

PLAGIO
¿COINCIDENCIA O ROBO?

MATEMÁTICAS
SEMILLERO DE CIENTÍFICOS

CRISPR-CAS9

ARREGLOS A LA MEDIDA



Cinvestav

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN

Vol. 2 No. 2
Diciembre 2016-Febrero 2017
México

REVISTA DE DIVULGACIÓN DEL CINVESTAV



VISITA NUESTRA PÁGINA WEB
avanceyperspectiva.cinvestav.mx

síguenos en nuestras redes sociales



RevistaAvanceyPerspectiva



@revistaayp



revista@cinvestav.mx



AvanceyPerspectiva



CONTENIDO

EL ORIGEN DE UN TRASTORNO/ ESTRELLA SIMILAR AL SOL	04	28	CRISPR-CAS9: ARREGLOS A LA MEDIDA
SHAKESPEARE APOYA A NIÑOS AUTISTAS/ LOS CUATRO TIPOS DE PERSONALIDAD	05	32	EL PODER DE LA EDICIÓN GENÓMICA
CINVESTAV-UNESCO POR LA SEGURIDAD ALIMENTARIA	06	35	ENTREVISTA A STEFAN DE FOLTER 'MUTACIONES AL AZAR QUEDARON ATRÁS'
DIVERSIDAD VS PLAGAS	07	38	FASES EXÓTICAS DE LA MATERIA
¿COINCIDENCIA O ROBO DE IDEAS?	08	40	MÁQUINAS A ESCALA MOLECULAR
EL PLAGIO CIENTÍFICO	12	42	EL MUNDO DEL AUTOCANIBALISMO CELULAR
ROMPEN RÉCORD CRIPTOGRÁFICO	16	44	ENTRE LA POLÉMICA Y LA INCRECULIDAD
DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS SEMILLERO DE GRANDES CIENTÍFICOS	18	46	UN RAYO DE LUZ CONTRA LA DEPRESIÓN ESTACIONAL
JOSÉ ÁDEM PASIÓN POR LA TOPOLOGÍA	22	50	MUNDO DE LOS ELECTRONES EN CELDAS SOLARES
LA INFLUENCIA DE SAMUEL GITLER	24	55	EL LADRÓN DE CEREBROS ATACA DE NUEVO
EL GENIO DISCRETO DE LAS MATEMÁTICAS CONTINUAS	26	56	CERVANTES Y SHAKESPEARE: DE LAS ESTRELLAS AL <i>BIG DATA</i>

DIRECTORIO CINVESTAV

José Mustre de León

Director General

Gerardo Herrera Corral

Secretario Académico

José Luis Leyva Montiel

Secretario de Planeación

Jesús Corona Uribe

Secretario Administrativo

Revista AyP

Gerardo Herrera Corral
Editor

Efrén Díaz Millán
Fotografía

Ricardo Cerón Plata
Coordinador editorial

Víctor Durán Mejía
Diseño editorial

Luisa Miranda Barbotó
Redacción

Josefina Miranda López
Asistente secretarial

Víctor Juárez Lomán
Apoyo en redacción

Ana Isabel Sacristán Rock
Ana Lorena Gutiérrez Escolano
Carlos Chimal

Wendolin Collazo Rodríguez
Héctor de la Peña Durán
Guillermo Cárdenas Guzmán
Reporteros

Eduardo Santillan Zeron
Eugenia Roldán Vera
Gabriela Olmedo Álvarez
José Gordon

Elizabeth Licona González
Infografía y portada

Pablo Boullosa
Roberto Muñoz Guerrero
Consejo editorial

<http://avanceyperspectiva.cinvestav.mx>
revista@cinvestav.mx



Avance y Perspectiva, Vol. 2, No. 2, diciembre 2016-febrero 2017, órgano oficial de difusión trimestral editado por el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav). Av. Instituto Politécnico Nacional No. 2508, Col. San Pedro Zacatenco, Delegación Gustavo A. Madero, C.P. 07360, D.F., Tel. 55-57473800, www.cinvestav.mx, revista@cinvestav.mx, Editor Responsable: Gerardo Herrera Corral, Reserva de Derechos al uso exclusivo: 04-2014-021912420000-203, Número ISSN en trámite ante el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Cinvestav, a través de Víctor Juárez Lomán. Av. Instituto Politécnico Nacional No. 2508, Col. San Pedro Zacatenco, Delegación Gustavo A. Madero, C.P. 07360, Ciudad de México, fecha de última modificación, 20 de noviembre de 2016. Los contenidos de los artículos y reseñas publicados son responsabilidad exclusiva de los autores y no representan necesariamente la opinión de los editores, ni de la institución. Servicio de imágenes por Shutterstock. Prohibida la reproducción parcial o total del contenido, por cualquier medio, sin la autorización expresa de los autores.



EDITORIAL

GERARDO HERRERA CORRAL

EDITOR

gherrera@fis.cinvestav.mx

Este es el último número de la revista *Avance y Perspectiva* de 2016. Cerramos con broche de oro dedicándolo a uno de los cuatro departamentos fundadores, el de Matemáticas. El ejercicio desarrollado a lo largo de este año, ha permitido dar una perspectiva más amplia de los orígenes del Cinvestav, así como de quienes ayudaron a cimentarlo, la relevancia que tuvieron en la investigación y las escuelas que crearon. Por ello, en el marco del 55 aniversario de nuestro Centro fue que hicimos, amén del que incluimos ahora, un recuento histórico por los departamentos de Fisiología, Física e Ingeniería Eléctrica.

En el volumen que hemos preparado incluimos reportajes, artículos y entrevistas con expertos en la edición genética, quienes, desde un punto de vista especializado, nos explican la novedosa herramienta conocida como CRISPR, que durante mucho tiempo seguirá siendo una fuente inagotable de investigaciones y noticias. La cobertura está aderezada, desde luego, por un toque controversial infaltable en el tipo de avance científicos que, como éste, caminan en el borde de los dilemas éticos.

También hablamos del plagio pues, al ser injustificable en cualquiera de sus formas, se ha convertido en otro tema medular para la academia, especialmente para un centro de investigación como el que nos alberga. Siendo así, se analizan casos que han incurrido en esos problemas en distintas expresiones artísticas como la pintura, el cine o la arquitectura, en tópicos más espinosos como la política, y en los que nos atañen de primera mano, como son la academia y la ciencia.

Continuamos con la tradición de comentar los Premios Nobel. Casi cualquier portal de noticias menciona a los ganadores en las distintas categorías pero *Avance y Perspectiva* llega más allá. En *AyP* publicamos el análisis de un experto en cada tema, quien describe el motivo por el que el galardón fue entregado, dejando plasmada la opinión de un especialista en el ramo.

Incluimos, también, dos temas más: la continuación de una colaboración acerca de celdas solares y, aprovechando la coyuntura con las fiestas decembrinas, otro en el que se expone la relación entre la época invernal y la depresión, enfermedad que, por cierto, se ha convertido en uno de los males que cada vez más personas adolecen en la sociedad moderna.

Así pues, este número es redondo, culmina el año con un cierre fantástico lleno de temas polémicos que promueven la discusión, que es, recordemos, uno de los efectos más interesantes que tiene la investigación y la divulgación científica. ☺

EL ORIGEN DE UN TRASTORNO

Durante décadas, los neurólogos han tratado de llegar al fondo del misterio ancestral del Trastorno de Estrés Postraumático (TEPT), para explicar por qué sólo algunas personas son vulnerables y presentan síntomas.

El TEPT se desarrolla después de ver o vivir eventos impactantes y se expresa en miedo posterior a un estímulo, por ejemplo, un ruido fuerte, aun cuando esté en un lugar seguro. Hasta ahora los expertos coinciden en que tiene sus raíces en procesos reales y físicos en el cerebro, y no en algún tipo de debilidad psicológica.

En un artículo publicado en la revista *Neuron*, Israel Liberzon y James Abelson, de la Escuela de Medicina de la Universidad de Michigan, explican que las personas con TEPT parecen sufrir una interrupción en la comunicación de la región del hipocampo con la corteza prefrontal y la amígdala.

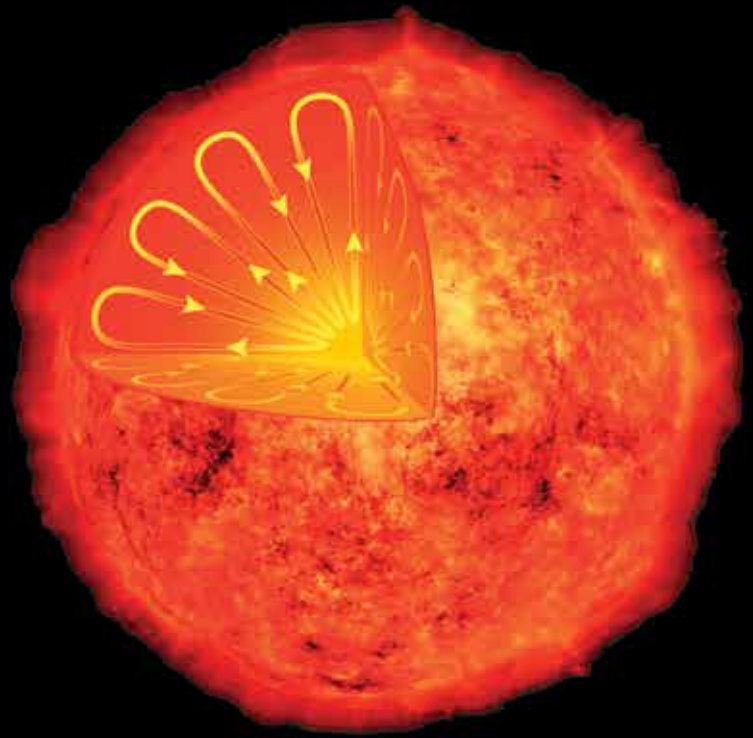
El equipo científico piensa que su teoría puede unificar amplia evidencia, al mostrar cómo una interrupción en este circuito puede interferir con el procesamiento de contexto y explicar la mayoría de los síntomas, y gran parte de la biología de este trastorno.

“Esperamos poner un poco de orden a toda la información que ha sido recopilada sobre Trastorno de Estrés Postraumático a partir de estudios de pacientes humanos y modelos animales de la enfermedad”, señala Israel Liberzon.

Los investigadores revelan que si esta hipótesis resulta cierta, tal vez se puedan desentrañar algunos de los procesos fisiopatológicos subyacentes, y ofrecer mejores tratamientos. 



Ilustración: Itzel Citlalli García



ESTRELLA SIMILAR AL SOL

Aunque la estrella más cercana a nuestro sistema solar, Próxima Centauri tiene una masa diez veces más pequeña y una luminosidad mil veces menor en comparación con las del Sol, ambos cuerpos celestes presentan grandes similitudes en un aspecto: un ciclo regular de manchas en su superficie.

Así lo señala un estudio realizado por expertos del Centro de Astrofísica Harvard-Smithsonian en Cambridge Massachusetts, Estados Unidos, quienes detectaron en dicha estrella un ciclo de actividad de manchas de siete años de duración, muy parecido al que experimenta el Sol.

El ciclo de actividad de las manchas solares (zonas de menor temperatura que la de los alrededores, provocadas por fluctuaciones de los campos magnéticos) dura aproximadamente 11 años en nuestra estrella. En su punto más bajo la superficie casi está libre de manchas, mientras que en su pico unas 100 cubren el uno por ciento de esa área.

El equipo liderado por Brad Wargelin encontró que el ciclo en Próxima Centauri (localizada a poco más de cuatro años luz del Sol) dura unos siete años, pero en ella las fluctuaciones son mucho más dramáticas que en el astro rey, pues al menos una quinta parte de su superficie queda cubierta por las manchas.

“La existencia de un ciclo en Próxima Centauri demuestra que aún no comprendemos del todo cómo se generan los campos magnéticos en las estrellas”, expresa el investigador Jeremy Drake, coautor del estudio.

La investigación no abordó el problema de cómo este ciclo de actividad podría afectar la habitabilidad potencial del exoplaneta Próxima b, que orbita aquella estrella, el cual fue descubierto en agosto pasado. 

Fotografía: Centro de Astrofísica Harvard-Smithsonian

SHAKESPEARE APOYA A NIÑOS AUTISTAS

Se ha demostrado que las obras de William Shakespeare, además de ser un ícono de la cultura mundial, también ayudan a que los niños con autismo tengan mejoras en sus habilidades sociales y de comunicación.

Un estudio publicado en la revista *Investigación, Práctica Intelectual y Discapacidades del Desarrollo*, muestra que los versos del escritor estimulan la capacidad cognitiva y comunicativa de menores con dificultades de aprendizaje.

Marc. J Tassé, líder de la investigación del Centro Médico Wexner de la Universidad de Ohio, Estados Unidos, menciona que este método llamado *Hunter Heartbeat*, basa su técnica en el ritmo de la métrica que empleaba Shakespeare, la cual recrea el sonido de las palpitaciones del corazón, propiciando que los niños se sientan más seguros. Además, las expresiones faciales y las voces exageradas, clásicas de este tipo de obras, son idóneas para facilitar la comunicación, asegura.

Cada sesión del *Heartbeat* inicia con los niños en silencio sentados en el suelo en círculo, colocando la mano sobre su pecho. Esto les permite tiempo para adaptarse al nuevo entorno. Posteriormente los facilitadores llevan a los niños a través de una serie de juegos basados en la trama de la obra de teatro *La Tempestad*, que se centran en actividades tales como las habilidades de reconocimiento facial, contacto visual y la imitación afectiva. 



Fotografía: INBA

LOS CUATRO TIPOS DE PERSONALIDAD

Un estudio acerca del comportamiento, realizado por investigadores de la Universidad Carlos III de Madrid, en colaboración con las universidades de Barcelona, la Rovira i Virgili de Tarragona y la de Zaragoza, reveló que 90 por ciento de la población puede clasificarse en cuatro tipos básicos de personalidad: optimista, pesimista, confiado y envidioso.

La investigación publicada en la revista *Science Advances* indicó que, de la población analizada en el estudio, los envidiosos constituyen el grupo mayoritario con un 30 por ciento, y son aquellos a los que no les importa la ganancia obtenida, siempre que sea superior a los demás, seguido por el grupo de los optimistas con un 20 por ciento, y son quienes deciden pensando que el otro va a escoger lo mejor para ambos.

Con el mismo porcentaje se situaron los pesimistas que son quienes eligen la opción menos mala porque creen que el otro le fastidiará y también con



Ilustración: Milton David Cruz

un 20 por ciento el grupo de los confiados, quienes cooperan siempre, son colaboradores natos, a los que les da igual ganar que perder.

En concreto, el trabajo desarrollado se enmarca en la Teoría de juegos, una rama matemática con aplicaciones en sociología o economía, que examina el comportamiento de las personas cuando tienen que tomar decisiones ante un dilema, con distintas consecuencias en función de lo que elija también la otra parte implicada.

"A esas personas se les pidió jugar por pares, que cambiaban en cada ronda, pero además cada vez el juego era distinto, es decir, podía ser lo mejor cooperar con el otro, o hacer lo contrario que el otro, o traicionarlo... De esta manera tenemos datos de lo que hacen en situaciones sociales muy diferentes", explica uno de los autores del estudio, Anxo Sánchez, catedrático de la Universidad Carlos III de Madrid. 



CINVESTAV-UNESCO POR LA SEGURIDAD ALIMENTARIA

Expertos estiman que para 2050 habrá más de 9 mil millones de personas en el mundo y alimentarlas, sin que la producción de comestibles y la agricultura generen problemas ambientales, será un reto difícil de vencer.

Ante esta situación y en el marco de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav) y la oficina en México de la Organización de Naciones Unidas, para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco), reunieron a expertos de diversas disciplinas, como la arqueología, antropología, migración, procesos paleoclimáticos, historia, genética, entre otras, para analizar retos y oportunidades en la producción de alimentos, la conservación de ecosistemas y la salud pública.

Jean-Philippe Vielle-Calzada, investigador de la Unidad de Genómica Avanzada (UGA) del Cinvestav, explicó que en el foro “El origen y la evolución de la producción de los alimentos y su impacto en los patrones de consumo”, se reconoció la importancia de profundizar en estudios que permitan establecer vínculos evolutivos entre las sociedades cazadoras-recolectoras actuales y pasadas; en la genética de las migraciones humanas en Mesoamérica y en el establecimiento de las asociaciones mutualistas de plantas y microorganismos que dieron lugar a la milpa y su diversidad biológica.

Otro tópico importante será el tomar en cuenta el conocimiento indígena y campesino tradicional, así como el ecológico, en el marco de estudios interdisciplinarios que puedan combinar tecnologías y estrategias de vanguardia a nivel científico, incluyendo la naciente “ciencia ciudadana”, que involucra la participación de cualquier persona en la colecta y análisis de datos, a través de plataformas virtuales e internet.

Aseguró que es a partir de foros y de estudios multidisciplinarios que incluyan investigaciones

arqueológicas, antropológicas y genómicas, como se generarán oportunidades concretas para que Cinvestav encabece proyectos interinstitucionales que ofrezcan una visión más completa sobre el pasado, presente y futuro de la producción de alimentos en el planeta, tomando a México y Mesoamérica como caso de estudio.

