partir de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición, que registró los alimentos ingeridos por los participantes en un lapso de 24 horas. Encontraron que 9–32% de las niñas de entre 14 y 18 años —y 9–28% de las mujeres de entre 19 y 39 años—, consumen menos ácido fólico del necesario, lo que pone en riesgo a sus hijos durante el embarazo. Esto se debe a que la cantidad de ácido fólico en las harinas es distinto en diferentes regiones del país: menor entre más pequeña y remota sea la población. Los resultados de esta investigación, publicada en la revista *American Journal of Clinical Nutrition*, indican que es necesario evaluar y hacer cumplir las políticas de fortificación de ácido fólico en harinas de trigo y tortilla, o buscar otras formas de asegurar que los niveles de este nutriente en niñas y mujeres sean los adecuados.



Protoplasma/CC

ojodemosca
Por Martín Bonfil Olivera



Ideología y ciencia

La ciencia busca conocimiento confiable, aplicable y eficaz sobre la naturaleza para comprenderla, predecirla y controlarla. A primera vista, no parecería tener nada que ver con algo tan subjetivo como la ideología.

Y es que, si bien la Real Academia define a la ideología como el “conjunto de ideas fundamentales que caracteriza el pensamiento de una persona, colectividad o época, de un movimiento cultural, religioso o político”, normalmente la palabra se entiende por su uso en política: una visión sesgada de la realidad mantenida por cierto grupo, distorsionada por ideas preconcebidas y supeditada a la búsqueda de ciertos fines, principalmente políticos.

Esto contrasta drásticamente con la manera en que trabaja la ciencia: buscando datos, a través de observaciones, experimentos y simulaciones; generando hipótesis para explicar y dar sentido a lo observado, y luego someténdolas a prueba, mediante la contrastación con nuevos datos provenientes de la realidad. Todo esto para tratar de reducir al mínimo la posibilidad de engañarnos. Se podría decir que el método científico se resume en hacer todos los esfuerzos posibles para lograr que las explicaciones que generamos sobre el comportamiento del universo estén lo menos sujetas posible a nuestras creencias, prejuicios y deseos.

Pero la ciencia tampoco es inmune a la ideología. Los científicos son seres humanos, que viven en sociedades y épocas concretas, y no están exentos de ser influidos por las ideologías dominantes. En el siglo XIX, por ejemplo, la esclavitud era vista como parte del orden natural de las cosas, y muchas teorías biológicas, sociales y económicas la veían como algo normal y necesario.

El problema no es que toda actividad humana tenga detrás alguna ideología, sino que a veces esta se pone por encima de la evidencia, los datos y los resultados. En ciencia, esto puede ser catastrófico.

Un ejemplo: en la Unión Soviética, a finales de la década de 1920, el agrónomo Trofim Lysenko fue nombrado director de la Academia de Agricultura, y decidió aplicar en todo el país un método de su invención, denominado “vernalización”, con el que prometía multiplicar el rendimiento de las cosechas.

Desgraciadamente, el método de Lysenko se basaba en el rechazo de los recientes hallazgos de la genética mendeliana, pues la consideraba “una pseudociencia burguesa”. Su proyecto, mantenido hasta los años 60, redujo la productividad agrícola soviética. Pero además despidió, encarceló o mandó al exilio a numerosos científicos que no aceptaban su ideología. Con ello, Lysenko dañó terriblemente el desarrollo de la genética de su país.

Moraleja: cuando en una sociedad la ciencia queda supeditada a la ideología, sólo pueden esperarse resultados desastrosos.



