

LOS LOGROS MÁS IMPORTANTES

F. Alejandro Sánchez Flores
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos

Este año, además de haber sido el año internacional de la tabla periódica, pudimos presenciar un gran número de avances y descubrimientos científicos. Hay que recordar que estos avances y descubrimientos son el resultado de un trabajo acumulado que, en la mayoría de los casos, implica décadas de esfuerzo cuyos logros culminaron en este año, para algunos de estos proyectos. En esta que es la última entrega del año, mencionare algunos de los logros más representativos en ciertas áreas de la ciencia.

UNA IMAGEN DE ALTA RESOLUCIÓN DE UN AGUJERO NEGRO

En la opinión de muchos, este ha sido el logro más importante del año. La existencia de los agujeros negros ha sido corroborada de manera indirecta, gracias a la observación del movimiento de estrellas que orbitan cerca de ellos. Sin embargo, nunca se habían observado de manera directa ya que son regiones en el espacio con una concentración de masa lo suficientemente elevada y densa para generar un campo gravitatorio tal, que ninguna partícula material (ni siquiera la luz) puede escapar de ella. Estos objetos fueron predichos por la Teoría de la Relatividad General (1915) de Albert Einstein, la cual se ha confirmado mediante la detección de ondas gravitacionales. Tiempo después, Karl Schwarzschild encontró una solución a las ecuaciones de Einstein, donde un cuerpo pesado absorbería la luz. Se sabe ahora que el radio de Schwarzschild es el radio del horizonte de sucesos de un agujero negro que no gira, pero esto no era bien entendido en aquel entonces. En 1939, Robert Oppenheimer predijo que una estrella masiva podría sufrir un colapso gravitatorio y, por tanto, los agujeros negros podrían ser formados en el espacio. En 1967, Stephen Hawking y Roger Penrose probaron que los agujeros negros son soluciones a las ecuaciones de Einstein y que en determinados casos no se podría impedir que se crease un agujero negro a partir de un colapso. La idea de agujero negro tomó fuerza con los avances científicos y experimentales que llevaron al descubrimiento de los pulsares, de los cuales se ha escrito en otras publicaciones de esta columna (<http://www.acmor.org.mx/?q=content/jocelynbell-entre-la-poes%C3%ADa-y-la-ciencia>). Poco después, en 1969, John Wheeler acuñó el término "agujero negro" durante una reunión de cosmólogos en Nueva York, para designar lo que anteriormente se llamó "estrella en colapso gravitatorio completo". Entonces, a 104 años de dicha teoría de Einstein, se han logrado capturar las imágenes que muestran la sombra del agujero negro supermasivo, un anillo brillante, naranja y rojo, casi circular cuyo centro es negro (Figura 1). El 10 de abril de 2019, el consorcio internacional Telescopio del Horizonte de Sucesos (o *Even Horizon Telescope* [ETH] en inglés) presentó la primera imagen jamás capturada de un agujero negro supermasivo ubicado en el centro de la galaxia M87. Las fotografías

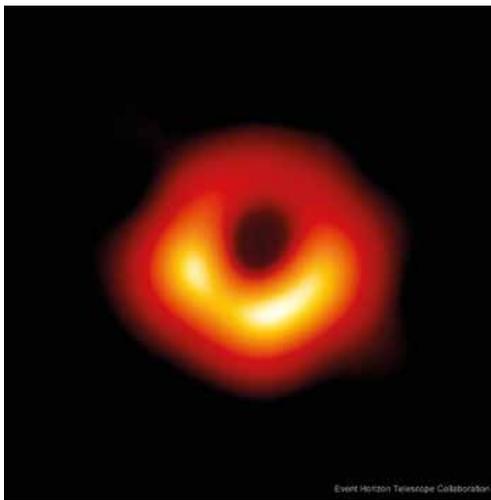


FIGURA 1. IMAGEN integrada del agujero negro en el centro de la galaxia M87. Tomada de <https://apod.nasa.gov/apod/ap190411.html>

fueron obtenidas por una red mundial de telescopios en la cual participa México con el *Gran Telescopio Milimétrico* "Alfonso Serrano" ubicado en el pico de Orizaba. Los datos recopilados de las antenas ubicadas en los diferentes continentes, fueron procesados por diferentes supercomputadoras para así obtener una sola imagen.