El foro Cinvestav-Unesco se concentró en el país, en reconocimiento a la diversidad biológica, humana y cultural que tiene, y como un elemento integrador de lo que podría ser un estudio contemporáneo de la evolución y producción de alimentos, explicó Vielle-Calzada.

México posee distintos ecosistemas donde coexisten especies con extensa variabilidad genética, que en gran parte es exclusiva de la nación. De hecho, aquí se encuentra el 12 por ciento de la diversidad biológica conocida del planeta. Junto con China, India, Brasil, Colombia, Ecuador, Estados Unidos y Perú, nuestro país es considerado uno de los 17 llamados “megadiversos”.

En el encuentro multidisciplinario se exploraron preguntas desde un ámbito integrativo sobre las relaciones de los seres humanos en su entorno, con una perspectiva histórica, “en una región que tiene más de 12 mil años de historia en la domesticación de cultivos como el maíz, frijol, chile, calabaza, tomate, cacao, agave y vainilla, todos surgidos del territorio nacional”, señaló el investigador del Cinvestav.

Los especialistas reconocieron la importancia de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible establecida por la ONU, como una plataforma que permite enfocar la dimensión histórica que requiere la investigación en materia de origen y evolución de la producción de alimentos, y su impacto en los patrones de consumo. 

(Wendolin Collazo)

El foro se centró en el reconocimiento a la diversidad biológica, humana y cultural de México

DIVERSIDAD vs PLAGAS

Investigadores de la Universidad Estatal de Michigan encontraron que una mayor diversidad de plantas en un campo proporciona mayor protección contra insectos. En el artículo publicado en la revista *Nature*, se reveló que los insectos tienen un nivel de nutrición estrecho, por lo que si se alimentan de plantas demasiado ricas o pobres en nutrientes, son menos propensos a prosperar. 🐛



Fotografía: Universidad Estatal de Michigan

¿COINCIDENCIA O ROBO DE IDEAS?

Existen diversas versiones del pasaje y todas coinciden. En cierta ocasión Dolores del Río invitó a sus amigos a la proyección de la película *Flor Silvestre*, dirigida por Emilio "El Indio" Fernández en 1943, con fotografía de Gabriel Figueroa, de la que fue protagonista. Sobre esa ocasión la revista *Luna Córnea* número 32 de 2008 ofrece una confesión del fotógrafo: "A mí me tocó (¡esas casualidades!) estar sentado junto a José Clemente Orozco. Hay una escena del exterior de un velorio en la que se ve una puerta al fondo, algunos cirios, algunas personas. Cuando salió esa parte, Orozco se enderezó un poco reconociendo alguna paternidad en eso y le dije: —Maestro soy un ladrón honrado. Eso es una copia de la acuarela que usted tiene que se llama *El réquiem*. —Pues sí, algo reconocí, pero me llama la atención la perspectiva, y sobre todo la transparencia que esto tiene, que no llega a un fondo y se detiene, sino que sigue. Necesita usted invitarme a verlo trabajar para ver cómo logra la perspectiva".

La anécdota podría parecer un elemento divertido sobre la interacción de las disciplinas artísticas y culturales durante la primera mitad del siglo XX en México. Al observar con mayor detenimiento se puede identificar que el cineasta se inspiró en la obra del pintor; aunque el hecho no generó ningún reclamo, fue un incidente emblemático donde no se respetó el derecho de autor de la idea original.

Un episodio parecido se presentó a finales del siglo XIX, entre Auguste Rodin y su discípula Camille Claudel. Ocurrió que la joven, al trabajar como aprendiz en el taller de Rodin desarrolló habilidades plásticas parecidas a las del maestro, que expresaba en su propia obra. Al respecto, en noviembre de 2007, Ángeles García escribió en el diario español *El País* "Camille dejó escrita en su correspondencia de la época que él se aprovechaba de ella, que las obras que presentaba como propias eran producto de su talento menospreciado".

El plagio ha estado presente desde tiempos remotos, por ejemplo, Rosalía Quiroz Papa de García en su artículo *Sanción al plagio de obras literarias en el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y Protección de la Propiedad Intelectual (Indecopi) en Perú*, menciona que pensadores clásicos como



Grabado: *El réquiem* (1928) José Clemente Orozco

"Platón, Aristóteles y otros fueron acusados de robo o apropiación de obras ajenas".

Además, sostiene: "Platón, en una conocida anécdota que circuló en la Antigüedad en diferentes versiones, fue acusado de plagiar al mismo Pitágoras, después de haber adquirido un texto de Filolao (discípulo de aquél) mediante el pago de diez mil denarios". A la fecha el plagio es un fenómeno social, académico, jurídico, político y cultural que afecta todos los ámbitos del conocimiento.

El Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española define plagio como: "Acción y efecto de plagiar (II copiar obras ajenas)". Para plagiar dice: "Copiar en lo sustancial obras ajenas, dándolas como propias". De forma parecida, el Diccionario de la Academia Mexicana de la Lengua establece: "Copia o presentación de una idea ajena como si fuera propia" y remata "El plagio es un delito".

Gabriel Figueroa fue el fotógrafo cinematográfico más representativo de la época de oro del cine mexicano, proponiendo una estética cuya base fue el trabajo de los muralistas

"A mí me tocó estar sentado junto a José Clemente Orozco. Hay una escena del exterior de un velorio en la que se ve una puerta al fondo, algunos cirios, algunas personas. Cuando salió esa parte, Orozco se enderezó un poco reconociendo alguna paternidad en eso y le dije: —Maestro soy un ladrón honrado". Gabriel Figueroa



Fotograma: Película *Flor Silvestre* (1943)

Al tipificarse como delito, el plagio en México se limita por la Ley Federal del Derecho de Autor, porque regula "la salvaguarda y promoción del acervo cultural de la Nación; protección de los derechos de los autores, de los artistas, de los intérpretes o ejecutantes, así como de los editores, de los productores y de los organismos de radiodifusión, en relación con sus obras literarias o artísticas en todas sus manifestaciones, sus interpretaciones o ejecuciones, sus ediciones, sus fonogramas o videogramas, sus ediciones, así como de los otros derechos de propiedad intelectual", aunque no haga referencia textual a la palabra.

El plagio es un fenómeno que se ha extendido por todo el orbe y afecta a la creación artística, cultural, académica y científica. En el ambiente académico uno de los casos más sonados en el país fue el de Boris Berenzon Gorn, entonces profesor del Colegio

de Historia de la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM, destituido en 2013 por su consejo técnico.

La imputación de plagio contra el académico fue realizada por Juan Manuel Aurrecoechea en una carta enviada al entonces rector José Narro, donde da cuenta de la apropiación de su obra *Puros Cuentos: historia de la historieta en México, 1874-1934*. Los diarios del momento informaron que miembros del consejo comprobaron plagio en más de seis ensayos publicados por Berenzon y dieron cuenta de su resolución: "incurrió en grave deficiencia en las labores docentes o de investigación, objetivamente comprobada".

La literatura presenta una afectación importante por la extendida práctica de apropiarse del trabajo o ideas de otros. Autores de renombre internacional se han visto involucrados en escandalosos casos



Fotografía: Joaquín Romero



Fotografía: Raúl Espinosa

El Puente de la Unidad, en Monterrey (derecha), fue señalado como un plagio del de Alamillo, que cruza el Río Guadalquivir, en Sevilla, España (izquierda)

de plagio. José Saramago fue designado Premio Nobel de Literatura 1998 por su amplia obra, pero su trayectoria se vio empañada en 2005 cuando el escritor mexicano Teófilo Huerta lo acusó de parafrasear varios pasajes de su texto *¡Últimas noticias!* en el libro titulado *Las intermitencias de la muerte*, del escritor lusitano.

Saramago argumentó ante la prensa que “si dos autores tratan el tema de la ausencia de la muerte, resulta inevitable que las situaciones se repitan en el relato y que las formas en las que las mismas se expresan tengan alguna semejanza”, postura que habla de la intertextualidad (relación que mantiene un texto oral o escrito con otros ya sean contemporáneos o históricos, que influye tanto en su producción como en la comprensión del discurso) como argumento para enfrentar acusaciones de plagio, en otro incidente Carlos Fuentes, Premio Cervantes 1987 y Príncipe de Asturias 1994, fue acusado de plagio por Víctor Celorio en 1995, porque encontró al menos 110 coincidencias textuales y varias similitudes de los personajes de su libro *El unicornio azul*, publicado en 1985, con la obra *Diana o la cazadora solitaria* de Fuentes, editada en 1994.

Otro caso de plagio, que fue motivo de escándalo nacional, se dio en torno a Sealtiel Alatríste, entonces titular de la Coordinación de Difusión Cultural de la UNAM, al ser designado Premio Xavier Villaurrutia 2012. Guillermo Sheridan lo impugnó y lo culpó de haber plagiado artículos periodísticos. El señalamiento fue respaldado por Gabriel Said y Jesús Silva Herzog-Márquez; además se enfatizó que Alatríste estuvo involucrado en el caso de Teófilo Huerta contra José Saramago, cuando trabajó para una editorial. El acusado renunció a su cargo público y al galardón.

Para Quiroz Papa, una de las causas del plagio “es la crisis de valores molares por la que atraviesa la sociedad [... que se refleja en conductas deshonestas...] una de las cuales es la actividad académica, al no respetar la propiedad intelectual”.

En el largo catálogo de acusados también podemos mencionar a Alfredo Bryce Echenique, señalado de haber plagiado por lo menos 16 textos de diarios y revistas; las autoridades peruanas lo encontraron culpable.

El argentino Jorge Bucay, especialista en superación personal, aceptó que copió textos de la española Mónica Cavallé; el acusado redujo el incidente a

un error de comillas. Casos llamativos son los de la escritora y periodista Guadalupe Loaeza, descubierta por sus propios lectores, y el de Jorge Volpi y Denise Dresser, quienes fueron imputados por León Krauze de haber recogido ideas de Jon Stewart para adaptarlas a su libro *Lo que todo mexicano (no) quisiera saber sobre su patria* publicado en 2006. El inventario sigue.

La política no se encuentra exenta. Melania Knauss, esposa de Donald Trump, provocó una tormenta mediática durante la Convención Nacional Republicana, que nominaría a Trump candidato a la presidencia de Estados Unidos, al hacer una reflexión salpicada de conceptos e ideas tomados de un discurso de Michelle Obama pronunciado ocho años antes. Los responsables de la campaña republicana justificaron el hecho diciendo que las palabras se redactaron incluyendo “fragmentos que reflejaban su propio sentimiento” y Paul Manafort sostuvo: “había palabras similares. Esto no es un plagio”.

En México, el 28 de agosto de 2016 la Universidad Panamericana, a través de un comunicado, admitió que Enrique Peña Nieto, egresado de la Escuela de Derecho, en su tesis de licenciatura “presenta ideas propias, ideas ajenas citadas e ideas ajenas no citadas”, con lo que admitió una forma de plagio; sin embargo, justificó que por ser un acto consumado “es imposible proceder en ningún sentido”.

La cantante Susana Harp desató un terremoto internacional cuando imputó a la diseñadora francesa Isabel Marant Etoile, de haber plagiado bordados de diseños textiles tradicionales de la comunidad Mixe de Santa María Tlahuitoltepec, ubicada en la Sierra Norte de Oaxaca, para prendas (blusa, falda y chamarra) de su colección primavera-verano 2015 comercializadas en varios países. La comunidad indígena solicitó a la modista no registrar los diseños como marca; en descargo Marant Etoile dijo no haber tratado de patentar los diseños y aceptó que su inspiración surgió de la comunidad Mixe.

Son conocidas las acusaciones contra cantantes como Shakira que en 2014 fue declarada culpable de plagio, porque su tema *Loca* fue copiado de una melodía de Ramón Arias Vázquez, lo mismo sucedió con su canción *Time For Africa* (tema del mundial de fútbol en Sudáfrica). Julio Iglesias fue obligado a pagar una compensación al compositor Norberto Moreno, por usar su canción *Morriñas*. Escándalo similar enfrentó Luis Miguel y el compositor español Juan Carlos Calderón en 2007, cuando se mos-

tró que el tema musical *Amarte es un placer*, fue inspirado en la canción *Siento nuestro aliento* de Marcos Lifshitz.

El talento británico y anglosajón también presenta destacados casos de plagio. En 1969 los *Beatles* fueron demandados por Chuck Berry por haber copiado letra y música de su canción *You Can't Catch Me*, en el tema *Come Together*. Michael Jackson se vio obligado a pagar derechos de autor en 1983 a Manu Dibango por haber usado su tema *Soul Makossa*. Madonna ha sido imputada de usar obras ajenas, en especial *Frozen*, muy parecida con *Ma Vie Fout Le Camp*, de Salvatore Acquaviva. El repertorio de músicos señalados de plagio parece interminable e incluye a Pharrell Williams, nominado al Premio Oscar en 2014 por *Happy*; Sam Smith ganador del Oscar en 2016 por *Writin's on the Wall*, tema de la película *Spectre*; y Ray Parker Jr. creador del tema *Ghostbusters*, entre muchos otros.

La arquitectura es otro campo del conocimiento que también padece emblemáticos casos que se pueden asociar a la práctica del plagio, por ejemplo el Puente de la Unidad, diseñado y edificado en 2003 por el grupo constructor Garza Ponce para Monterrey, que une al Municipio de San Pedro Garza García, en Nuevo León, fue señalado de fue señalado por ser una copia del Puente del Alamillo, atirantado de pilón contrapeso, que cruza el Río Guadalquivir, en Sevilla, España, concebido por el arquitecto valenciano Santiago Calatrava Valls. El también ingeniero civil solicitó a la embajada de su país en México, poner un recurso de inconformidad, por el plagio de su obra. La empresa aludida se limitó a decir que la edificación que construyeron sólo era un puente atirantado más. En la ciudad norteña existen por lo menos cinco edificaciones emblemáticas que presentan muchas similitudes, incluso parecen copia, con propuestas arquitectónicas edificadas en otras partes del mundo, como la Torre Comercial América, construida en 1994 por el despacho Maiz Mier, que guarda una semejanza extraordinaria con el rascacielos de 25 niveles 60 Wall Street Building de Nueva York, levantado en 1987 por Kevin Roche, John Dinkeloo & Associates y que es sede de la empresa financiera JP Morgan en Manhattan; también podemos mencionar El Campanario de Cristo Rey, el Teatro Fidel Velázquez, el Paseo Santa Lucía y la Fuente de la Vida.

La Ciudad de México ha padecido casos relacionados con el plagio arquitectónico, uno destacado es el de la Torre Mayor, diseñada por Paul Reichmann, edificada entre 1997 y 2002 en el número 505 de la Avenida Paseo de la Reforma, con 225 metros de altura y 55 niveles, cuyo diseño fue casi replicado en el rascacielos Kingkey 100 en Shenzhen Guangdong, China.

En el panorama internacional existen múltiples ejemplos de esta práctica. Se puede citar la controversia surgida entre el Museo Judío de Berlín, creado por el arquitecto de origen polaco Daniel Libeskind e inaugurado en 1999 y el Museo Nacional de Australia, diseñado por Howard Raggatt, abierto en el marco de los Juegos Olímpicos de Sidney 2000, ya que la forma de la estructura es muy parecida. Libeskind acusó a Raggatt de haber copiado su obra, ante ello el aludido sostuvo que su diseño se basó en el trabajo de su colega, que a su vez se había inspirado en el trabajo de otros arquitectos, el inventario de casos en este ámbito es amplio. En general ninguna actividad humana se salva de esta práctica deshonesta.

La tecnología como antídoto

En la llamada sociedad de la información y el conocimiento, con internet como su motor, las personas tienen acceso desde su computadora a un número infinito de datos e información que les permite utilizar desde lo más elemental a lo avanzado de todas las disciplinas.

Las fuentes de información se vuelven omnipresentes y el uso de conceptos e ideas ajenas no siempre se hace con una ética responsable o con protocolos metodológicos adecuados.

El mismo desarrollo tecnológico que envuelve y avasalla a la sociedad, también ofrece herramientas que se vuelven antídotos contra el plagio porque ofrece *software* especializado diverso que permite una búsqueda exhaustiva de palabras, frases, temas y autores, donde se pueden encontrar similitudes para hacer comparaciones e identificar posibles casos de plagio. 🌐

(Efrén Díaz)



EL PLAGIO CIENTÍFICO



**Héctor de la Peña
Efrén Díaz Millán**
Subdirección de Intercambio
Académico
hdelapena@cinvestav.mx
ediazm@cinvestav.mx



La frase empleada en 1942 por Logan Wilson *publish or perish* (publicar o perecer), en su libro *The Academic Man*, hacía referencia a la constante competencia a la que estaban sometidos los investigadores debido a las exigencias de sus instituciones en torno a la producción científica.