IBM

IBM Q
System One

Foto: IBM Research

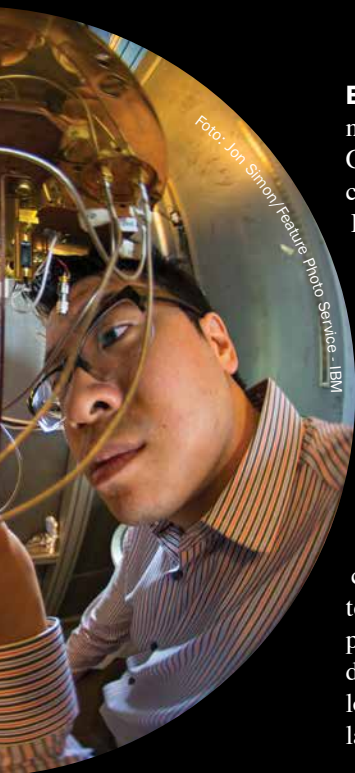
En enero de 2019 se lanzó IBM Q System One, la primera computadora cuántica con 20 cúbits para uso comercial.



El sueño de la computación CUÁNTICA

Por Daniel Martín Reina

Las computadoras cuánticas prometen revolucionar la ciencia y la tecnología. En la última década, este campo ha recibido un importante impulso por parte de grupos de investigación y empresas emergentes de todo el mundo.



En 1981 se celebró en el Instituto Tecnológico de Massachusetts la Primera Conferencia sobre Física Computacional. El físico estadounidense Richard Feynman abrió el congreso hablando de un campo de investigación en pleno auge: la simulación de sistemas físicos mediante computadora. Los fenómenos naturales en la escala más pequeña, razonó Feynman, siguen las reglas de la física cuántica, que es muy diferente de la física a la que estamos acostumbrados, conocida como clásica. Tan diferentes son, que nunca podremos simular fenómenos cuánticos con computadoras clásicas. Feynman terminó su charla desafiando a los allí presentes a desarrollar una nueva clase de computadoras basadas en la física de lo muy pequeño. Así surgió el sueño de la computación cuántica.

Hoy, 38 años después de aquella histórica charla, la participación de gigantes tecnológicos como Google, IBM y Microsoft nos ha acercado más que nunca a superar el desafío de Feynman.

Limitaciones actuales

Todas las computadoras actuales operan de acuerdo con las leyes de la física clásica. Y según estas, el elemento de memoria fundamental de una computadora, el *bit*, sólo puede tener valores bien definidos, 0 o 1, sin ambigüedades. En la práctica, los bits están encarnados en dispositivos electrónicos llamados transistores. Los estados 0 y 1 se representan como un interruptor que corta o deja pasar la corriente eléctrica. Juntando varios bits podemos representar números y hacer operaciones con ellos. Eso sí, con algunas limitaciones: si tenemos n bits, podemos representar



Sistema de enfriamiento de la computadora cuántica de IBM.

hasta 2^n estados distintos (con 10 bits, 1 024 estados; con 20 bits, 1 048 576; con 30, 1 073 741 824), pero solo los podemos manipular uno a la vez. Es decir, por muy rápida que sea una computadora, únicamente puede tratar una cuestión al mismo tiempo. Si el problema requiere tratar muchas (casi todos los problemas conllevan muchos pasos), estas se consideran de una en una, en secuencia.

Según la llamada ley de Moore, propuesta en 1965 por el fundador de Intel, Gordon Moore, cada dos años se reduce a la mitad el tamaño de los transistores. Esto significa que cada dos años se puede duplicar el número de transistores que componen una computadora, lo que hace aumentar su potencia y eficiencia. Las computadoras de hoy tienen cientos de millones de transistores de un tamaño del orden del nanómetro (la milmillonésima parte de un metro), miles de veces más diminutos que el grosor de un cabello humano. Pero no podemos hacer los transistores infinitamente pequeños. Hay un límite a partir del cual dejan de funcionar correctamente, víctimas de efectos cuánticos, y ya estamos muy cerca de alcanzar ese límite. Además, mientras más transistores tiene la computadora, más difícil es disipar el calor que generan. Buena parte de la energía consumida por las computadoras está dedicada a enfriarlas, pues de lo contrario se calentarían en exceso y se dañarían.

Aunque la computación clásica está a punto de tocar techo, todavía hay problemas computacionales que por su complejidad quedan fuera de su alcance. Por ejemplo, es imposible modelar el comportamiento de moléculas relativamente

sencillas como la cafeína (cuya fórmula es $C_8H_{10}N_4O_2$) porque estas tienen tantos posibles estados cuánticos, que ni la computadora más potente de la actualidad puede considerarlos todos en un tiempo razonable.