Fue el profesor Heino Falcke, de la Universidad Radboud en Holanda, quien propuso originalmente el experimento de capturar la imagen de un agujero negro y que, en este caso, lograron capturar la fotografía de uno cuya masa equivale a 6.500 millones de veces la del Sol. Falcke tuvo la idea de combinar telescopios para obtener una imagen de un agujero negro cuando era estudiante de doctorado en 1993 y fue el primero en percibir que gracias a que se genera una cierta emisión de radio cerca de y en torno a un agujero negro, sería posible detectarla por telescopios en la Tierra. Falcke también recordó que, en un estudio científico de 1973, mencionaba que los agujeros negros aparecían 2.5 veces más grandes que su tamaño real debido a su enorme gravedad. Gracias a estos dos factores, fue posible realizar lo que se consideraba imposible. Durante dos décadas, se buscó el financiamiento para este proyecto hasta que finalmente el Consejo de Investigaciones Europeo, la Fundación Nacional de Ciencia de Estados Unidos y agencias en el este de Asia, se sumaron a la iniciativa que requirió más de \$50 millones de dólares.

Algo importante de mencionar es que la cantidad de datos generados fue tal, que se requirió enviar toda la información de manera física (en discos duros de computadora) para su procesamiento (Figura 2) en Boston (E.E.U.U.) y Bonn (Alemania). Además del poder de cómputo necesario para la integración de dicha información para generar la foto del agujero negro, el trabajo fue posible gracias al algoritmo desarrollado por Katherine Bouman, cuyo trabajo consiste en desarrollar nuevos sistemas para formación de imágenes por computadora.

Katherine forma parte del proyecto ETH y su algoritmo llamado *Continuous High-resolution Image Reconstruction using Patch priors* (CHIRP) fue una pieza clave para la reconstrucción de la imagen de un agujero negro.

CÓMPUTO E INTERNET CUÁNTICO

Una computadora convencional maneja información codificada en bits de manera binaria, esto es usando 0 y 1. Ahora, una computadora cuántica usa *cúbits* o bits cuánticos, que se pueden establecer en algún valor entre 0 y 1 o incluso, en ambos a la vez. Esta es la gran diferencia entre el cómputo mecánico y el cuántico. Para ciertos problemas, las posibles soluciones pueden ser representadas por diferentes ondas cuánticas representadas como cúbits. Debido a que el sistema explora una gran cantidad de posibles soluciones a la vez, una computadora cuántica completa podría factorizar grandes cantidades mucho más rápido que las computadoras convencionales. Para esto, es necesario hacer uso de materiales superconductores para poder construir el "hardware" que integra una computadora cuántica. Recientemente, la compañía IBM presentó su primer computador cuántico para uso comercial.

El *System One* combina tanto computación cuántica como "tradicional" para ofrecer un sistema de 20 cúbits para utilizar en investigaciones y grandes cálculos. Por otro lado, investigadores de la compañía Google dicen haber dado un paso clave hacia una computadora cuántica usando un chip que contiene 53 cúbits hechos de pequeños circuitos de metal superconductor (Figura 3). Al realizar pruebas, se demostró que la computadora cuántica calculó en 200 segundos algo que tomaría una supercomputadora 10,000 años en descubrirse, dice el equipo. Sin embargo, los investigadores de IBM argumentaron que, usando el algoritmo correcto, una supercomputadora actual podría resolver la misma prueba en tan solo 2 días y que por lo tanto, las estimaciones de los investigadores de Google no son correctas. A pesar de que aún está en vías de desarrollo el cómputo cuántico, podemos considerar que es una realidad y que posiblemente presenciaremos una batalla por la "supremacía cuántica" entre las grandes compañías de cómputo. Mientras tanto, seguiremos a la espera de un producto comercial que re-

volucione al mundo. Por otro lado, el *net cuántico*, que las computadoras cuánticas podrán superar en velocidad y eficiencia, ya se mencionó en un artículo anterior. Hay científicos que creen que la computación cuántica basada en fotones, más que en electrones, será más fácil de hacer y que permitirá interactuar con sistemas cuánticos de manera más sencilla. Hay que recordar que, ya que los cúbits pueden estar entrelazados, es posible que se puedan hacer cosas que no se pueden hacer con un sistema clásico. Hay empresas que ya están trabajando en esto. Como ejemplo, el envío de información de manera segura a través de la criptografía cuántica, ya se ha realizado en algunos países. En los próximos meses, se espera que se realice la primera transmisión de información segura a través de un satélite cuántico.