Más de siete décadas después, esa expresión continúa vigente, ya que con el afán de obtener reconocimiento y recursos, gubernamentales o privados, nacionales o extranjeros, los académicos se exigen mayores resultados, a lo que se suma el incremento de las revistas científicas dónde publicar.

Esa particularidad en el sector ha llevado a una conducta que, si bien no se ha generalizado, cada vez cobra mayor atención: el plagio. Tal es su relevancia que en Estados Unidos muchas instituciones de educación superior y centros de estudios han establecido oficinas de integridad en la investigación donde, entre otros aspectos, se vigila que las publicaciones de sus miembros no incurran en algún tipo de plagio.

A pesar de ello, el problema no se ha podido erradicar. De hecho, la Fundación Nacional para la Ciencia de Estados Unidos ha señalado que al año han investigado hasta 100 casos de “sospecha de plagio”. En tanto, el buscador público de la Biblioteca Nacional de Medicina de Estados Unidos, conocido popularmente como PubMed, reconoce que 24 por ciento de las publicaciones retiradas de su listado tiene como causa el plagio o la duplicidad, también conocido como autoplagio.

La iniciativa civil Retraction Watch, un colectivo que retoma los casos públicos de artículos retirados de

revistas científicas, reportó decenas de incidentes relacionados con el plagio en los últimos años.

Uno de los más relevantes en 2016 fue el de la revista *Case Reports in Obstetrics and Gynecology*, la cual retiró el artículo “Prenatal Diagnosis of Concurrent Achondroplasia and Klinefelter Syndrome” de la investigadora española Esther Pérez Carbajo, por emplear información de una excompañera de trabajo sobre el diagnóstico de un feto con síndrome Klinefelter y enanismo que había sido publicado en 2012 en la revista *BMC Pediatrics* con el título “Achondroplasia with 47, xxy karyotype: A case report of the neonatal diagnosis of an extremely unusual association”.

La explicación que dio la investigadora acusada de plagio fue que todo se debió a un “gran malentendido” entre ella y su excolega al no informarle que realizaría una publicación científica al respecto, y que tampoco se enteró de la primera publicación.

Otro caso dado a conocer este año es el de la revista *Applied Microbiology and Biotechnology*, de la editorial Springer, que en julio pasado anunció el retiro de un compendio de revisión publicado hace 14 años por Uttam Chand Banerjee, después de que se hiciera una investigación del texto y se detectara el plagio de numerosas fuentes.

El documento “The nitrile-degrading enzymes: current status and future prospects” había sido citado 289 veces hasta el momento de su retiro, y de acuerdo con la nota aclaratoria del editor de la revista, contenía porciones de otros escritos sin que se dieran las atribuciones suficientes. Pero no sólo se trató del texto, sino también los autores habían copiado tablas y figuras.

En México, una de las últimas denuncias de plagio académico fue el de un docente de la Universidad de Guadalajara (UdeG), quien supuestamente copió íntegramente por lo menos 84 fragmentos para su tesis de doctorado por la Universidad Politécnica de Catalunya, según reporta una investigación del diario *El País*, de España.

El texto periodístico revela que la tesis *Fomento de la agricultura sostenible mediante el establecimiento*



Captura de pantalla Hundawi

RETIRADO

Este artículo se retiró debido a que el mismo caso reportado se presentó previamente en el artículo: "Achondroplasia with 47, xxy karyotype: A case report of the neonatal diagnosis of an extremely unusual association", *BMC Pediatrics* 2012, 12:88. La investigación también se publicó sin el consentimiento de la Dra. Cristina Martínez Payo. La primera autora, Dra. Esther Pérez Carbajo, asume toda la responsabilidad.

de un sistema de garantías de calidad en los procesos productivos y de comunicación a los consumidores contiene extractos de libros, páginas web, boletines de prensa, investigaciones y tesis.

La investigación realizada por el periódico español se dio a conocer en mayo pasado; sin embargo, la tesis data de 2007, es decir, nueve años después de que fuera presentada en la Universidad Politécnica de Catalunya.

Estos casos dan cuenta de un fenómeno que se ha detectado en mayor medida durante los últimos años, debido a que las nuevas tecnologías facilitan la identificación del plagio, pero no es una conducta exclusiva de las nuevas generaciones de investigadores.

De hecho, al antiguo astrónomo egipcio Claudio Ptolomeo, conocido por la teoría del sistema geocéntrico que perduró más de mil 500 años, se le ha acusado de plagio, al considerar que sus cálculos de los astros correspondían a una región cercana a la actual Grecia, y no de la ciudad donde realizó sus estudios, es decir Alejandría, en Egipto. Lo que hace suponer que empleó la información de otro científico para desarrollar su teoría.

Robo de intangibles

Como en muchas otras actividades, el prestigio del que se hace un científico a lo largo de su carrera representa un reconocimiento por parte de sus colegas y la comunidad en general. "Eso es lo que se



Los que hemos sido afectados por este tipo de plagio (de proyectos) decimos que las quejas que hacemos son post-mortem, ya que se puede hacer muy poco por revertir la situación una vez que el financiamiento está otorgado y las investigaciones publicadas"

Víctor Vidal

pone en riesgo al momento de incurrir en cualquier acción de mala conducta", refiere Víctor Vidal Martínez, quien actualmente se desempeña como miembro en la comisión dictaminadora del Área II del Sistema Nacional de Investigadores (SNI).

El también integrante de la junta editorial de *The Journal of Parasitology* e investigador del Cinvestav Unidad Mérida califica al plagio como una puerta falsa que muchos de sus colegas están tentados a utilizar debido a la "competencia bestial" que se da entre grupos cuando se pugna por ser el primero en llegar a un resultado. Asimismo, señaló, puede ser producto de la desesperación que tienen los científicos al momento de dar resultados y tienen encima los procesos de evaluación del SNI o de sus propias instituciones.

Eugenio Frixione Garduño, investigador del Departamento de Biología Celular del Cinvestav, es más contundente. Subraya que el uso del plagio entre científicos tiene como principal causa la falta de ideas, datos e información propios. "(Se debe a) la poca creatividad, o que no cuentan con los medios para poder buscar esa información por propia mano, y entonces se les ocurre apropiársela de alguien que ya lo hizo. Básicamente el plagio es un robo de intangibles".

A decir de Frixione Garduño, en muchas ocasiones el plagio académico es un problema de metodología que se da en todo el mundo. "Como los jóvenes han crecido en un ambiente donde los datos se envían, reciben y comparten de manera inmediata, tienen

menos sensibilidad ante este fenómeno, porque al utilizar internet no se preocupan por identificar al autor de la información. Pero habría que meditar hasta qué punto es «inocencia». Eugenio Frixione precisa que "los investigadores tendrían que cumplir con esa tarea educativa, porque eso es parte de la formación científica".

Por lo general, los casos identificados como plagio científico se dan al emplear información, figuras o tablas de artículos publicados en revistas indexadas. Incluso, las herramientas con las que se cuentan actualmente para detectar esta práctica están basadas exclusivamente en la detección de textos. Sin embargo, Vidal Martínez denuncia que existen otro tipo de plagios que, al menos a nivel nacional, son más comunes y difíciles de identificar: el robo de proyectos.

"Personalmente he sometido proyectos que no han sido aprobados y que después veo en manos de otros colegas. Me ha sucedido a nivel estatal y federal. Esto es grave porque uno tiene la confianza de someter las ideas nuevas a fuentes de financiamiento para evaluación y te enteras que el proyecto lo está desarrollando otra persona. Eso inhibe la creatividad.

"Los que hemos sido afectados por este tipo de plagio decimos que las quejas que hacemos son *post-mortem*, ya que se puede hacer muy poco por revertir la situación una vez que el financiamiento está otorgado y las investigaciones publicadas", expresa el científico del Cinvestav Unidad Mérida. Por ello, sugiere que a nivel nacional se realice



Emplear lo ya establecido es perfectamente válido, de hecho así se construye la ciencia; el asunto es que en todos los casos el investigador está obligado a dar la referencia de lo que usa"

Eugenio Frixione

una revisión a los modelos de evaluación de proyectos científicos entre pares, a fin de contar con mecanismos más transparentes que eviten y castiguen el plagio de proyectos en estas instancias.

¿Juez y parte?

Si bien el plagio destruye la credibilidad del científico que lo comete, también pone en entredicho el prestigio de la institución donde labora, por lo que muchas universidades y centros de investigación alrededor del mundo han decidido tomar cartas en el asunto al abrir oficinas dedicadas de manera exclusiva para evaluar e investigar los actos de mala conducta de sus miembros.

Una decisión que Eugenio Frixione, estudioso de la metodología y teoría de la ciencia, no comparte del todo: "el marco jurídico de cada institución debe desaprobador esa práctica, pero no se puede estar vigilando cada artículo que publique el personal". El investigador sugiere crear mecanismos adecuados que eviten esta práctica, sin caer en el burocratismo.

"En nuestro caso, el Cinvestav no es una institución policial para que vigile los textos que se están produciendo, ya sea tesis de estudiantes, artículos o libros que producen los investigadores. Nosotros no podemos responsabilizarnos de eso, es una conducta individual", menciona Frixione.

En tanto, Vidal Martínez considera que cada institución debe encargarse de supervisar las conductas inapropiadas de sus investigadores, incluida el plagio, al ser afectado también el prestigio institucional. "Por ejemplo, no creo que el Conacyt u otra instancia federal sea la adecuada para verificar y sancionar plagios ni otras malas conductas, sino que las universidades y centros de investigación deben tener este filtro de control de calidad, a través de oficinas especializadas".

En lo que ambos expertos coinciden es que la mejor forma de evitar el plagio es a través de la educación de los nuevos investigadores y hacer presente el tema a nivel institucional; es decir, plasmarlo de manera específica en reglamentos que sean del dominio del personal: tanto estudiantes como académicos.

Además de reforzar los cursos de metodología para que, en el caso de las tesis y los artículos, presten más atención a la forma en que se deben citar las palabras de otros colegas. "Sobre todo en el contexto actual en el que es más fácil allegarse de información de casi todo el mundo, e impera la costumbre de copiar y pegar. Es conveniente recordarles a los

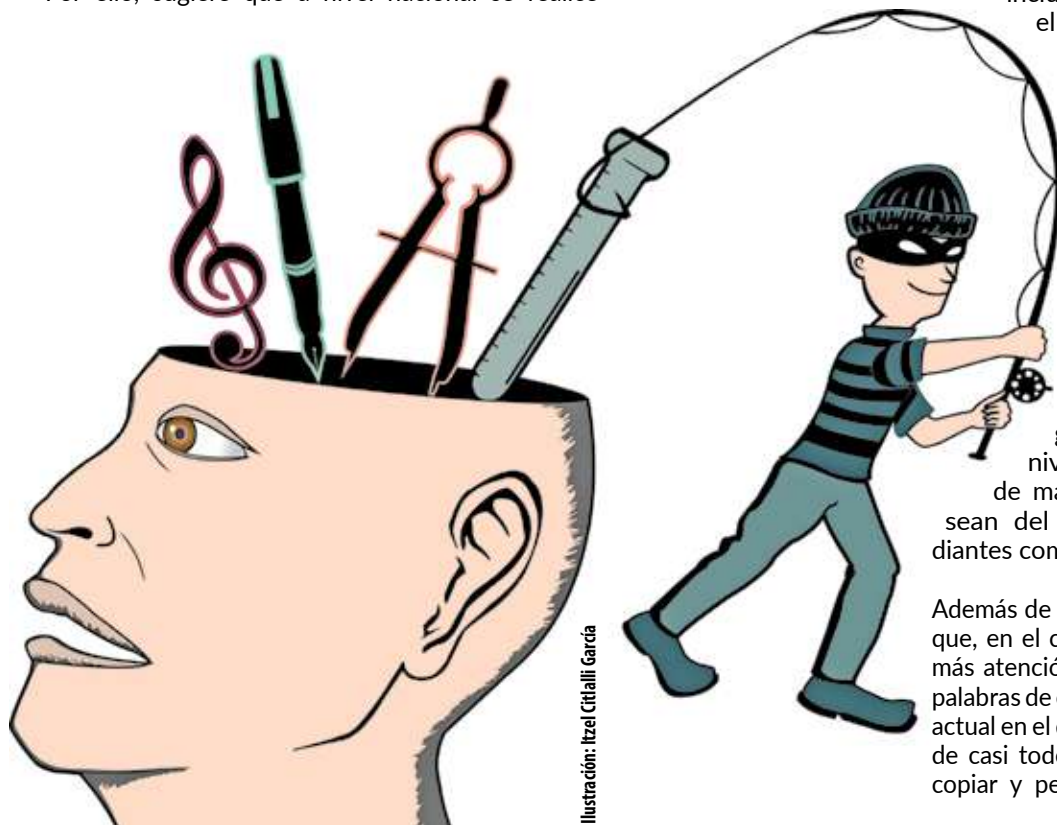


Ilustración: Itzel Citlalli García

futuros científicos que con esas acciones se juegan su reputación, ya que luego de perderla nunca la recuperan”, concluye Vidal Martínez.

Para Eugenio Frixione el plagio científico y académico cruza por una delgada línea de valores, ya que “usar datos ajenos no se considera malo, de hecho en ciencia o en cualquier trabajo académico el investigador siempre debe fundamentar su investigación en los antecedentes, es muy raro trabajar en algo que no los tenga. Emplear lo ya establecido es perfectamente válido, de hecho así se construye la ciencia; el asunto es que en todos los casos el investigador está obligado a dar la referencia de lo que usa”.

Una herramienta legal antiplagio

Uno de los casos más significativos de plagio conocidos en el país ocurrió en 2015, cuando Juan Pascual Gay y Rodrigo Núñez Arancibia, entonces miembros del SNI, uno de El Colegio de San Luis y otro de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, se les comprobó que habían incurrido en esta violación, motivo por el que Conacyt decidió expulsarlos del SNI. Además, en el caso del segundo, El Colegio de México decidió retirarle el grado de doctor debido a que el plagio lo realizó en su tesis de grado que había presentado ante esa institución.

Durante esa coyuntura, el senador Óscar Román Rosas González, secretario de la Comisión de Ciencia y Tecnología en la Cámara alta, presentó una iniciativa en la que plantea “introducir la figura del plagio académico en la legislación nacional”.

En específico, el senador del Partido Revolucionario Institucional señaló la necesidad de establecer protección de las obras académicas en la Ley Federal del Derecho de Autor. Pero también propone tipificar el plagio académico como delito en el Código Penal Federal.

Lo que busca es “sancionar a quien presente trabajos y obras ajenas sin dar el reconocimiento a sus autores originales y las presenten como propias con el objeto de obtener reconocimiento, mérito, estímulo, grado o certificación académica”.

Por ello, la iniciativa plantea modificar el artículo 13 de la Ley Federal del Derecho de Autor, referente al tipo de obras que protege este ordenamiento legal, para agregar la rama académica, así como reconocer que estas obras involucran tesis, tesinas, ensayos, artículos, compilaciones, investigaciones, revistas o cualquier otro trabajo o creación.

También busca reformar el artículo 162, a fin de que las obras académicas, como ocurre con las literarias y artísticas, estén protegidas a pesar de no estar inscritas en el Registro Público del Derecho de Autor.

Sistema	Requiere cuenta	Uso en línea	Costo
Turnitin	✓	✗	✓
Plagiarism checker	✗	✓	✗
ArticleChecker	✗	✓	✗
Plagium	✗	✓	✓
Duplichecker	✓	✓	✗
Viper	✓	✗	✗

En tanto al Código Penal Federal, la iniciativa prevé reformar el Título Vigésimo Sexto para cambiar de denominación; De los Delitos en Materia de Derechos de Autor a De los Delitos en Materia de Derechos de Autor y Plagio Académico. Además de incorporar los artículos 428, 429 y 430, donde se establecen las sanciones para quien incurra en esta falta, los cuales establecerían lo siguiente:

- **Artículo 428.-** Comete el delito de plagio académico quien utilice de manera indebida obras, trabajos, textos, investigaciones, imágenes, gráficos, datos, tablas o diseños que pertenecen a otros autores presentándolos como propios con la finalidad de obtener un título, reconocimiento, estímulo, certificado, mérito o grado académico en instituciones de educación superior y centros de investigación.
- Se impondrá prisión de uno a tres años y de doscientos a quinientos días de multa a quien copie de manera deliberada obras y textos completos o en parte, y los presente como propios.
- **Artículo 429.-** Se impondrá prisión de uno a dos años y de doscientos a cuatrocientos días de multa a quien utilice fragmentos sustanciales de una obra o investigación; realice una composición heterogénea de obras, textos, párrafos o datos; cite fuentes falsas y altere palabras clave para ocultar la procedencia original de la obra o el autor de la misma.
- **Artículo 430.-** Se impondrá de dos a cuatro años de prisión y de trescientos a quinientos días de multa al que reincida en cualquiera de los supuestos de plagio académico contenidos en los artículos precedentes.