Una nueva computación

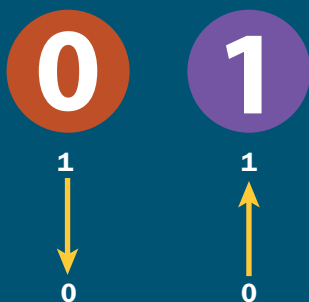
Aquí es donde entra en juego la computación cuántica, que podría aprovechar algunas de las extrañas propiedades de la física cuántica, la teoría que gobierna el mundo del átomo y su interior. Un bit cuántico, o *cúbit*, tiene más posibilidades de almacenar información que uno clásico porque, además de los dos estados clásicos 0 y 1, puede encontrarse en combinaciones de ambos. Dicho de otra manera, puede estar parcialmente en uno y otro al mismo tiempo. Esto implica que, a diferencia de la computadora clásica, la computadora cuántica sí puede ejecutar varios pasos a la vez.

El verdadero potencial de una computadora cuántica surge cuando dispone de más de un cúbit. En una computadora clásica, los bits funcionan de manera independiente. Si disponemos de dos transistores, cada uno puede estar “abierto” o “cerrado”, y el estado de uno no depende del estado del otro. En una computadora cuántica, en cambio, diferentes cúbits pueden estar entrelazados. El entrelazamiento cuántico es uno de los fenómenos físicos más sorprendentes que se conocen (véase *¿Cómo ves?*, Núms. 67 y 205). Cuando dos partículas están entrelazadas, las propiedades de una afectan instantáneamente a las de la otra, por muy separadas que se encuentren. Imaginemos que tenemos dos monedas cuánticas entrelazadas. Si lanzamos ambas y observamos que una cae en “águila”, podemos estar seguros de que la otra adquiere el opuesto y cae en “sol”, aunque esa moneda se encuentre muy lejos.

El entrelazamiento es lo que hace posible que las computadoras cuánticas sean tan potentes. En una computadora clásica, es necesario realizar una operación básica por cada bit que queramos cambiar, pues estos son independientes. En el caso de una computadora con cúbits entrelazados existen operaciones básicas que modifican el estado de varios cúbits a la vez. Esto permite ejecutar programas con más

Bit

Las computadoras actuales operan de acuerdo con las leyes de la física clásica. Por consiguiente, el elemento de memoria fundamental de una computadora, el bit, sólo puede tener valores bien definidos: 0 o 1.

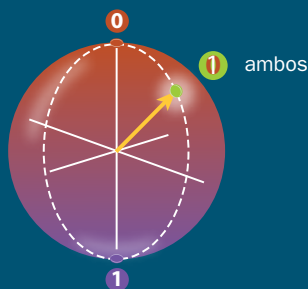


Un bit clásico puede ser 0 o 1.