FIGURA 2. KATHERINE Bouman y los discos duros que contienen la información para el procesamiento de la primera imagen del agujero negro. Tomada de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-47880446>



ESTA PUBLICACIÓN FUE REVISADA POR EL COMITÉ EDITORIAL DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS

Para actividades recientes de la academia y artículos anteriores puede consultar: www.acmor.org.mx
¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTACTANOS: editorial@acmor.org.mx

Lecturas recomendadas

<https://vis.sciencemag.org/breakthrough2019>
<https://www.bbc.com/mundo/noticias-47880446>
<https://bestlifeonline.com/scientific-breakthroughs/>
<https://www.bbc.com/mundo/noticias-41605>



EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL 2019

ando próximamente. Enemigos del desarrollo del internet está ligado al desarrollo de las cuánticas. Si se logra que cuánticos se comuniquen entre sí, su potencia para crear una red cuántica. Con la internet cuántica se podrán enviar mensajes a una velocidad antes experimentada. Como se ve, se están construyendo computadoras de distintos tipos, utilizando estrategias como el uso de iones atrapados o cúbits. La idea es favorecer la creación de internet completamente en partículas de información que otros creen que es imposible. Las redes cuánticas en las que se trabaja con la materia. Sin embargo, una de las aplicaciones más importantes de internet cuántica es el sistema de clave cuántica (QKD por sus siglas en inglés), mediante el cual se genera una clave secreta usando un par de fotones. Esta idea se remonta a 1970, cuando Wiesner propuso que la información se codificara en cúbits. Wiesner cree que no se pueden medir las propiedades de un cúbit sin modificarlo, es imposible obtener exactas del mismo, por lo que es posible extraer información del sistema detectado. Desde hace tiempo, los científicos se dedican a la investigación de las tecnologías cuánticas. En Suiza, por ejemplo, el recuento de votos en las elecciones de Ginebra se protege con criptografía cuántica, al igual que la comunicación de los bancos suizos con sus clientes. Sin embargo, existen limitantes para el uso de internet, ya que el uso de internet tiene un límite de distancia. Una forma de superar la limitación de los sistemas de fibra óptica serían los repetidores cuánticos a los amplificadores que la fibra óptica. Otra opción es el uso de dispositivos terrestres y comunicaciones vía satélite. Ya se han hecho algunos experimentos que envían fotones a un satélite y regresan, paso previo a que la tecnología cuántica pueda distribuirse en cualquier rincón del planeta. En 2017, China puso en órbita el satélite Micius (Figura 4) que podrá transmitir información del espacio y con esto realizar

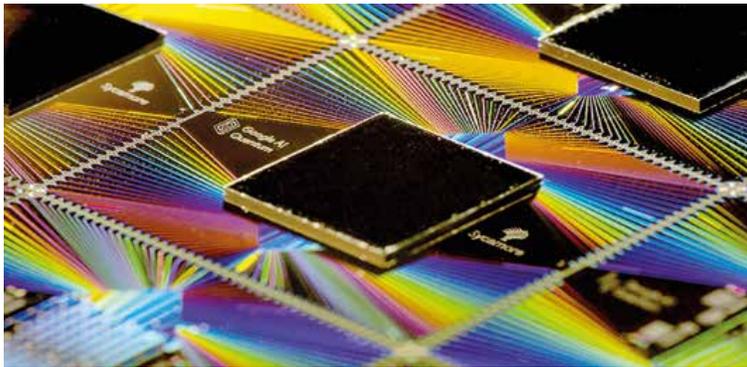


FIGURA 3. IMAGEN de un arreglo de procesadores cuánticos de Google. Tomada de <https://vis.sciencemag.org/breakthrough2019/finalists/#Quantum-supremacy>

las primeras pruebas de comunicación cuántica. Con esto, China se pone a la cabeza en la carrera por el liderazgo de la comunicación cuántica, que posiblemente veamos desarrollarse en los siguientes años. Si el internet cuántico llega a ser una realidad, en un futuro no muy lejano, podremos navegar con la certeza de que nadie pueda saber lo que estamos haciendo, con lo que se podría alcanzar algo que hoy es muy difícil, que es tener absoluta privacidad.