La iniciativa fue presentada el 22 de octubre de 2015 y turnada a las Comisiones Unidas de Justicia y Estudios Legislativos, aunque por ahora, como se dice en el argot político, se encuentra en la congeladora. ☹️

ROMPEN RÉCORD CRIPTOGRÁFICO



Francisco Rodríguez Henríquez
Departamento de Computación
francisco@cs.cinvestav.mx

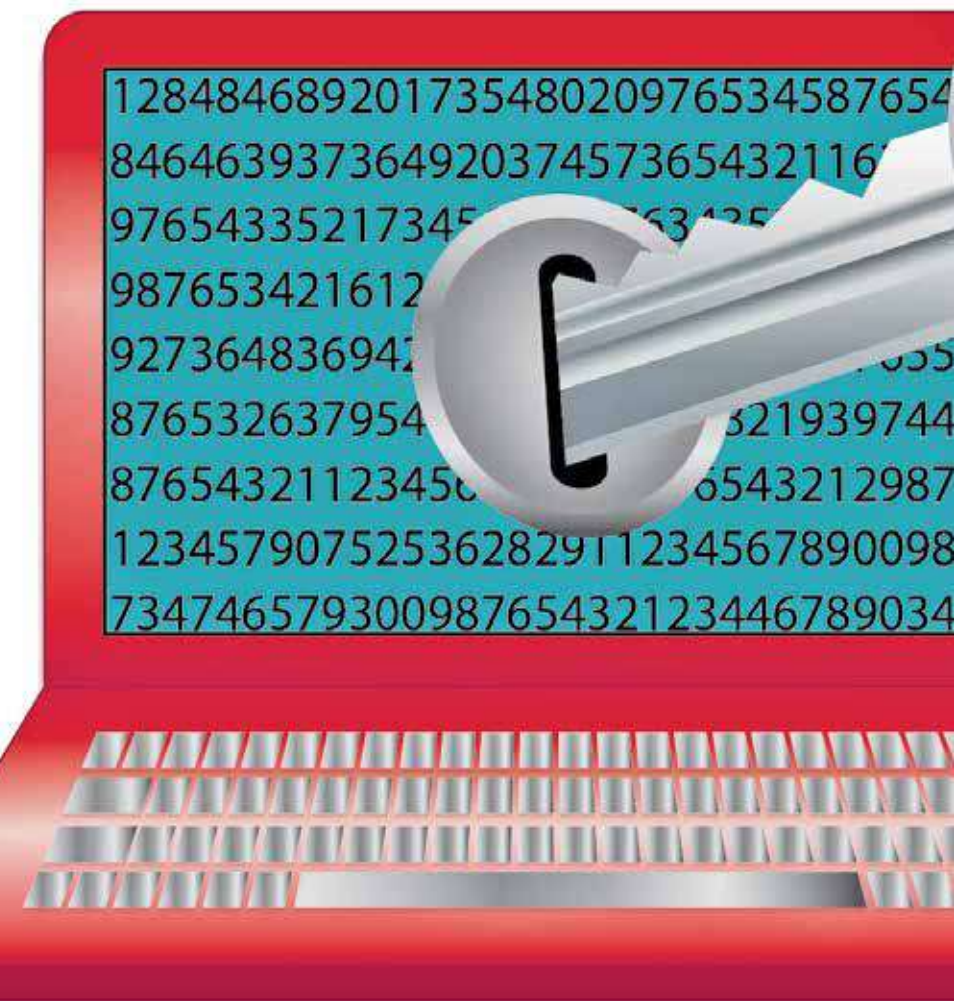
En la actualidad, la disponibilidad de internet en dispositivos móviles se ha convertido en una alternativa práctica para la aplicación del comercio electrónico, acceso a aplicaciones bancarias, comunicación masiva mediante la utilización de protocolos específicamente diseñados para el intercambio de datos, en medios inalámbricos tales como el protocolo XMPP de *whatsapp*, o la utilización de aplicaciones interactivas para la navegación en las calles de las grandes ciudades y carreteras a nivel mundial, tales como la aplicación *waze*, y muchas otras más.

En cada uno de estos escenarios, la transmisión y almacenamiento seguro de dicha información tiene una importancia crucial para la infraestructura de la información digital.

Las técnicas científicas para la implementación de la *seguridad computacional*, son desarrolladas por la *criptografía*, la cual puede sucintamente ser definida como el estudio del problema de cómo establecer un intercambio de información seguro, a través del uso de un canal de comunicación que no lo es. De manera general, los métodos de cifrado/descifrado pueden clasificarse en dos categorías: *Criptografía de llave pública* y *Criptografía de llave simétrica*.

Criptografía de llave pública

La criptografía de llave pública fue propuesta por primera vez en el trabajo que Diffie y Hellman publicado en 1976. El protocolo Diffie-Hellman permite que ambas partes (conocidas en la literatura especializada como el problema de que la entidad *Alicia* establezca una comunicación confidencial exitosa con la entidad *Beto*) que desean establecer una comunicación privada, puedan definir una clave secreta, conocida sólo por las dos partes,



aun cuando ellas estén restringidas a intercambios de mensajes en un canal de transmisión inseguro. En el paradigma de clave pública, cada entidad cuenta con un par de llaves, una secreta y otra pública. Se dice entonces, que el procedimiento de cifrado/descifrado se vuelve asimétrico.

Más concretamente, en el cifrado con llave pública o asimétrica existen dos llaves distintas: una para cifrar y otra para descifrar. La llave para cifrar es conocida públicamente y, por ende, se denomina *llave pública*. La llave para descifrar sólo es conocida por el receptor del mensaje, por lo que se le denomina *llave privada*. La ventaja de estos sistemas criptográficos es que la denominada llave pública puede ser usada por cualquier persona para cifrar mensajes bajo la premisa que sólo quien posea la llave privada podrá descifrar dichos mensajes.

Las garantías de seguridad de los criptosistemas de llave pública actuales, están fundamentadas en el costo computacional de resolver algún problema

matemático difícil. Algunos ejemplos de éstos son: La factorización de números desmesuradamente grandes, el cómputo de logaritmos discretos también de números gigantes, la búsqueda del vector más corto en retículos, etcétera. Se cree, sin que exista una certidumbre absoluta, que estos problemas son extremadamente difíciles de resolver, pues los mejores algoritmos conocidos hasta ahora encuentran soluciones con una complejidad computacional sub exponencial en su tiempo de ejecución.

Ingredientes matemáticos

Un campo finito suele denotarse, en honor del matemático-niño Evariste Galois, como $GF(p^k)$, donde las siglas 'GF' significan *Galois fields*, y p^k es un número primo elevado a una cierta potencia $k \geq 1$, el cual indica el número de elementos que *habitan* en dicho campo finito. Los elementos son representados como polinomios de una variable con coeficientes definidos sobre el sub-campo $GF(p)$ y de grado menor o igual a $k-1$. Formalmente, el problema del cómputo del logaritmo discreto se define de la siguiente manera.

Definición del problema del logaritmo discreto:

Sea $GF(p^k)$ un campo finito con $q = p^k$ elementos. Dado un elemento $g \in GF(q)$ de orden primo r , y un elemento h que pertenece al grupo generado por g , el cómputo del logaritmo discreto consiste en el problema de encontrar el único entero $x \in [0, r-1]$, tal que $h = g^x$.

En sistemas de seguridad informática, el exponente x es un dato secreto, muchas veces denominado *llave privada*. Mientras que el valor, $h = g^x$, suele denominarse como *llave pública*. Si el problema del logaritmo discreto es difícil, entonces podemos transmitir h en un canal inseguro, pues el oponente no podrá extraer el valor secreto x debido a la formidable dificultad que supone encontrar el logaritmo h .

Para que el problema del logaritmo discreto pueda utilizarse de una manera segura en aplicaciones comerciales, es menester utilizar campos finitos extremadamente grandes. Por ejemplo, para un primo p impar mayor que 3, el tamaño del grupo, $q = p^k$, debería escogerse como un número de más de 3,000 bits para poder ofrecer así, una seguridad adecuada a las exigencias informáticas modernas.

La implicación práctica más importante del récord que se reporta en esta reseña, es la de mostrar que si se escogen primos pequeños $p = 2, 3$, el problema del logaritmo discreto es considerablemente débil

y puede ser vulnerado por los oponentes con un esfuerzo considerable pero no inalcanzable.

2016: recuento de un récord criptográfico recuperado

El 27 de enero de 2014, el equipo conformado por Adj, Menezes, Oliveira y Rodríguez-Henríquez, resolvió el problema del logaritmo discreto en el campo finito $GF(3^{6 \cdot 137})$, el cual fue el primero con importancia criptográfica en haber sido vulnerado utilizando el algoritmo parteaguas ideado por el profesor Antoine Joux en marzo de 2013. El tamaño del espacio de búsqueda de ese problema es de 2^{155} , y el cálculo tomó un esfuerzo computacional de 888 horas-núcleo.¹

El cálculo anunciado ese día fue un récord mundial con una duración muy breve, pues el 30 de enero de 2014, fue despedazado por el equipo europeo conformado por Granger-Kleinjung-Zumbrägel, quienes ese día anunciaron el cómputo del logaritmo discreto en el campo finito $GF(2^{12 \cdot 367})$ con un tamaño de 4,404 bits y con un espacio de búsqueda de 2^{698} .

En el último capítulo de esta saga (hasta ahora), el lunes 18 de julio de 2016, el equipo conformado por Adj, Canales-Martínez, Cruz-Cortés, Menezes, Oliveira, Rivera-Zamarripa y Rodríguez-Henríquez, anunció a la lista de discusión de teoría de números, el cómputo exitoso del logaritmo discreto en el campo finito $GF(3^{6 \cdot 509})$ con un tamaño de 4841 bits y un espacio de búsqueda de 2^{804} . El cómputo anunciado por Adj *et al.* constituye el nuevo récord mundial absoluto para este tipo de problemas.²

El cómputo del logaritmo discreto en $GF(3^{6 \cdot 509})$ tomó aproximadamente 220 años-núcleo, y fue computado por meses y con primor, en el clúster del Departamento de Computación del Cinvestav, en la supercomputadora Abacus y en un grupo de servidores del Departamento de combinatoria de la Universidad de Waterloo.

Calculado en su mayor parte en supercomputadoras del Centro, el récord mundial del problema del logaritmo discreto vuelve a ser nuestro, por lo que no nos alcanzan nuestros corazones para albergar tanta satisfacción y alegría combinadas. ☺

Referencias

- 1 Como su nombre lo indica, que un procedimiento tome un año núcleo de ejecución implica que la implementación ininterrumpida de ese algoritmo en una computadora equipada con un único procesador tomaría un año de ejecución.
- 2 *Discrete logarithm records*. Consultado el 25 de octubre 2016, en https://en.wikipedia.org/wiki/Discrete_logarithm_records.

SEMILLERO DE GRANDES CIENTÍFICOS



Wendolin Collazo Rodríguez
Subdirección de Intercambio Académico
wendolin.collazo@cinvestav.mx

Culminaba una fiesta en el Departamento de Matemáticas cuando Carlos Ímaz se percató de que su Volkswagen no estaba donde lo había estacionado. Todo mundo se reía y le decía: “Vete a dar una vuelta por el departamento”. Su coche lo encontró en el corredor del segundo piso del edificio. Sorprendido y asombrado preguntó: “¿Cómo es posible que el coche esté aquí arriba?”, a lo que Samuel Gitler dijo: “Para que veas cómo hay bastante gente con visión de hacer las cosas bien”.

A decir de Samuel Gitler, en entrevista con la revista *Diálogos* (2000), él ya no recuerda exactamente cómo subieron y bajaron el carro. A principios de 1960 el Departamento de Matemáticas, a cargo de José Ádem se encontraba en pleno crecimiento y enfilándose a ser una de las áreas con más actividad académica en el Cinvestav.

Matemáticas es uno de los cuatro departamentos con los que el Centro inició actividades en 1961, respondiendo a la necesidad de contar con un grupo de investigación en torno a esta área, en el Instituto Politécnico Nacional (IPN). Debido a que no se contaba con instalaciones propias, el departamento empezó funciones en la Escuela Superior de Física y Matemáticas del IPN, pero dos años después se cambió al edificio que ocuparía por 32 años en el Cinvestav.

José Ádem fue el primer jefe de Departamento, de 1961 hasta 1972. Consciente de la necesidad de nuevos espacios para los jóvenes matemáticos del país, convocó como profesores adjuntos a Carlos Ímaz y Samuel Gitler, quienes eran recién doctorados de la UNAM y la Universidad de Princeton, respectivamente; así como a Francisco Tomás Pons, quien en ese entonces estaba por graduarse de doctorado.

En la década de los 60 la topología algebraica estaba en su apogeo y uno de sus problemas más importantes era el de inmersión y encaje de variedades en espacios euclidianos. Ádem y Gitler obtuvieron resultados que los colocaron a la vanguardia en este campo, haciendo posible que los topólogos más importantes del mundo visitaran el Centro.



La primera visita internacional fue de Francois Bruhat, un eminente algebrista francés que ayudó a Francisco Tomás Pons a pulir los resultados de su investigación para lograr ser el primer estudiante doctorado tanto del departamento como del Cinvestav.

En 1963 se une Zdenek Vorel, de la Academia de Ciencias de Checoslovaquia, quien colaboró intensamente con Carlos Ímaz en ecuaciones diferenciales y análisis. Posteriormente se integraron como profesores visitantes: B. Durork en teoría de números; P. A. Griffiths en geometría algebraica y J. J. Kohn y M. Kuranishi en análisis complejo.

Con este personal académico, por primera vez en México se prepararon programas de maestría y doctorado en matemáticas, semejantes a los de las mejores universidades del mundo. Durante la jefatura de Ádem se graduaron 33 estudiantes de maestría y seis de doctorado.

De 1973 a 1981 Samuel Gitler ocupó la jefatura de Matemáticas, con un departamento consolidado y en aumento significativo en el número de profesores y de estudiantes de posgrado.

En esta época de auge se crean las plazas de Investigador y las Conferencias Solomon Lefschetz, donde se invitaba a los más eminentes matemáticos

contemporáneos para trabajar en el Centro y dar una serie de ponencias, con el propósito de mantener al tanto a los académicos de las más recientes investigaciones en su especialidad.

Durante el sexenio 1970-1976, a solicitud de la Secretaría de Educación Pública, el departamento se encargó de elaborar los libros de texto gratuitos de matemáticas para la enseñanza primaria, proyecto que estuvo a cargo de Carlos Ímaz. Esto constituyó un gran reto, puesto que ninguno de los profesores había tenido experiencia en la enseñanza primaria. Los libros de texto que surgieron de este esfuerzo se utilizaron por más de una década.

A raíz de esa experiencia, varios de los profesores, sobre todo Ímaz y su colega Eugenio Filloy, decidieron dedicarse a la matemática educativa; después de varios años, lograron que se creara una Sección y posteriormente el Departamento de Matemática Educativa.

Una de las mejores anécdotas de Carlos Ímaz es comentada con agrado por sus colegas. Como Gitler e Ímaz estudiaron ingeniería civil, además de matemáticas, Ímaz tuvo la oportunidad de trabajar como residente de obra en la construcción de un complejo multifamiliar en la Ciudad de México. Tras la tragedia por el terremoto de 1985, quienes

El Departamento de Matemáticas ha concentrado sus esfuerzos en la investigación, formación de recursos humanos, vinculación con diversos sectores educativos y la difusión de este campo de estudio

lo conocieron comparten que él fue a confirmar el estado del edificio que ayudó a construir y aseguraba “el que yo construí sigue en pie”.

Durante el periodo de jefatura de Gitler, de 1973 a 1981, 54 alumnos obtuvieron su maestría y otros 13 obtuvieron su doctorado. La producción científica de los investigadores siguió creciendo hasta llegar a más de 120 artículos en las mejores revistas de la especialidad. Se estableció un intercambio anual con la Sociedad Real de Londres, que hizo posible la realización de investigaciones conjuntas con las universidades de Liverpool, Cambridge, Oxford, Manchester y Edimburgo.

En la tercera década, de 1981 a 1990, el intercambio académico con instituciones nacionales y extranjeras fue muy productivo y exitoso. Al mismo tiempo el departamento se encargaba de realizar conferencias magnas, tanto en la Ciudad de México como en otros lugares del país. Además se graduaron 50 estudiantes de maestría y 12 de doctorado.

En julio de 1982 se organizó en Oaxtepec la cuarta Escuela Latinoamericana de Matemáticas sobre álgebra y topología de variedades y en diciembre de 1984, en las instalaciones del Cinvestav, se llevó a cabo la Conferencia Internacional sobre Geometría Algebraica, Topología Algebraica y Ecuaciones Diferenciales, en honor del centenario del nacimiento del profesor Solomon Lefschetz. En total, asistieron 205 matemáticos. Hubo siete conferencias magnas y 60 en tres sesiones paralelas.

Para 1986 se celebró el 25 aniversario del departamento con varias actividades: la edición facsimilar del libro *La perspectiva y especularia*, de Euclides (originalmente impreso en Madrid en 1585, por orden del rey Felipe II), la impartición de tres conferencias sobre matemáticas aplicadas a la biología, por parte del profesor Wieslaw Szlenk (de la Universidad de Varsovia), y la publicación de los textos correspondientes.