0 = falso/apagado 1 = cierto/encendido

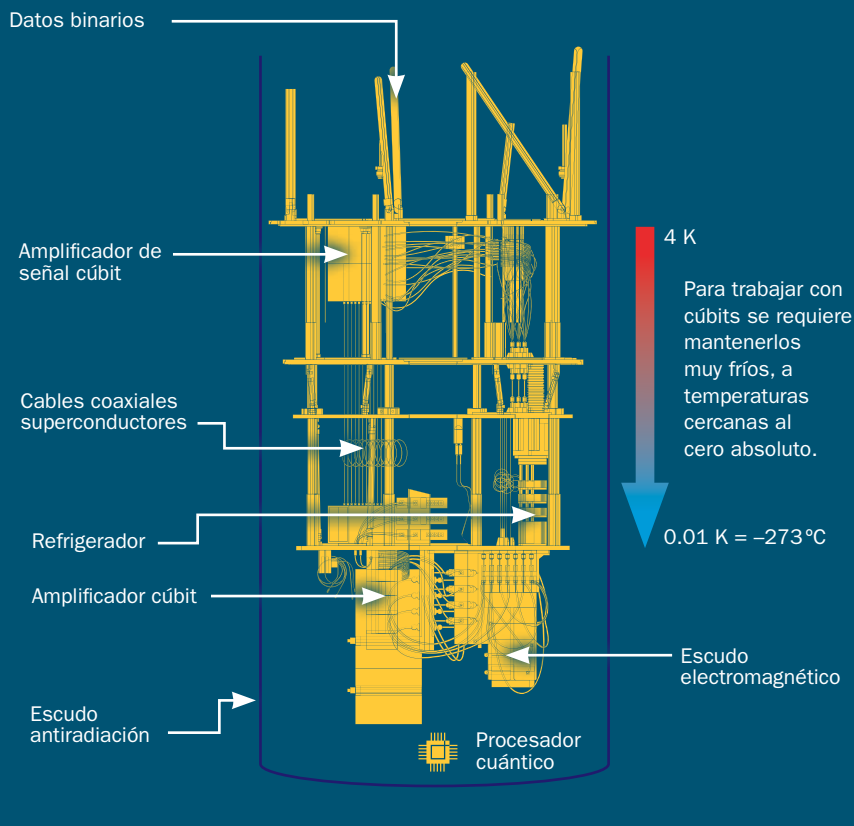
Bit cuántico (cúbit)

La computación cuántica aprovecha algunas de las extrañas propiedades de la física cuántica, la teoría que gobierna el mundo del átomo y su interior. Así, un cúbit tiene más posibilidades de almacenar información que uno clásico porque, además de los dos estados clásicos 0 y 1, puede encontrarse en combinaciones de ambos.



Un cúbit puede estar en un estado de 0 o 1 pero también en una superposición de estados.

La computadora cuántica de IBM



UNA EXPERIENCIA CUÁNTICA

En mayo de 2016 IBM puso en marcha una iniciativa para acercar la computación cuántica a todo aquel que estuviera interesado en ella. La llamada *IBM Q Experience* ofrecía acceso gratuito a una plataforma de computación cuántica mediante un servicio en la nube en el que se podían ejecutar algoritmos en una computadora cuántica de cinco cúbits. El gigante azul ponía a disposición de los usuarios una interfaz gráfica para programar la computadora cuántica, así como tutoriales y ejemplos para familiarizarse con el entorno de desarrollo.

La iniciativa fue un éxito. En apenas un año, se calcula que unos 40 000 usuarios de más de 100 países desarrollaron cerca de 300 000 algoritmos cuánticos para dicha computadora. Los algoritmos se verificaban primero en un simulador, para luego ejecutarse directamente en la computadora. Gracias a esta enorme cantidad de experimentos se puede validar que la IBM Q de cinco cúbits se comporta como debe y es capaz de realizar múltiples tareas. Todos salen ganando: los usuarios pueden utilizar una computadora que hasta entonces solo estaba al alcance de unos pocos laboratorios en el mundo, e IBM se beneficia del talento de miles de usuarios que diseñan algoritmos e impulsan de esta manera la computación cuántica.

Actualmente hay tres computadoras a disposición de los usuarios: otra igual de cinco cúbits y una tercera de 16. Al mismo tiempo, la comunidad no ha dejado de aumentar: el número de usuarios ha superado los 80 000, y se han ejecutado más de 14 millones de experimentos. Muchos de estos usuarios son investigadores que han compartido en artículos académicos su experiencia con esta herramienta. Profesores de universidad también están incluyendo ejemplos en sus temarios, una buena forma de introducir a los alumnos en este novedoso mundo. Todo ello está logrando que el campo crezca de forma espectacular y empiece a interesar a los más jóvenes. En sus manos está el futuro de la computación cuántica.



Investigadoras de IBM examinan los sistemas de enfriamiento de la computadora cuántica.

eficiencia, básicamente porque la computadora cuántica tiene que hacer menos operaciones que una clásica. Eso sí: los programas tienen que escribirse de forma especial, como algoritmos cuánticos.