den solucionar algunos problemas para ciertos clientes. Las cadenas de ADN son pequeñas y difíciles de manejar, pero las moléculas biológicas pueden almacenar otros datos además de los genes que rigen todos los procesos biológicos en los seres vivos. Su tecnología de relativo bajo costo, podría ser una solución comercial en un futuro próximo. Con su primera máquina prototipo, se puede codificar un Terabit completo por día y para 2022, la compañía espera poder

FIGURA 4. IMAGEN del satélite cuántico puesto en órbita por China. Tomada de <https://www.nature.com/news/chinese-satellite-is-one-giant-step-for-the-quantum-internet-1.20329>



ALMACENAMIENTO DE INFORMACIÓN USANDO ADN

Si bien el desarrollo de la ciencia y la tecnología resuelve muchos problemas, también genera otros que deben ser resueltos para continuar con el avance. Uno de ellos es el volumen de información y su almacenamiento (el problema del Big Data). Una alternativa reciente para solucionar este problema es el uso de la molécula de ADN para codificar información y que sobrepase los límites de los dispositivos actuales de almacenamiento digital. Se predice que para el año 2040, el almacenamiento de datos consumirá 10 a 100 veces el suministro esperado de silicio de grado microchip, si se sigue utilizando la tecnología actual, por lo que es necesaria una alternativa para el almacenamiento de datos. El ADN es aproximadamente un millón de veces más denso en información que las unidades de memoria portátiles actuales. También es más estable, más seguro y utiliza un mínimo de energía. Este año, la compañía CATALOG anunció que lograron codificar toda la información (en inglés) de la Wikipedia disponible hasta ese momento, en una molécula sintética de ADN. La hazaña fue lograda utilizando una "máquina de escribir" de ADN (Figura 5), con la cual preten-

umentar eso a un Petabit, que representaría una mejora de 1000 veces. Con esto se tendría una solución muy competitiva para el almacenamiento de archivos, como registros médicos o legales, así como el almacenamiento de bases de datos de películas en estudios de cine.

Estos logros, son solo algunos ejemplos de lo que se consigue gracias a la investigación científica, que es una carrera de largo aliento. El lograr algo que se consideraba imposible como la imagen de un agujero negro, es el resultado de un trabajo que comenzó con teorías formuladas hace más de 100 años. A su vez, los avances tecnológicos y en particular los de las tecnologías del cómputo y el internet cuántico, podrían revolucionar el mundo y cambiar el paradigma de la información digital. Incluso, alternativas como el uso de moléculas, nos permitirían migrar el mundo digital a nuevos modelos que utilicen moléculas biológicas. Sin embargo, aún hay mucho trabajo que hacer por lo que es importante seguir apoyando la ciencia no solo en nuestro estado, sino en el país y en el mundo entero.

La Academia de Ciencias de Morelos les desea a todos un Feliz Año 2020 y agradece a La Unión de Morelos por el espacio ininterrumpido para la publicación de esta columna. Sobre todo, agradece a los lectores que siguen esta columna en la cual se trata de cumplir con el compromiso moral que tienen los científicos con la sociedad.

Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses convencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos. Desde la Academia de Ciencias de Morelos externamos nuestra preocupación por el vacío que genera la extinción de la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología dentro del ecosistema de innovación estatal que se debilita sin la participación del Gobierno del Estado.

FIGURA 5. "MÁQUINA de escribir" de ADN de la empresa CATALOG. Puede escribir hasta 4 Megabits por segundo. Tomada de <https://www.cnet.com/news/startup-packs-all-16gb-wikipedia-onto-dna-strands-demonstrate-new-storage-tech/>