Ese mismo año, Gitler es nombrado miembro de El Colegio Nacional y Rolando Cavazos Cadena, bajo la dirección académica de Onésimo Hernández Lerma, se convierte en el primer alumno del Departamento de Matemáticas en recibir el recién creado Premio

Weizmann en Ciencias Exactas, por la Academia Mexicana de Ciencias, para distinguir las mejores tesis doctorales.

La cuarta década, de 1991 a 2000, se caracteriza por la expansión del departamento con nuevos programas de estudio y nuevos edificios de trabajo. Esta etapa está marcada por la primera jefatura de Onésimo Hernández Lerma y la segunda para Enrique Ramírez de Arellano.

En 1996 varios eventos coincidieron, el primero fue conmemorar el 35 aniversario del departamento, mientras que Isidoro Gitler y José Martínez Bernal organizaron el primer Taller de Investigación sobre Aspectos Combinatorios y Computacionales de Optimización, Topología y Álgebra, el cual se realiza cada dos años, y en noviembre de 2016 tuvo su undécima versión.

También se revisaron los planes de estudio. Como resultado, se crearon los cursos básicos de análisis funcional, combinatoria, geometría diferencial y probabilidad. Así mismo se actualizaron los cursos básicos clásicos de álgebra, análisis real, variable compleja y topología. De las decisiones más relevantes fue que el Consejo Académico Consultivo del Cinvestav aprobó la opción en matemáticas computacionales para la maestría.

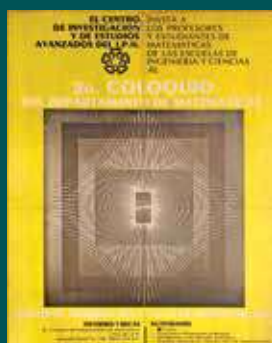
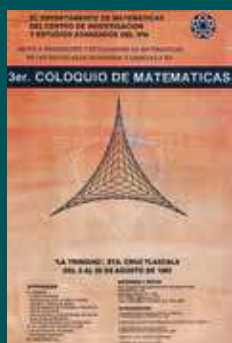
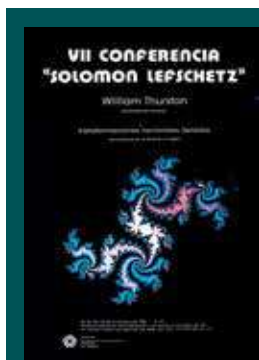
A finales de 1996 y principios de 1997, el Departamento de Matemáticas se muda al nuevo edificio que actualmente ocupa. En junio de 1997 se publica el primer fascículo de *Morfismos*, revista propia de profesores y estudiantes del área.

Arturo Cueto Hernández es el segundo alumno del departamento en recibir el premio Weizmann en 1999, su director de tesis es Gabriel Villa Salvador.

La cuarta década termina con noticias relevantes, en 2000 se publicaron 40 artículos de investigación, lo que significa un aumento de 50 por ciento con respecto a años anteriores. La suma total de alumnos graduados asciende a 193 de maestría y 50 de doctorado.

La quinta década, de 2001 a 2010, se caracteriza por la expansión hacia Querétaro. Esta etapa la

A lo largo de su historia se han realizado coloquios internacionales con la participación de los más destacados investigadores en la materia





Fotografía: archivo Cinvestav

inauguran Onésimo Hernández Lerma al recibir el Premio Nacional de Ciencias y Artes en 2001, y Luis Gorostiza Ortega al ser nombrado Investigador Nacional Emérito del SNI, quien además es *Fellow* del Instituto de Matemáticas y Estadísticas y de la Sociedad Americana de Matemáticas, ambas instituciones en Estados Unidos. Por su parte, Carlos Valencia recibe en 2004 el premio Weizmann, su doctorado lo dirige Rafael H. Villarreal.

A partir de 2005, con Isidoro Gitler en la jefatura, se consolidan las conferencias Solomon Lefschetz y se crean las Conferencias José Ádem para jóvenes matemáticos de prestigio internacional. También en esta etapa se organizan las *NAS-Cinvestav Lectures* con la colaboración de la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos.

En 2006, celebran su 45 aniversario inaugurando una nueva sede en la Unidad Querétaro del Cinvestav. Michael Porter y Vladislav Kravchenko son los primeros en mudarse, actualmente son cuatro investigadores ya establecidos en esa ciudad. En 2010 se graduaron los primeros dos estudiantes de maestría y en 2012 el primer alumno de doctorado.

Onésimo Hernández Lerma recibe la Presea Lázaro Cárdenas y el Premio Scopus en 2008. Para 2009 le otorgan el Premio Thomson Reuters. Ernesto Lupercio obtiene el Premio S. Ramanujan en 2009. Mientras que en 2010, Elías Micha es merecedor del Premio Scopus. Wilson A. Zúñiga recibe el Premio Alejandro Ángel Escobar de Colombia e Isidoro Gitler es electo presidente de la Sociedad Matemática Mexicana. Esta etapa termina con una suma total de 279 alumnos graduados de maestría y 81 de doctorado.

La sexta década, a partir de 2011, inicia con la segunda jefatura de Onésimo Hernández Lerma. Este mismo año Eduardo Santillan Zeron recibe el Premio de Investigación de la Academia Mexicana de Ciencias. Onésimo Hernández es nombrado *Fellow* de la Sociedad Americana de Matemáticas en 2013 e

Investigador Nacional Emérito del SNI en 2014; más aún, su alumno, David González Sánchez también recibe el premio Weizmann.

Este semillero de investigadores permite que su planta académica se desarrolle en varios ámbitos, ejemplo de ello son Carlos Valencia y dos de sus estudiantes de doctorado, Carlos Alfaro y Marco Vargas, quienes en conjunto con los laboratorios Hewlett-Packard, en Palo Alto, Estados Unidos, han generado cinco patentes internacionales, presentadas en 2012, que han jugado un papel importante en el desarrollo de un proyecto de asignación de recursos para esa empresa.

La jefatura del departamento la ocupa Iakov Mostovoi desde 2015 y la planta académica la forman 28 investigadores dedicados a varias ramas: siete en análisis funcional y complejo, seis en topología algebraica, cuatro en álgebra conmutativa, cuatro en probabilidad y procesos estocásticos, tres en combinatoria y computación, dos en física-matemática, uno en matemáticas aplicadas y uno en teoría de números. A la fecha se han graduado 311 alumnos en la maestría y 111 en el doctorado.

Cabe mencionar que estos programas son de los mejores en Latinoamérica y de los únicos en su tipo, considerados como de Competencia Internacional en el Padrón Nacional de Posgrados de Calidad del Conacyt.

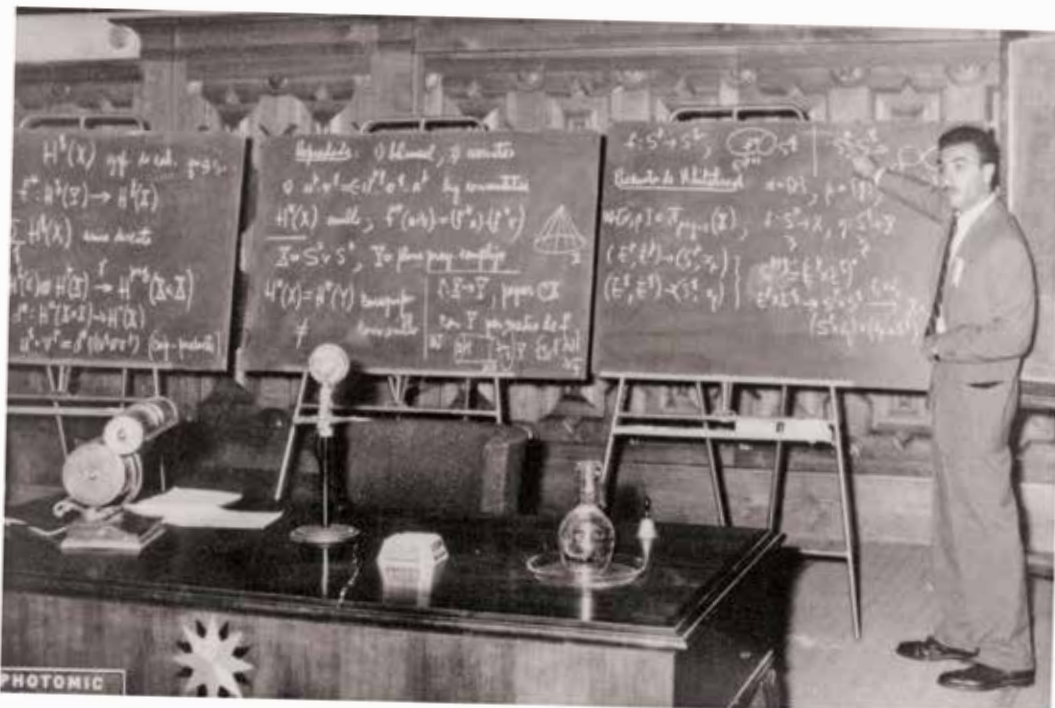
En palabras de José Ádem, la creación del Departamento de Matemáticas del Cinvestav, respondió a la necesidad de contar con "investigación matemática que irradie su influencia benéfica sobre las otras ramas de la ciencia".

Uno de los grandes logros es la profesionalización de las matemáticas en México. En la actualidad es líder en el desarrollo de esta disciplina en el país, ya que ha alcanzado una mayor eficacia en la obtención de grados, así como en la publicación de artículos originales e investigación. 🌀

Primer edificio
que albergó
al Departamento
de Matemáticas

JOSÉ ÁDEM

PASIÓN POR LA TOPOLOGÍA



Fotografías: archivo Cinvestav



Jesús González
Departamento de Matemáticas
jesus@math.cinvestav.mx

El miembro fundador del Cinvestav y, en particular, del Departamento de Matemáticas, José Ádem, nació en Tuxpan Veracruz el 27 de octubre de 1921. Dos décadas después ingresó a la Escuela Nacional de Ingenieros de la Universidad Nacional Autónoma de México y de manera simultánea, estudió la carrera de matemáticas en la Facultad de Ciencias. El destacado estudiante, tras terminar sus estudios de la licenciatura en 1946, fue profesor de ambas instituciones, y realizó cursos de posgrado y seminarios de 1946 a 1948 en la citada facultad.

Durante ese tiempo conoció al prominente matemático Salomon Lefschetz, quien lo alentó a continuar sus estudios de doctorado en la Universidad de Princeton en 1948, en donde, asesorado por

Norman Steenrod, otro de los pilares de la topología moderna, obtuvo el máximo grado en 1954. La tesis de José Ádem establece las ahora llamadas *relaciones de Ádem*, es decir, la presentación multiplicativa de uno de los objetos centrales en la topología algebraica de la segunda mitad del siglo XX: el *álgebra de Steenrod*, consistente de las operaciones estables en la cohomología singular con coeficientes cíclicos primarios.

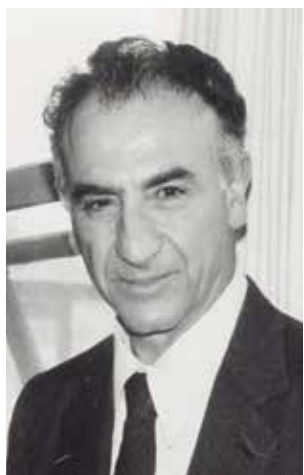
A su regreso a México, en 1954, se incorporó al Instituto de Matemáticas de la UNAM hasta 1961, año en el que fue convocado por Arturo Rosenbluth para participar en la fundación de lo que a la postre se convertiría en uno de los centros neurálgicos en la contribución mexicana al desarrollo científico internacional, nuestro querido Cinvestav.

La nueva institución comenzó con un puñado de departamentos académicos y José Ádem fue el primer jefe del Departamento de Matemáticas, cargo que desempeñó de forma brillante por 12 años, formando una escuela y una tradición que continúan vigentes hasta nuestros días.

Un decidido impulsor de las matemáticas en México y en América Latina: fue delegado del país ante la Unión Matemática Internacional

El connotado matemático desarrolló las fórmulas conocidas como *Relaciones de Ádem*

y, a partir de 1968, miembro del Comité Internacional de la Escuela Latinoamericana de Matemáticas, así como coordinador del Programa Multinacional de Matemáticas de la OEA (1969-1975). Fue miembro de la Sociedad de Matemáticas Mexicana, así como indicador de la Segunda Serie del *Boletín de la Sociedad Mexicana de Matemáticas* en 1956, publicación de la cual fue editor desde entonces hasta su fallecimiento, sentando con ello las bases de lo que a la fecha es la revista mexicana de investigación matemática más influyente a nivel internacional.



con el Premio Weizmann de la Academia Mexicana de Ciencias a las mejores tesis doctorales en las áreas de Ciencias Exactas. Así mismo, dos de nuestros egresados recibieron el Premio Rosenblueth en Ciencias Exactas en 2003 y 2013, respectivamente.

Nuestros graduados de doctorado están presentes en todos los programas importantes de matemáticas del país, y nuestros graduados de maestría son aceptados en los centros más destacados del quehacer matemático alrededor del mundo, una tradición que nos enorgullece.

El investigador fue becario de las fundaciones Higgins, Rockefeller, Alfred P. Sloan y obtuvo la Beca Guggenheim, además fue miembro de la Sociedad Americana de Matemáticas

Como científico consolidado, sus contribuciones en topología son abundantes y trascendentes. Por ejemplo, junto con Samuel Gitler, otro gran pilar de las matemáticas en México, introdujo las *operaciones cohomológicas secundarias*, lo que les permitió obtener contribuciones revolucionarias en el problema de inmersión euclidiana de espacios proyectivos. De hecho, estas ideas fueron el preludio del trabajo revolucionario de Frank Adams sobre la relevancia de las operaciones cohomológicas de orden superior en la teoría de homotopía.

Por otra parte, los resultados geométricos en el problema de inmersión están íntimamente relacionados con la naturaleza algebraica de los mapeos bilineales que preservan norma Euclidiana, y José Adem realizó un estudio profundo de los mismos a partir de un análisis virtuoso de las álgebras de Cayley-Dickson. En particular, en 1978, impartió la serie de pláticas *Álgebra lineal, Campos Vectoriales e Inmersiones*, dentro de la III Escuela Latinoamericana de Matemáticas.

Por sus logros científicos y académicos, ingresó a El Colegio Nacional el 4 de abril de 1960, y en 1967 obtuvo el Premio Nacional de Ciencias y Artes, los dos mayores reconocimientos que un científico mexicano puede recibir de su propia patria. En agosto de 1981 la comunidad matemática internacional reconoció la distinguida trayectoria científica de José Adem, a través del simposio *Algebraic Topology in Honor of José Adem*, evento realizado en México, y en el que participaron una pléyade de matemáticos líderes en la topología algebraica y diferencial del momento.

El Departamento de Matemáticas del Cinvestav

Con la guía de esta gran figura científica, que falleció a los 70 años (14 de febrero de 1991) el florecimiento del Departamento de Matemáticas fue vertiginoso, logrando una consolidación y reconocimiento internacional indiscutible, apenas tras la primera década de su existencia.

Actualmente el Departamento cuenta con una planta académica de 28 profesores que laboran en la Ciudad de México y en Querétaro. Cuatro de nuestros egresados han sido distinguidos

Nuestros investigadores, cuyos trabajos son publicados en las revistas del mayor nivel internacional, han sido acreedores de algunas distinciones nacionales e internacionales más importantes que otorga la comunidad científica. Más de 30 por ciento de nuestros investigadores están clasificados en el nivel III del Sistema Nacional de Investigadores, mientras que 50 por ciento son miembros regulares de la Academia Mexicana de Ciencias. Tres de los cinco matemáticos que han sido galardonados con el Premio Nacional de Ciencias y Artes son investigadores de nuestro departamento.

Así mismo, los dos únicos matemáticos que han recibido el honor de ser miembros de El Colegio Nacional fueron los fundadores del departamento. Hemos publicado más de 900 artículos en revistas de prestigio internacional y más de 2 mil 200 trabajos de matemáticas en general. El promedio anual de producción de artículos por investigador es de 1.2, que está por encima del promedio de investigación en matemáticas en Estados Unidos, que es de 0.7.

El Departamento de Matemáticas del Cinvestav es firme creyente y ejecutor del principio de fundamentar la clave del éxito académico en el equilibrio en investigación, formación de recursos humanos y vinculación con otros sectores educativos y productivos del país, así como en la importante labor de difusión de las matemáticas. Nos desarrollamos en un ambiente fértil, de diversidad de cursos y seminarios sobre temas de frontera, aunado a la organización de coloquios, talleres y eventos de trascendencia internacional.

Consideramos, pues, que la vida institucional y el ambiente académico ofrecido a nuestros estudiantes, es comparable al de las mejores universidades del mundo. Nuestro reto más grande es seguir creciendo sin demeritar la calidad alcanzada, y llevar la experiencia acumulada a germinar en los distintos estados del país, y a impactar en todos los rincones académicos del mundo.