Algoritmos cuánticos

El tiempo que tarda una computadora clásica en factorizar un número de n cifras —es decir, descomponerlo en un producto de números primos— crece exponencialmente con el número de cifras. Así, factorizar un número de 500 cifras requiere 100 millones más de operaciones que factorizar un número de 250 cifras. En 1994 el matemático estadounidense Peter Shor desarrolló un algoritmo cuántico que reducía notablemente el número de pasos a realizar. Gracias al algoritmo de Shor, un número de 500 cifras sólo necesita ocho veces más operaciones que un número de 250 cifras. El potencial de este algoritmo animó a muchos científicos a investigar las posibilidades de las computadoras cuánticas.

Uno de ellos fue el indio Lov Grover, quien estudió el problema de la búsqueda inversa: por ejemplo, dado un número de teléfono, buscar el nombre de usuario que le corresponde en el directorio telefónico. El problema directo —encontrar el número telefónico de un usuario— es muy fácil porque los nombres de los usuarios están en orden alfabético, pero la operación inversa requiere mucho más tiempo. Hay que buscar de uno en uno. En el peor de los casos, si por mala suerte el usuario que buscamos resulta ser el último de nuestra búsqueda, el proceso tomará tantos pasos como usuarios haya en el directorio. En 1996 Grover demostró que

una computadora cuántica podría realizar esa búsqueda, y otras parecidas en una base de datos, en una cantidad de pasos igual a la raíz cuadrada del número de entradas en la base de datos. Esto es lo que hoy se conoce como algoritmo de Grover.

Un tercer ejemplo es el problema del viajante, que consiste en hallar el camino más corto que pase por n ciudades. La dificultad del problema crece de forma exponencial con el número de ciudades. Basta considerar 20 para que las combinaciones posibles se disparen a sesenta mil billones (un seis seguido de 16 ceros). Este es uno de los llamados problemas de optimización que tanta importancia tienen en la organización de muchas actividades, desde encontrar la ruta óptima para el reparto de mercancías hasta mejorar la eficiencia del transporte público. Una computadora cuántica podría reducir notablemente el tiempo necesario para encontrar la solución a este tipo de problemas.

Hacia la supremacía cuántica

Así pues, ¿qué esperamos para construir una computadora cuántica? El principal obstáculo es que las propiedades cuánticas que hacen especiales a los cúbits (superposición y entrelazamiento) son muy frágiles, y desaparecen ante la más mínima interacción con el entorno. Dicho de otro modo, si los cúbits no están perfectamente aislados, la más mínima perturbación introducirá errores en los cálculos y alterará el resultado. Este efecto aumenta a medida que intentamos juntar un mayor número de cúbits, pues más difícil resulta conservar las condiciones cuánticas. Hasta 2017, el número máximo de cúbits que habían conseguido unir los científicos era 17.

En la actualidad se conocen muy pocas maneras de construir un cúbit. La técnica más extendida utiliza corrientes en circuitos de superconductores (materiales que no oponen resistencia al paso de la corriente eléctrica cuando su temperatura baja de un cierto valor crítico). Con el fin de trabajar con estos cúbits el mayor tiempo posible es necesario mantenerlos muy fríos, a temperaturas cercanas al cero absoluto, inferiores a las del espacio exterior. A la vanguardia de esta nueva tecnología se encuentran grandes empresas como IBM y Google. Estos gi-



Foto: IBM Research



Foto: IBM Research

gantes mundiales han sido noticia recientemente por dos hitos que nos acercan a las computadoras cuánticas comerciales.

El 18 de septiembre de ese mismo año, IBM publicaba la construcción de una computadora cuántica de 53 cúbits, casi el triple que su anterior computadora, que tenía 20. Al día siguiente, el 19 de septiembre, investigadores de Google anunciaban un logro histórico: la construcción de una computadora cuántica de 53 cúbits con la que habrían alcanzado la anhelada “supremacía cuántica” —es decir, resolver un problema que ninguna computadora clásica podría resolver en un plazo razonable—. El problema que atacó Google es comprobar que las cifras creadas por un generador de números aleatorios son verdaderamente aleatorias. Según los cálculos de Google, una supercomputadora tardaría 10 000 años en realizar los cálculos. La computadora cuántica de la compañía, llamada *Sycamore*, ejecuta el algoritmo en sólo 200 segundos.

El futuro

La supremacía cuántica supone un avance fundamental para la computación cuántica. Aunque el problema resuelto no tiene ninguna utilidad, es la primera vez que una computadora cuántica logra superar a una clásica. Es de esperar que en el futuro las computadoras cuánticas puedan utilizarse con otros fines más prácticos. Las simulaciones de sistemas complejos, como el nacimiento de una galaxia o la evolución del clima en nuestro planeta, alcanzarían un nivel de detalle único. Nuestro conocimiento de física de partículas o física atómica mejoraría gracias

a las simulaciones de fenómenos que obedecen las leyes de la física cuántica, como anticipó Richard Feynman. De hecho, una computadora cuántica que manejara 1 000 cúbits sería capaz de representar el estado de todo el Universo, lo que incluiría las posiciones y velocidades de las 10^{90} partículas que se calcula que contiene el Cosmos.

Pero la física no sería la única ciencia que se beneficiaría de las computadoras cuánticas. En química, la predicción de las propiedades de moléculas complejas podría mejorar el diseño de nuevos materiales para usarse en diversos campos como la energía o la salud. La biología, la ingeniería, la economía y la inteligencia artificial también se beneficiarían de la capacidad de cálculo de las computadoras cuánticas.

Para muchas de estas tareas específicas podrían bastar 100 cúbits, lo que no está mucho más allá de las computadoras de IBM y Google. Más lejos quedaría una computadora cuántica universal, capaz de resolver cualquier tarea, y que necesitaría al menos 500 cúbits. Es posible que haga falta para ello un gran salto tecnológico, similar al que supuso la invención del transistor para la computación clásica a finales de la década de 1940.

En realidad las computadoras cuánticas nunca desplazarán del todo a las clásicas. Nadie espera que una computadora cuántica sirva para consultar el correo electrónico o navegar por internet. A mediano plazo, sin embargo, es difícil predecir hasta qué punto serán capaces de cambiar el mundo que nos rodea. El futuro es esperanzador y seguro que nos depara muchas sorpresas. 🐼

Cables superconductores coaxiales.

MÁS INFORMACIÓN



- ¿Qué es la computación cuántica?, Descubriendo la Física: www.descubriendo.fisica.unlp.edu.ar
- Sáenz de Cabezón, Eduardo, *Derivando*, “¿Qué es y cómo funciona la computación cuántica?": www.youtube.com/watch?v=YpYuBEzfRIM
- Santaolalla, Javier, *Date un voltio*, “¿Qué son los ordenadores cuánticos?": www.youtube.com/watch?v=035rUtCPKWU

Daniel Martín Reina es físico y colaborador habitual de *¿Cómo ves?* Actualmente es miembro del grupo de Investigación de Instrumentación Electrónica y Aplicaciones de la Universidad de Sevilla, España. Escribe el blog de divulgación *La aventura de la ciencia*: <http://laaventuradelaciencia.blogspot.mx>



este espacio
ES TUYO

1 año de ¿cómo ves? **¡gratis!**

Escribe un texto para la sección “Aquí estamos”,
mándalo a comoves@dgdc.unam.mx
y **gana** una suscripción anual.

Bases

- 1 Podrán participar estudiantes en la República Mexicana con 14 a 25 años de edad.
- 2 Se aceptarán textos propios con una extensión de 200 a 350 palabras que relaten una anécdota o experiencia personal (real o ficticia) en torno a la ciencia y que contenga al menos una de las siguientes frases:
 - “de qué sirve entonces un laboratorio”
 - “por eso no soy supersticioso/a”
 - “científicos locos”
- 3 Los archivos de texto junto con tus datos (nombre, dirección y escuela) así como copia de tu credencial de estudiante deberán enviarse a comoves@dgdc.unam.mx antes del 2 de febrero del 2020.
- 4 De los textos recibidos ¿Cómo ves? seleccionará a cuatro ganadores. Las anécdotas de los autores ganadores serán publicadas en la sección “Aquí estamos” entre marzo y junio de 2020 y cada autor recibirá un año de suscripción gratis (con valor de \$350). Se dará a conocer el nombre de los premiados en la edición de marzo 2020.

 | **aquíestamos**

Más información en comoves@dgdc.unam.mx

Érica Torrens Rojas



Por J. William Cruz Castillo

PERSONALMENTE

En mi tiempo libre...