El reto es grande, pero nuestra preparación, vocación y determinación es mayor aún. Miramos, pues, con optimismo hacia un futuro científico y académico fructífero. ☺

LA INFLUENCIA DE SAMUEL GITLER



Ernesto Lupercio Lara
Departamento de Matemáticas
lupercio@math.cinvestav.mx

Las matemáticas del siglo XX se caracterizaron por los métodos algebraicos algo introspectivos que invadieron primero toda la matemática y, poco a poco, han seguido su avance hacia el resto de las ciencias.

Cuando digo que el *álgebra abstracta* tiene un carácter introspectivo a lo que me refiero es que, mientras el álgebra clásica de la civilización persa (Al-Juarismi, Omar Jayam) es un arte simbólico en donde una letra como x es, en esencia, un número desconocido y una ecuación tiene ya carácter propio y es algo así como una clase infinita de problemas, en el álgebra abstracta, la estructura misma de los procesos de solución, la estructura misma de la matemática es lo que está en juego.

Hay otra importante complementariedad entre el álgebra clásica y la abstracta: el álgebra clásica sirve para dar soluciones explícitas a problemas (por ejemplo: si el perímetro de un terreno rectangular es 18 y su área es 14, ¿cuáles son sus lados?); en el álgebra abstracta, con frecuencia, lo que se logra es explicar por qué una problema (una ecuación) es imposible de resolver. Esto se ve desde los orígenes de la disciplina con Galois cuando logra demostrar que es imposible resolver la ecuación de quinto grado por radicales usando las ideas que fundan el álgebra abstracta (teoría de grupos).

Fue René Descartes el que revolucionó la ciencia al percatarse de que el álgebra y la geometría están íntimamente relacionados: a los matemáticos contemporáneos ambas disciplinas les son indistinguibles, pero esto requirió de la revolución cartesiana.

Fue Georg Cantor el que revolucionó la matemática del siglo XX con sus meditaciones (filosóficas, casi metafísicas) y su resultante teoría de los conjuntos, teoría que reclama a toda la matemática y que



refuerza al álgebra abstracta sobre la clásica en los métodos del siglo XX y XXI. La topología de conjuntos es descendiente directa de esta tradición.

En la tradición del cálculo y la mecánica fue Poincaré el que funda con su *Analysis situs* (1895) la topología como hoy la entendemos, pero es Noether quien logra la síntesis entre la tradición Cantor-Hilbert y Poincaré.

El capítulo siguiente en la historia de la topología algebraica se parece algo a la historia de la mecánica cuántica, en donde docenas de brillantes individuos de diversas partes del mundo hicieron contribuciones fundamentales al asombroso edificio intelectual en el que se convertiría, edificio cuya sombra cubriría finalmente toda la matemática contemporánea de una u otra manera. Por ello, para Dieudonné, el siglo XX es “el siglo de la topología algebraica en matemáticas” (J. Dieudonné, *A History of Algebraic and Differential Topology*, 2009).

Dos mexicanos son parte del selecto grupo de matemáticos cuyos nombres estarán para siempre ligados a esta épica científica: José Ádem y Samuel Gitler, ambos miembros fundadores del Cinvestav, ambos miembros de El Colegio Nacional.

Sus aportaciones se concentran en una amplia obra, que se compone de una veintena de libros, casi 80 artículos científicos y en la memoria de diversos congresos sobre su campo de estudio

La complementariedad entre el álgebra clásica y el álgebra abstracta se vio reflejada en los énfasis de la geometría (algebraica) de los siglos XIX y XX. Así es como los métodos del álgebra abstracta fueron fundamentales para la *teoría de obstrucciones* que permite demostrar la imposibilidad de resolver problemas geométricos en matemáticas (y, con un agudo ingenio, esto se puede aprovechar para demostrar la existencia de soluciones a otros problemas, como es el caso del teorema fundamental del álgebra o el teorema del punto fijo de Brouwer, por ejemplo).

Samuel Gitler fue uno de los maestros del siglo XX en el uso de la teoría de obstrucciones para problemas geométricos de enorme dificultad; su maestría técnica era incomparable.

Uno de los problemas que atacó fértilmente Gitler (junto con Ádem y otros colaboradores) fue el *problema de inmersión*. En este problema se pregunta cómo geometrías proyectivas con puntos al infinito en cualquier dimensión (Brunelleschi (1404-1472), Kepler, Desargues (1591-1661), Monge, Chales, Pincele, etcétera) pueden encajarse en la geometría euclidiana usual.

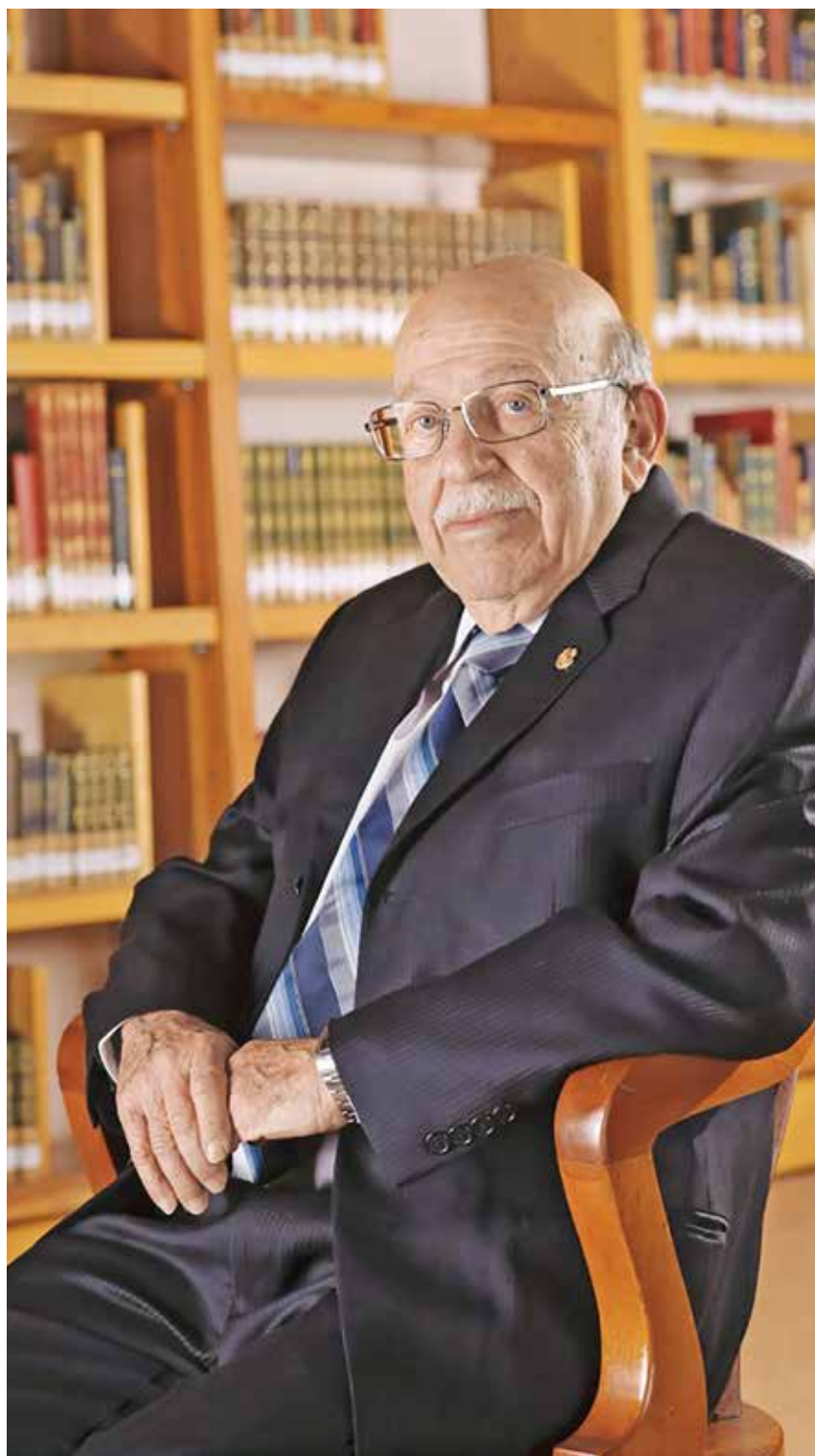
Sólo por dar un ejemplo: usando sofisticadas obstrucciones en topología algebraica, en 1968, Gitler demostró que si la dimensión de la geometría proyectiva es 20, entonces el espacio ambiente euclidiano ordinario óptimo en el que se puede hallar una inmersión tiene dimensión 34.

El *opus magnum* de Gitler fue, sin duda, *A Septum hocce Cohomology is a certain Cyclic Module over the Steenrod Algebra* (Topology 1972), en colaboración con Ed Brown, una de las obras más importantes de la topología algebraica del siglo XX. Se convirtió en obra fundamental de la teoría de homotopía moderna yendo más allá de su motivación original.

La influencia de Samuel Gitler ha trascendido su obra escrita; en la mejor tradición socrática, su fortaleza fue la comunicación oral. Platón, en la *Séptima carta*, compara al verdadero proceso educativo como al de la flama (de la pasión del conocimiento filosófico) que enciende al pupilo (a diferencia de la simple transmisión de datos de maestro a alumno). Yo conocí de cerca a Gitler como mentor y eso fue lo que principalmente me transmitió toda su vida: la flama de la pasión por la matemática, flama que no se apagó jamás durante su vida.

El arduo camino de la fundación del Cinvestav y de la Escuela Superior de Física y Matemáticas del IPN (en donde yo fui estudiante) aseguran el lugar histórico de Samuel Gitler en la matemática mexicana.

Y así se pueden nombrar con facilidad matemáticos en cuya vida científica y personal influyó profundamente Samuel: Luis Astey, Guillermo



Fotografía: archivo Cinvestav

Pastor (ITAM), José Seade (UNAM), Elías Micha, Jesús González, Miguel Xicoténcatl, Alberto Verjovsky (UNAM), Luis Moreno, Hugo García Compeán y todos nuestros estudiantes y todos los estudiantes de nuestros estudiantes en México y en el mundo. Todos somos un testimonio de la amorosa generosidad y de la influencia matemática de Samuel Gitler. 

Obtuvo su doctorado en la Universidad de Princeton, especializándose en topología algebraica

EL GENIO DISCRETO DE LAS MATEMÁTICAS CONTINUAS



Eduardo Santillan Zeron
Departamento de Matemáticas
eszeron@math.cinvestav.edu.mx

Cuando se escribe sobre la historia del Departamento de Matemáticas del Cinvestav, es obligatorio mencionar dos resultados publicados por sus fundadores y que revolucionaron la topología algebraica; me refiero a las *Relaciones de Ádem* descubiertas por el profesor José Ádem y al Espectro de Brown y Gitler construido por los profesores Edgar H. Brown Jr. y Samuel Gitler.

Sin embargo, hay un tercer resultado que también cambió el área de varias variables complejas y que si no es muy conocido por el público en general, no es porque carezca de importancia, sino porque sus autores son realmente modestos. Me refiero a las fórmulas o núcleos de Henkin y Ramírez descubiertas casi simultáneamente en 1969 por Gennadi M. Henkin y Enrique Ramírez de Arellano, cuando eran estudiantes de doctorado con 27 y 32 años de edad, respectivamente.

Henkin obtuvo su doctorado en ciencias en la Universidad Estatal de Moscú en 1973, después trabajó en la Universidad Pierre y Marie Curie París 6 y desgraciadamente falleció el 19 de enero de este año. Por otro lado, Ramírez de Arellano obtuvo en 1969 su doctorado en la Universidad de Göttingen, Alemania, y desde entonces ha sido investigador del Cinvestav.

Mucho se puede decir sobre el trabajo de Ramírez de Arellano, fue jefe del Departamento de Matemáticas en dos ocasiones, ha sido editor del *Boletín de la Sociedad Matemática Mexicana* por 30 años y a la fecha es uno de los pocos investigadores que se quedan a trabajar hasta altas horas de la noche.

Cuando uno sale del Departamento de Matemáticas a las ocho de la noche, su oficina es la única que está iluminada, y se le puede ver a través de la ventana trabajando en su computadora. Sin embargo, lo que más llama la atención es su sencillez, modestia

Fotografía: Amando Eduardo Pérez

y discreción, aun después de haber cambiado para siempre las matemáticas con sus resultados. Como anécdota puedo comentar que hace tiempo Alberto Verjovsky discutía en una conferencia sobre la importancia de los núcleos de Henkin y Ramírez en las matemáticas. Ramírez de Arellano, quien estaba presente entre el público, solamente se sonrojó al oír las palabras de elogio a su descubrimiento.

Otra faceta del investigador del Cinvestav, que llama la atención, es su amor por la música, en especial por la tradicional o popular. Amor e interés que no ha disminuido con el tiempo, pues como él mismo dice: "la música popular la hacen muchos y la repiten más".

Mireya Maldonado escribió en 1994 un artículo interesante para *Ciencia y Desarrollo* donde describe cómo Ramírez de Arellano y sus colegas Beno Lieberman (físico), Eduardo Llerenas (bioquímico) y Carlos Perelló (matemático) pasaron todos los fines de semana, desde 1969 hasta el sensible fallecimiento de Beno Lieberman en 1985, explorando los pueblos y caseríos de México para grabar con equipo profesional la música tradicional interpretada por los grupos o conjuntos locales. Como resultado de este trabajo de rescate etnomusical fueron honrados en 1981 con el premio *Rolex Awards for Enterprise*.

Su rescate etnomusical consta de 15 mil grabaciones, 800 grupos musicales entrevistados, 60 por ciento de la regiones musicales de México representadas en los archivos, 85 títulos producidos por Discos Corasón.

Regresando a los núcleos de Henkin y Ramírez, hace falta un poco de historia para entender su importancia. Entre 1797 y 1814, Leonhard Euler y Augustin-Louis Cauchy introdujeron el concepto central del análisis complejo, las funciones holomorfas; esto es, aquellas funciones que tengan primera derivada en el plano complejo, y que por ende tienen todas las derivadas posibles y hasta series de potencias. Alrededor de 1830 Cauchy demostró que el valor de toda función holomorfa $f(b)$ puede ser determinado integrando el producto de la misma $f(z)$ por el núcleo de Cauchy $1/(z-b)$ en cualquier curva cerrada simple que rodee al punto b .

La importancia de este resultado es evidente al considerar una alegoría: si el paisaje en México fuera una función holomorfa, bastaría con conocerlo en las fronteras y costas para poder determinar (con una simple integral) cómo es el paisaje en cualquier lugar dentro del país; desafortunadamente no es una función de este tipo.

El núcleo de Cauchy es obviamente una piedra angular del análisis complejo. Así, cuando Friedrich Hartogs y Kiyoshi Oka crearon el área de varias variables complejas, alrededor de 1930, un siglo después de los trabajos de Cauchy, se hizo evidente la necesidad de construir núcleos para varias variables complejas. Sin embargo, no fue una tarea fácil, ya que la teoría de dos o más variables

complejas es completamente diferente de la teoría de una variable compleja, ya que en esta última las funciones holomorfas pueden tener singularidades puntuales. La función $1/z$ tiene solamente una singularidad en el origen $z=0$. Mientras que Hartogs demostró que ninguna singularidad de una función holomorfa de varias variables complejas puede ser un conjunto acotado, pues toda singularidad se extiende hasta el infinito.

Algunos de los primeros núcleos para poliedros de varias variables complejas fueron construidos por Stefan Bergman y André Weil en 1935 y 1936. Tres años después, Enzo Martinelli y Salomon Bochner descubren un núcleo para cualquier abierto. Este resultado trajo buenas y malas noticias a las varias variables complejas. Por el lado positivo, ya se tenía una fórmula para determinar el valor de toda función holomorfa $f(b)$, integrando el producto de la misma $f(z)$ por el núcleo de Bochner y Martinelli en la frontera de cualquier conjunto abierto regular acotado que contenga al punto b . Las malas noticias fueron que este núcleo no es una función holomorfa. Fue desconcertante ver cómo se obtiene una función holomorfa a partir de un núcleo que no lo es. En palabras de Díaz Mirón: y *Venus nace de la amarga espuma*.

Finalmente llegamos a los núcleos de Henkin y Ramírez, que fueron descubiertos casi simultáneamente por Gennadi M.

Henkin y Enrique Ramírez de Arellano en 1935 y 1936.

Estos núcleos nos permiten recuperar el valor de toda función holomorfa $f(b)$ conociendo exclusivamente los valores de la misma $f(z)$ en la frontera de un abierto U estrictamente pseudoconvexo; sin embargo, la novedad es que estos núcleos sí son funciones holomorfas.

Es casi imposible enumerar todas las aplicaciones que se obtienen usando su holomorphicidad: de entrada, podemos resolver con ellos ecuaciones diferenciales y encontrar buenas estimaciones o cotas de crecimiento para las soluciones; más aún, también podemos construir funciones holomorfas a partir de funciones que no lo son.