- Amo pasar tiempo con mis perros.
- Disfruto mucho del teatro.
- La fotografía es uno de mis pasatiempos preferidos.

“Cuando estudiaba la carrera visité las islas Galápagos y tuve la oportunidad de estar frente al ‘solitario George’, el último ejemplar de una especie de tortuga gigante, y al igual que Darwin hace siglos, quedé fascinada. En ese momento estuve segura de que quería dedicar mi vida a la biología”, señala Érica Torrens, miembro del Laboratorio de Estudios Sociales y profesora de biología evolutiva de la Facultad de Ciencias de la UNAM.

Durante un tiempo se dedicó a la biología de campo y en una maestría en biología marina estudió los arrecifes de coral. Posteriormente su interés en comprender cómo se construye el conocimiento científico, por ejemplo, por qué persisten errores conceptuales en diferentes esferas del conocimiento, la llevó a estudiar un doctorado en comunicación de la ciencia y en un tema poco estudiado en México: las representaciones visuales científicas (entendidas como imágenes, diagramas, dibujos y fotografías, entre otros). Erika comenta que su encuentro con estos temas se debió a que se encontró azarosamente con las personas adecuadas en momentos de crisis vocacional.

En 2018 publicó el libro *Los árboles de Darwin: árboles evolutivos en la cultura visual popular*, donde aborda el árbol de la vida como metáfora visual y su papel en la construcción del conocimiento evolutivo. Érica comenta que ese libro significó un punto importante en su carrera pues durante los cuatro años de doctorado que trabajó en ese tema tuvo la fortuna de participar en proyectos de investigación que la llevaron a algunos de los museos de histo-

ria natural más importantes del mundo, como los de Londres, Berlín, París y Nueva York y a acercarse a personalidades destacadas de la historia de la ciencia como la doctora Janet Browne, con quien realizó un posdoctorado en la Universidad de Harvard, Estados Unidos. Según Érica, a menudo damos por sentadas las cosas que sabemos o tenemos, y no nos detenemos a pensar cómo llegamos a ellas. De hecho, nos sorprendería la facilidad con la que muchas veces aceptamos algo sin cuestionarlo. Para ella el trabajo de los historiadores es importantísimo porque permite saber cómo se ha ido comprendiendo el mundo a través del tiempo.

Érica se siente a gusto con lo que hace y comprometida con su labor de guía y ejemplo para los estudiantes que está formando en la UNAM. Su compromiso se ve reflejado en su entusiasmo por elaborar proyectos de investigación que le permitan seguir estudiando la representación visual en la ciencia. Actualmente trabaja en el proyecto “Cultura visual científica: concepciones de raza y género en la enseñanza de la evolución biológica en la educación básica mexicana de 1970 a la actualidad”. En él pretende poner a discusión los contenidos visuales de diferentes materiales educativos que perpetúan estereotipos de roles de género y teorías raciales, lo cual puede producir actitudes negativas en los estudiantes como sentimientos de marginación, prejuicios raciales y de género, y conflictos ideológicos.

Érica extraña mucho bucear pero se siente feliz donde está y que sus dos hijos estén a su lado y le den ánimo e inspiración todos los días. Está orgullosa de contribuir con discusiones que le permiten reventar esa burbuja en la cual tenemos a la ciencia porque “al final nuestra percepción de ella determina nuestro quehacer científico”.