Tal vez la forma más fácil de entender el verdadero impacto que han tenido estos resultados en el área de varias variables complejas, es el buscar los apellidos Henkin y Ramírez en *Google scholar* y revisar las casi dos mil referencias que se enlistan. Personalmente creo que hacen falta más investigadores como Ramírez de Arellano, siempre modesto, aun después de haber cambiado para siempre las matemáticas con sus resultados.



Portada: Discos Corasón

Además de su trabajo científico, Enrique Ramírez dedicó parte de su tiempo a recuperar la riqueza musical de los grupos étnicos de México

CRISPR-CAS9: ARREGLOS A LA MEDIDA



Guillermo Cárdenas Guzmán
Subdirección de Intercambio Académico
gcardenas@cinvestav.mx

Ensamblar organismos como si fuesen diminutos rompecabezas a partir de bloques de información genética para dotarlos con funciones preprogramadas o ciertos rasgos específicos era hasta hace unas décadas materia de obras de ciencia-ficción como la famosa novela *Un mundo feliz*, de Aldous Huxley.

Los avances de las ciencias genómicas han ayudado a materializar, al menos en parte, ese viejo anhelo: con ayuda de la ingeniería genética, científicos y empresas están diseñando organismos "a la carta" con una amplia gama de aplicaciones: desde fármacos como la insulina o enzimas de uso industrial hasta cultivos resistentes a la sequía.

Sin embargo, la llegada de una nueva y poderosa herramienta para la edición de genes está desencadenando una nueva revolución en los laboratorios y centros de investigación que pronto podría transformar de manera radical los contornos de nuestra sociedad y a la misma especie humana.

Palíndromos microbianos

El origen de esta herramienta se remonta a los años 80, cuando biólogos moleculares japoneses identificaron en muchas bacterias segmentos de ADN con un orden semejante a los palíndromos, es decir a palabras que se leen igual de izquierda a derecha o de derecha a izquierda como: Ana, reconocer, sometemos, amor a Roma, etcétera.

Pero en el "alfabeto" genético existen sólo cuatro letras en vez de las 27 que usamos en el español (A, C, G y T) las cuales pueden agruparse en segmentos como el siguiente: AATGTCCTGTAA. Por esta razón, los científicos los denominaron CRISPR, *Clustered Regularly*

Interspaced Short Palindromic Repeats o Repeticiones Palindrómicas Cortas Agrupadas y Regularmente Interesparadas.

Este sistema le sirve a las bacterias para identificar y neutralizar virus invasores mediante cortes precisos en el ADN viral, por lo cual otros investigadores de la Universidad de Stanford y el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) pensaron que podría usarse junto con plantillas de ARN guía para modificar genes, de la misma forma en que un programa de edición computarizado permite a un novelista cambiar partes de su obra.

Los científicos no se equivocaron: esta nueva herramienta para cortar y pegar hizo posible crear mutaciones en

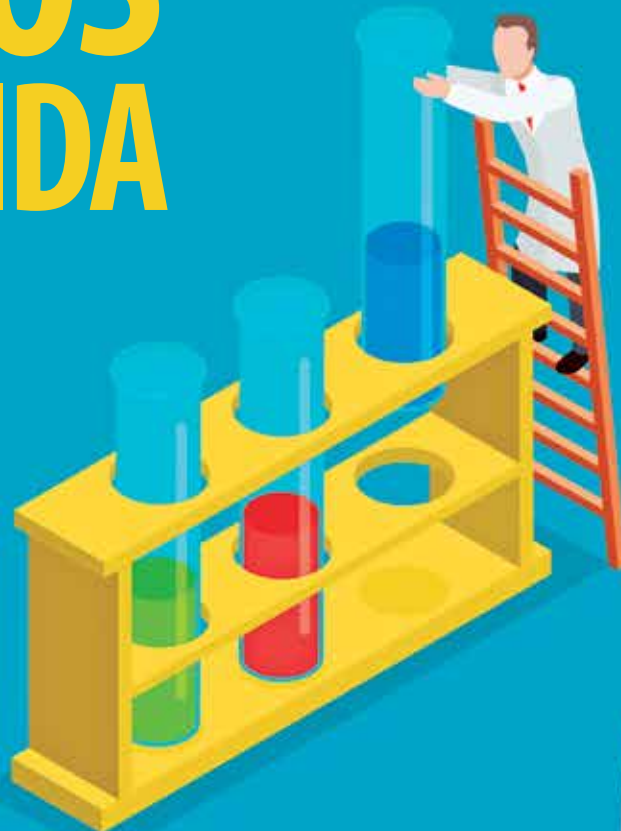


Imagen: Shutterstock

los genes deseados o introducir nuevas secuencias genéticas con una rapidez y precisión nunca antes vistas. (La historia detallada de CRISPR y sus descubridores puede consultarse en el artículo de Agustino Martínez en esta misma edición).

A diferencia de otros instrumentos de edición que ya existían (TALEN y ZNF, que serían el equivalente al viejo sistema operativo MS-DOS para las computadoras), CRISPR redujo los tiempos y costos de modificar el código genético de los organismos, pues permitió editar “de un solo golpe” grupos de genes en vez de uno por uno.

Revolución en el laboratorio

Tan sólo en el portal *Pubmed*, el número de reportes de estudios donde se utilizó el término CRISPR-Cas9 en el título aumentó desde poco más de 50 en 2011 hasta 700 en 2015, según observa el investigador Agustino Martínez Antonio, del Cinvestav Unidad Irapuato.

Esta herramienta hará posible a los científicos diseñar y ensamblar circuitos genéticos que no existen en la naturaleza, capaces de modificar la maquinaria original de las células para facilitar estudios básicos o bien para propósitos específicos como la producción de fármacos o biocombustibles.

Esto es apenas el comienzo, ya que por la precisión de “corte” que tiene hará factible también una nueva generación de cultivos modificados genéticamente, con ciertos rasgos deseables, como resistencia a sequía o mayor contenido de nutrientes, pero que técnicamente no se consideran transgénicos.

Al menos así lo ha expresado el Departamento de Agricultura de Estados Unidos, el cual ha dicho que no someterá a ninguna regulación al gigante de la industria química Dupont-Pioneer, quien anunció su objetivo de producir una variedad híbrida de maíz ceroso de alta calidad apoyado con esta relativamente novedosa tecnología.

Asimismo, el auge explosivo que está teniendo CRISPR-Cas9 ha llevado a muchos expertos a especular sobre la manera en que podrá impulsar el desarrollo de terapias génicas (dirigidas a modificar un gen específico o grupos de genes relacionados con enfermedades).

Otros van más lejos y pronostican que esta herramienta, que ya se está utilizando en experimentos con modelos animales, plantas y hongos, podría ampliar la capacidad de los científicos para editar nuestro genoma desde los niveles embrionarios.

“Lo que esta herramienta ofrece –y los biólogos buscan– es especificidad: la capacidad para enfocarse y estudiar secuencias específicas de ADN dentro del vasto territorio del genoma”, señala un reporte sobre el tema escrito por Heidi Ledford en la revista *Nature*.

La autora del artículo titulado “CRISPR: la edición de genes es sólo el comienzo” señala que ahora los científicos pueden introducir proteínas hacia blancos definidos del ADN para encender o apagar genes a voluntad e incluso manipular circuitos biológicos completos, con el fin de descifrar los mecanismos celulares y las enfermedades.

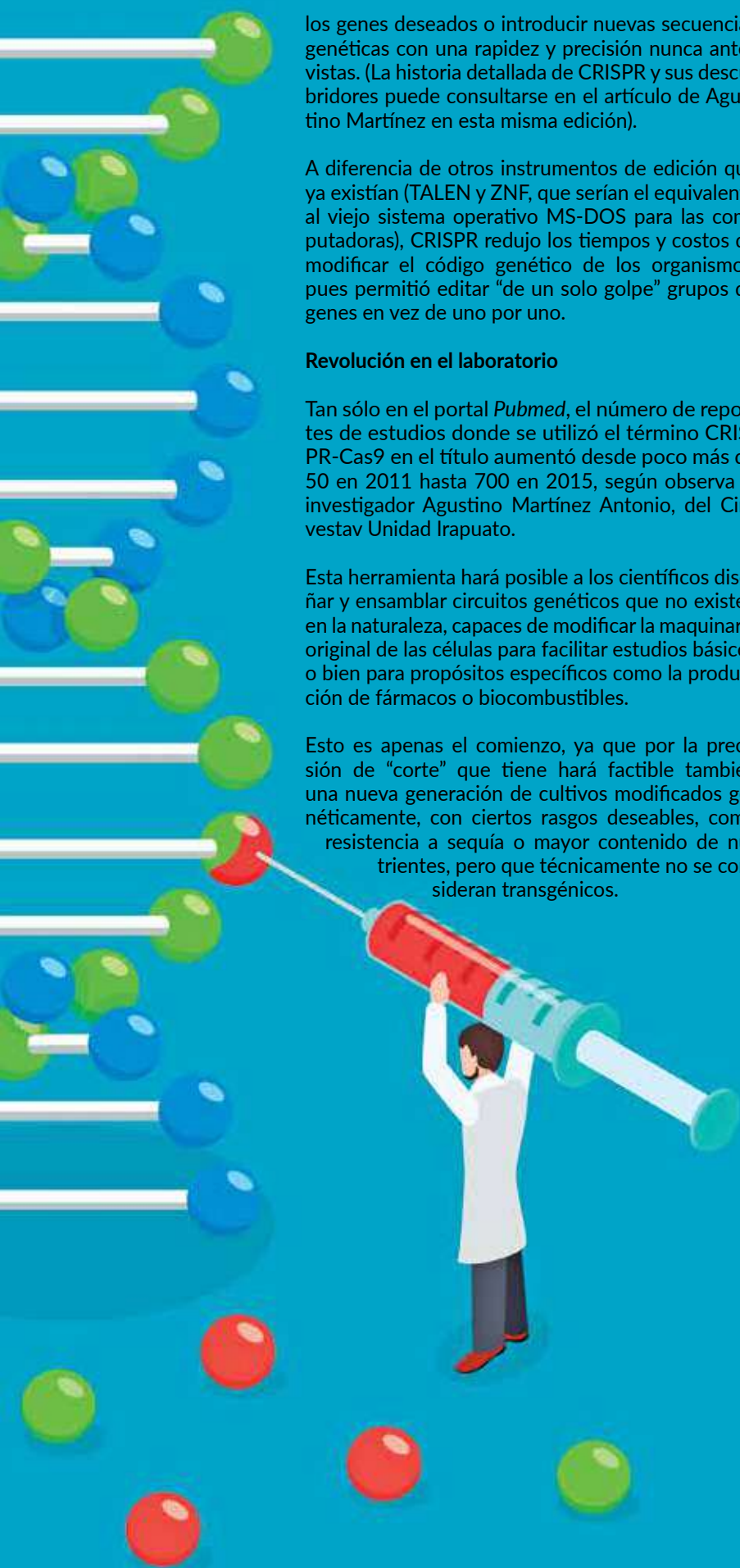
De un solo golpe

Luis Herrera Estrella, director de la Unidad de Genómica Avanzada (UGA) del Cinvestav Irapuato, recuerda que los científicos han usado desde hace muchos años otros métodos basados en enzimas para editar genes dentro de los organismos.

Estas enzimas, a las que se incorpora un dominio (información clave que les permite funcionar como “tijeras” moleculares para cortar fragmentos de ADN) facilitan el diseño de proteínas que luego son dirigidas específicamente hacia la secuencia de genes deseada.

El problema con esas tecnologías, explica Herrera Estrella, es que se deben diseñar enzimas para cada uno de los casos donde se busca una modificación genética. “Esto requiere un trabajo bastante intenso, además de la síntesis del gen completo, necesario para que se produzca esa proteína que va a hacer blanco en el gen que nos interesa”.

El aspecto revolucionario de CRISPR-Cas9, precisa el biotecnólogo, pionero mundial en la generación de plantas transgénicas, es que tiene dos compo-



nentes: una proteína no específica y fragmentos de ARN-guía, que combinados permiten editar de manera simultánea varios genes en un solo evento.

La proteína –en este caso Cas 9– se une al ADN del organismo y actúa como “tijera” molecular, permitiendo un corte muy preciso en la secuencia genética que se quiere modificar; por su parte el ARN-guía le señala a la primera en qué lugares realizar el corte.

Con esta plataforma, los científicos pueden hacer inserciones, deleciones (“borrado”) o modificaciones de genes; introducir sitios de unión para activarlos ante factores de expresión a los que antes no respondían (como cambios de temperatura) o simplemente inducir mutaciones para generar variabilidad genética.

Para Xavier Soberón Mainero, director del Instituto Nacional de Medicina Genómica, esta combinación de la proteína Cas 9 y el sistema CRISPR, a la que califica como “extremadamente eficiente, barata y versátil”, permitirá a los científicos hacer investigaciones cien veces más rápidas y precisas”.

Esto, anticipa el especialista en un comunicado de la Academia Mexicana de Ciencias, detonará un gran crecimiento en la investigación básica dentro de este campo, tanto en grupos que trabajan con organismos modelo (rata, pez cebra o mosca), como en los que prueban células humanas en cultivo para fines no reproductivos.

Pero además de su mayor eficacia y gran versatilidad, esta herramienta presenta otra ventaja más allá de lo tecnológico, pues los propietarios de las patentes correspondientes en el MIT han dispuesto que esté al alcance de cualquier investigador.

A diferencia de los otros métodos de edición de genes, cuyos derechos de explotación son detentados en forma exclusiva por las compañías que los desarrollaron, en el caso de CRISPR-Cas9 el MIT solamente pedirá el pago de una regalía estándar para autorizar su uso.

A la raíz de los males

Una de las aplicaciones más promisorias de CRISPR-Cas9 se enfoca a la remediación de enfermedades hereditarias atacando directamente a su raíz, es decir, al gen o grupos de genes involucrados con ellas.

Ejemplo de ello es el trabajo de un grupo de expertos de la Universidad de California en Berkeley, quienes inventaron una técnica de edición mejorada (basada en dicha herramienta) especialmente útil para reparar mutaciones que generan trastornos hereditarios como inmunodeficiencia severa combinada.



Portada: revista Nature

A partir de 2011 el número de reportes de estudios científicos enfocados al sistema CRISPR-Cas9 ha tenido un aumento exponencial

Cuando la proteína Cas 9 corta el ADN, los sistemas de reparación celulares de inmediato toman una pieza de ADN complementario, denominado “plantilla”, para resarcir el daño. El equipo liderado por Christopher Richardson pensó que al colocar directamente una plantilla sustituto en el sitio del corte –la cual incluía la secuencia genética que querían insertar– podría mejorar la eficiencia de la técnica.

El experimento realizado con cultivo celular y reportado en la revista *Nature Biotechnology* funcionó, pues los expertos de la Universidad de California lograron una tasa de reparación de las mutaciones indeseadas con una eficacia mayor a 60 por ciento.

“Nuestros resultados indican que los cortes de Cas 9 podrían ser diferentes a nivel molecular comparados con los que generan otras herramientas como TALEN y ZNF. Esto sugiere que la estrategia aplicada puede proveer mayor eficiencia de reparación de los cortes de Cas 9”, reportó Richardson.



Luis Herrera considera que los promisorios resultados obtenidos con este instrumento impulsarán las terapias génicas, sobre todo contra enfermedades monogénicas (relacionadas con un solo gen) como la fibrosis quística, ya que la ocasionadas por múltiples genes defectuosos (poligénicas) como la diabetes o el cáncer son mucho más complicadas.

Aun así, un equipo de oncólogos liderado por Lu You, del Hospital de la Universidad de Sichuan en China anunció sus planes para comenzar a tratar pacientes afectados por cáncer pulmonar mediante la inyección de células inmunitarias producidas con edición CRISPR-Cas9.

Los científicos chinos extraerán del torrente sanguíneo de los enfermos las células inmunitarias llamadas "T" para corregir un defecto en la producción de una proteína (PD-1) que regula la respuesta inmunitaria. Luego las multiplicarán en el laboratorio y las reintroducirán con la esperanza de eliminar el mal.

"Las enfermedades monogénicas hereditarias serán relativamente más fáciles de tratar, mientras que en el caso de las poligénicas, el panorama es más complejo", comenta al respecto el director de la UGA.

Dilema ético: ¿también nuestro genoma?

A medida que se populariza esta herramienta en el mundo, los científicos mexicanos también han comenzado a explotar su vasto potencial. En la UGA, dentro del Laboratorio de Fisiología e Ingeniería Metabólica de Plantas que dirige Luis Herrera, la utilizan en diversos experimentos, mientras que Stefan de Folter emplea como modelo de estudio plantas *Arabidopsis thaliana* producidas mediante CRISPR-Cas9.

Fuera del Cinvestav, grupos de investigación básica en el Instituto Nacional de Medicina Genómica, así como los institutos de Fisiología Celular y de Biotecnología (ambos de la UNAM) también utilizan esta herramienta de "copiado y pegado" de genes.

"En el caso de las plantas, estamos avanzando en el entendimiento de cuáles son los alelos (variantes de los genes) que les confieren tolerancia a la sequía, mayor eficiencia de uso de fertilizantes o mayor producción de granos en el maíz", explica Herrera Estrella.