Retrato Arturo Orta / Fondo Shutterstock

[Poco más de] veinte años después

Por Antonio Ortiz

Otro coyote

Hace exactamente 21 años salió el número 1 de *¿Cómo ves?* y los retos se titularon "El coyote, el conejo y la supermosca". Desde aquel entonces muchísimas cosas

le han sucedido a estos 3 personajes. El coyote se había quedado aullándole a la Luna y comunicaba que estaba en celo y buscaba pareja; pues bien, la encontró y tuvo una camada de 6 crías.

Como en promedio los coyotes viven 6 años, esa coyota ya murió pero una de sus descendientes, cuando exploraba un bosque cercano a la ciudad de Monterrey, se cayó en una barranca al perseguir a un conejito descendiente de aquel primer conejo, y se rompió una pata. Tuvo la suerte de que por ahí iba pasando Rosa, estudiante de la carrera de Médico Veterinario Zootecnista, quien la recogió, la entablilló y la llevó a su casa.

Contrario a lo que dicen, Rosa logró domesticar a la coyotita y la guardó como mascota. Lo extraño es que la coyotita escuchaba las conversaciones entre los estudiantes que iban a la casa y aprendía sobre todo matemáticas. Así, un día Miguel, uno de los amigos de Rosa, les dijo a todos:



"La coyotita sabe sumar. Miren cómo dice sí o no con su cabeza si la respuesta está bien o mal", y les enseñó un papel donde estaba escrito:

$$\text{MIL} + \text{MIL} =$$

Rosa dijo: "Está muy fácil: son 2000", pero con la cabeza la coyotita indicó que no. Entonces Miguel dijo que la coyotita tenía razón y dibujó en el papel la respuesta correcta que es un número formado por 8 letras.

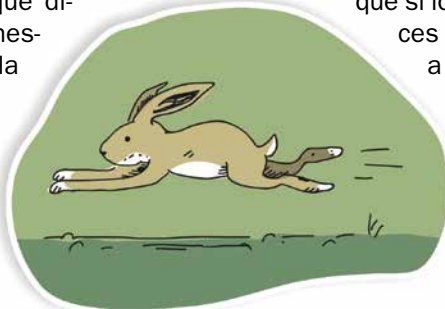
¿Qué número dibujó Miguel?

Otro conejo

El conejito, al enterarse de los poderes matemáticos de la coyotita que lo había perseguido, fue a buscarla a casa de Rosa y le volvió a plantear el mismo problema que su antecesor le había puesto a la tatarabuela de ella y que planteaba que con tantita ventaja que le diera, jamás lo podría alcanzar. La coyotita dijo que claro que sí lo alcanzaría. Entonces el conejito la retó

a una carrera pero justo cuando iban a comenzar llegó la supermosca del número 1 de *¿Cómo ves?*, que había sobrevivido al choque entre los trenes, y les

dijo: "Díganme cuántos años tengo yo si hace 5 años tenía el cuádruple de la edad que tenía mi hermana y den-



tro de 5 años tendré exactamente el doble de edad que tenga mi hermana?

¿Cuántos años tiene la mosca y cuántos su hermana?

La misma mosca

Total que la coyotita, el conejito y la supermosca se hacen amigos y la supermosca se los lleva volando con sus superpoderes a descansar a la sierra y ahí llegan a liberar a un pueblito de una banda de narcotraficantes que lo asolaba.

Si la mosca eliminó al triple de narcotraficantes que el conejito y este 5 menos que la coyotita que había eliminado a 5 más que la tercera parte de los que había eliminado la mosca, **¿a cuántos narcotraficantes eliminaron cada uno?**



SOLUCIONES AL NÚMERO ANTERIOR



De tortillas. 54 tortillas.

De rellenos. Beto tendría que haber metido la mano en la canasta que decía "Tacos de papa con chorizo y tacos de chicharrón en salsa verde", ya que sólo así, si el taco que salía era de papas con chorizo, entonces esa era la canasta de "papas con chorizo" y la que tenía el letrero de "Papas con chorizo" tendría que tener de los 2 tipos de tacos, ocurriendo algo semejante si el taco que saliera fuera de chicharrón en salsa verde.

De pesadilla. Cómo mínimo Simón soñó con 2 perros; 1 ciego y el otro no.