Este conocimiento podrá aplicarse luego para introducir en cada variedad de planta los alelos deseables, de acuerdo con las características que buscan desarrollar los expertos, en vez de realizar el

proceso en forma convencional mediante cruces o transformaciones genéticas, que suele ser arduo y demorado. "Podemos aplicar lo mismo a otros organismos como hongos, bacterias o animales. Estas ventajas son las que auguran un promisorio futuro a esta tecnología", plantea el experto del Cinvestav.

Ahora bien, ¿es posible extender este tipo de experimentos para mejorar rasgos de nuestra propia especie? Un equipo de científicos chinos, de la Universidad Sun Yat-sen en Guangzhou, ya ha intentado mostrar que sí. En un artículo publicado en la revista en línea *Protein and cell*, reportaron el primer experimento de edición genética en embriones humanos, con la meta de eliminar el gen responsable de la Beta-talasemia, que es un trastorno sanguíneo potencialmente mortal.

Los resultados fueron previsiblemente desalentadores debido a la baja eficacia de estas modificaciones: de los 86 embriones "editados" que luego dejaron crecer *in vitro*, 71 sobrevivieron y 28 se dividieron exitosamente, pero sólo una diminuta fracción de estos últimos contenía el material genético de remplazo.

Aunque los científicos chinos usaron embriones defectuosos (no podían formar a un ser humano) y reconocieron los serios obstáculos que enfrenta esta técnica para llevarse a la práctica clínica, las críticas de amplios sectores de la comunidad científica no se hicieron esperar, con especial énfasis en las implicaciones éticas de esta clase de ensayos.

"Modificar una planta para que exprese cierto tipo de alelos y provea un beneficio a la humanidad no implica grandes dilemas éticos. En cambio, editar el genoma humano es mucho más controversial, ya que existen muchas enfermedades en las que no hay certidumbre sobre si valdría la pena corregir o no", reflexiona Luis Herrera.

El mayor problema, añade, es determinar bajo qué criterios debería practicarse la edición de genes y quiénes definen esos criterios, que desde luego no son universales, sino determinados por los diversos contextos sociales y culturales, como sucede con los valores o los cánones de belleza.

"Personajes sobresalientes en la historia de la humanidad como Mozart, Newton o Hawking tenían defectos genéticos. Si nos propusiéramos corregirlos antes de que la persona nazca o en etapas tempranas de su vida, quizá le negaríamos al mundo la posibilidad de tener uno de esos grandes genios", concluye. ☺

EL PODER DE LA EDICIÓN GENÓMICA



Agustino Martínez Antonio
Departamento de Ingeniería Genética
Cinvestav Unidad Irapuato
agustino.martinez@cinvestav.mx

Usted se ha preguntado si en un futuro cercano se podrán corregir, de manera precisa, enfermedades como las cataratas, padecimientos dermatológicos, distrofia muscular, cánceres, anormalidades de las hemoglobinas o alteraciones metabólicas como tirosinemia? Todo apunta a que la respuesta será afirmativa y esto gracias a la nueva herramienta molecular de edición genómica conocida como CRISPR-Cas.

Vamos por partes; la edición genómica se refiere al proceso de cambiar, quitar o adicionar pares de nucleótidos en los genomas, que tendría como resultado eliminar, corregir o añadir características a un organismo.

Con objeto de hacer posible lo anterior se requiere, por un lado, de la investigación experimental para identificar cuál es la secuencia genética que se intenta corregir, por ejemplo, en una enfermedad que se deba a cambios en uno o pocos nucleótidos en determinado gen (mutación génica). Esto implica que también se debe conocer la composición del gen que está bien y que no causa el padecimiento. Con esta información se tiene la certeza de qué componentes del genoma se corregirán para revertir dicha condición. En la actualidad se sabe de varios males asociados a un solo gen y estos son los más fáciles de corregir por edición genómica, a diferencia de aquellos que están asociados a muchos genes y ambientes, conocidos como enfermedades multifactoriales.

Por otro lado, se requiere de instrumentos moleculares para hacer dicha edición y aquí es donde toma relevancia el kit de herramientas conocido como CRISPR-Cas, del inglés: *Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats* y que en español sería: Repeticiones Palindrómicas Cortas

Agrupadas y Regularmente Interespaciadas –entendiéndose por palíndromo una frase que se lee igual de derecha a izquierda y viceversa–. Mientras que el término *Cas* proviene de *CRISPR associated genes* (genes asociados a).

Usted se preguntará ¿en qué consiste y cómo funciona? Primero nos avocaremos a describir brevemente cómo es que los investigadores se dieron cuenta de su existencia, luego en cómo se aplica y sus potencialidades.

El inicio de la historia de CRISPR-Cas se ubica en 1987, cuando un grupo de investigadores japoneses reportaron una serie de secuencias cortas repetidas colindantes a un gen que codifica para una enzima amino-peptidasa, objeto de su estudio. Gradualmente se siguieron reportando hallazgos de secuencias repetidas en otras bacterias y sobre todo, en arqueobacterias.

Pocos años después, con la disponibilidad de secuencias genómicas completas, se dieron cuenta que estas repeticiones estaban presentes en muchos genomas y que tenían en su vecindad series conservadas para proteínas con función desconocida. Además, entre éstas había fragmentos de Ácido Desoxirribonucleico, parecidos a ciertas regiones de ADN de virus y de plásmidos (pequeños fragmentos de ADN circulares que sirven, entre otras cosas, para transferir genes de resistencias a antibióticos entre bacterias). Con lo anterior, se propuso la hipótesis de que dichas secuencias pudieran ser un sistema de protección contra virus (inmunidad).

Se puede escuchar algo raro, pero las bacterias también son infectadas por virus, y en un proceso evolutivo de protección contra éstos, han desarrollado herramientas para cortar el ADN extraño. Las primeras “tijeras moleculares” identificadas fueron las enzimas de restricción y la más reciente, la CRISPR-Cas. Retomando el punto, en 2011 los investigadores no tardaron en comprobar la hipótesis de que este sistema funciona como protección contra virus y que, además, cuando este sistema de secuencias repetidas y sus genes aledaños son transferidos a otras bacterias muy diferentes, también brindan protección al ser expuestas a estos virus.

A partir de entonces se desencadenaron rápidamente una serie de investigaciones. Por ejemplo, en 2012 dos equipos liderados por Jennifer Doudna en Berkeley, Estados Unidos y Emmanuelle Charpentier en Suiza, demostraron que se puede diseñar y modificar *in vitro*, fuera de un organismo, el sistema de *Streptococcus pyogenes* para dirigir a voluntad en qué parte de una secuencia se quiere cortar. En menos de seis meses se demostró que estas herramientas se pueden usar para editar genomas de bacterias, así como de células humanas, con lo que se abrió la gran posibilidad de editar cualquier genoma y hacer varios cambios al mismo tiempo. Desde entonces se han tratado un gran número de enfermedades en modelos animales y se han modificado atributos de plantas, bacterias, levaduras, microalgas, entre otros organismos.

Ahora describiremos en qué consiste el sistema CRISPR-Cas. Este sistema está constituido en su versión más simple (diseñada y modificada por el ser humano) por una proteína y una molécula de Ácido Ribonucleico (ARN); la versión natural puede incluir más de una enzima nucleasa (la más común de las cuales es Cas-9) y dos moléculas de ARN que se complementan en uno de sus extremos.

La proteína es una enzima nucleasa que hace un corte en la doble cadena de ADN. El ARN tiene dos propósitos: por un lado, posee un sitio de unión a la enzima nucleasa y por el otro tiene un sitio de reconocimiento al ADN que se quiere modificar, reemplazar o eliminar. De tal manera que el ARN guía dirige a la nucleasa al sitio en el ADN a ser cortado, y una vez hecho el corte entra en acción el sistema de reparación celular por un sistema de recombinación homóloga o no homóloga. En el primer caso resulta que se pueden insertar fragmentos definidos de ADN (inserción o reemplazo de genes) y en el segundo caso da lugar a la interrupción o mutación de genes.

El resultado es que se pueden alterar secuencias de los genomas de manera muy precisa logrando cambios genotípicos exactos. Existen varios aspectos de la tecnología que aún requieren mejorarse, por ejemplo: a veces se llegan a modificar sitios adicionales que no se esperan y el sistema en

Grupos de científicos chinos son los más avanzados hasta ahora en los ensayos para la edición de genomas en embriones humanos utilizando la tecnología CRISPR-Cas, pero esta práctica ha desatado controversias de tipo ético



ocasiones sigue funcionando más allá de lo previsto. Lo impresionante es que con la edición genómica se pueden reparar y modificar caracteres.

Científicos chinos están editando genomas en embriones humanos y tienen el visto bueno de sus comisiones de ética para su implantación, por lo que son los más avanzados en el uso de esta tecnología, sobre todo, para curar algunos tipos de cáncer donde los tratamientos conocidos no han funcionado. En este sentido, la sociedad debe estar informada para estar consciente de lo que implica su uso y alcances. 

Bibliografía

Ishino, Y., Shinagawa, H., Makino, K., Amemura, M., & Nakata, A. (1987). Nucleotide sequence of the *iap* gene, responsible for alkaline phosphatase isozyme conversion in *Escherichia coli*, and identification of the gene product. *Journal of Bacteriology*, 169(12), pp. 5429-5433.

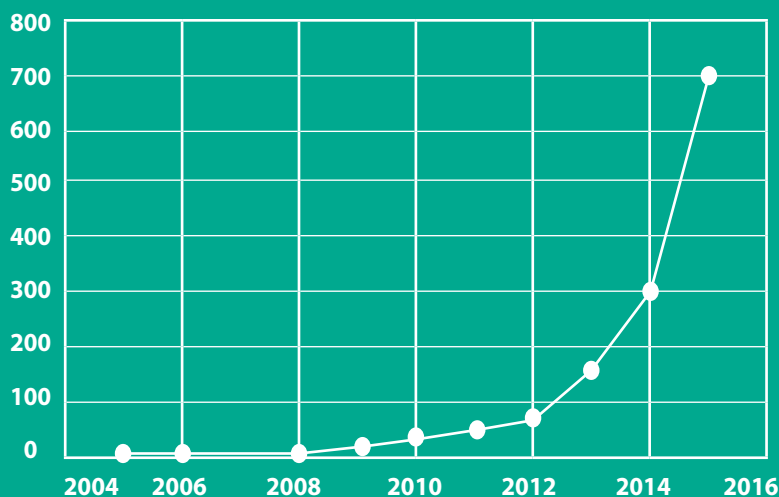
Sapranaukas, R., Gasiunas, G., Fremaux, C., Barrangou, R., Horvath, P., & Siksnys, V. (2011). The *Streptococcus thermophilus* CRISPR/Cas system provides immunity in *Escherichia coli*. *Nucleic acids research*, gkr606.

Jinek, M., Chylinski, K., Fonfara, I., Hauer, M., Doudna, J. A., & Charpentier, E. (2012). A programmable dual-RNA-guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity. *Science*, 337(6096), pp. 816-821.

Cong, L., Ran, F. A., Cox, D., Lin, S., Barretto, R., Habib, N., & Zhang, F. (2013). Multiplex genome engineering using CRISPR/Cas systems. *Science*, 339(6121), pp. 819-823.

Mojica, F. J., & Montoliu, L. (2016). On the Origin of CRISPR-Cas Technology: From Prokaryotes to Mammals. *Trends in Microbiology*.

ARTÍCULOS PUBLICADOS CON EL TÉRMINO CRISPR-CAS EN EL TÍTULO



En la gráfica se observa el incremento en el número de reportes científicos sobre el tema

CORTES PRECISOS EN EL ADN

Con este proceso es posible activar, inhibir, regular o modificar varios genes en un solo paso. Los métodos anteriores utilizan proteínas como guías; éstas sólo reconocen regiones concretas.

Pasos

1. Los científicos diseñan una secuencia genética, el ARN-guía, que encaja en la parte del ADN que desean modificar

2. La secuencia se añade a una célula junto con la proteína CAS9, que funciona como un par de "tijeras" moleculares

3. El ARN dirige las tijeras hacia la secuencia de ADN deseada para que hagan el corte

4. Finalmente, una nueva secuencia de ADN es colocada en el lugar de la escisión, donde enzimas reparan el daño

Aplicaciones



Mejoramiento de cultivos (no serán transgénicos)



Investigación biomédica y biotecnológica



Terapias para corregir genes defectuosos



Edición de embriones humanos

STEFAN DE FOLTER:

MUTACIONES AL AZAR QUEDARON ATRÁS

Las bacterias colonizaron el planeta más de 3 mil millones de años antes que los seres humanos apareciéramos y siguen proliferando con éxito en prácticamente todos los ecosistemas terrestres: a grandes alturas, en climas extremadamente secos o en los "hielos perpetuos" del Ártico.

Desde la perspectiva de la biología evolutiva, tenemos mucho que aprender sobre los mecanismos de supervivencia que estos organismos microscópicos han diseñado durante miles de millones de años de historia natural, como afirma el genetista británico Adam Rutherford.

La capacidad natural de las bacterias –sobre todo arqueobacterias– para desplegar herramientas que les permiten defenderse contra los virus invasores y neutralizarlos antes de que acaben con ellas, es uno de esos temas donde los científicos han obtenido grandes enseñanzas.

Una de las lecciones más valiosas es la que aprendieron los investigadores Martin Jinek, Ines Fonfara, Krzysztof Chylinski y Emmanuelle Charpentier, quienes en 2012 publicaron en la revista *Science* un artículo de investigación básica que ahora está revolucionando la ingeniería genética.

En su trabajo, los autores describen la posibilidad de aprovechar un sistema bacteriano para modificar genes dentro de los organismos en una forma mucho más sencilla y precisa que con los métodos entonces existentes.

Esta nueva herramienta contiene una proteína llamada Cas 9, que puede ser programada para buscar, cortar y eventualmente degradar el material genético de los virus de una manera altamente específica. Es decir, permite hacer "corte" y edición de genes con alta precisión, además de evitar mutaciones no deseadas en los organismos.



Fotografía: Antonio Cisneros

Por estas razones, el nuevo método de edición, denominado técnicamente CRISPR-Cas9, ha irrumpido con fuerza en los laboratorios de biotecnología en todo el mundo y el crecimiento de sus aplicaciones hace suponer que pronto tendrá grandes impactos en la industria y la sociedad.

El investigador Stefan de Folter, de la Unidad de Genómica Avanzada del Cinvestav, galardonado con el Premio de Investigación de la Academia Mexicana de Ciencias 2015 por sus trabajos para descifrar circuitos genéticos en plantas, nos explica los retos y alcances de esta novedosa tecnología de edición de genes.

¿Cómo funciona esta nueva herramienta de edición de genes?

Esta tecnología permite hacer ediciones, ya sean mutaciones, inserciones, deleciones o adiciones al ADN. En principio puede hacerse en cualquier organismo y en cualquier región del genoma, pero también en sitios regulatorios, que no tienen promotores de genes. Para algunas plantas como la *Arabidopsis thaliana*, que usamos como modelo de investigación en el laboratorio, hay muchos mutantes disponibles.

En su laboratorio, de Genómica Funcional del Desarrollo de Plantas ¿ustedes están realizando estos cambios en los modelos de estudio?

Apenas comenzaremos a aprovechar este sistema para probar que funciona. Para la *Arabidopsis thaliana* ahora usamos plantas mutantes que son obtenidas de otra manera.

¿Cuáles son las principales ventajas de CRISPR-Cas9 comparado con los métodos de edición de genes que ya existen?

Las mutaciones antes se hacían al azar; uno tenía que buscar dónde está ese cambio en los genes y si era conveniente; ahora pueden dirigirse de manera precisa al nucleótido donde se requiere un cambio. Esa es la gran ventaja.

¿Qué tan conveniente es el empleo de esta nueva tecnología si se consideran los costos?

Al menos trabajando con la planta *Arabidopsis* tenemos muchas ventajas. En el caso de las plantas de jitomate el proceso (de edición de genes) es muy largo y no sabemos aún si la generación de mutantes va a funcionar. En todo caso, si logramos acortar los tiempos, podremos disminuir los costos.

Un grupo de investigación liderado por Lu You, de la Universidad de Sichuan en China ha comenzado experimentos con esta herramienta para modificar embriones humanos. ¿Qué tan arriesgado podría ser esto?

El manejo de seres humanos, a diferencia de las plantas, es mucho más delicado. Uno de los problemas de este estudio es la poca eficiencia de las mutaciones en embriones humanos, menor al 50 por ciento. Por otra parte, está el riesgo de hacer mutaciones *off the target*, es decir, en otros lugares donde no se requiere. Aún se necesita un arduo trabajo de investigación para seleccionar el embrión con la mutación deseada.

¿Hace falta perfeccionar la herramienta para poder usarla por ejemplo en terapias génicas con humanos?

Es atractiva la posibilidad, pero aún falta mucho. Y hay otra parte ética que debemos considerar: definir qué tipos de genes o características son susceptibles de manipular. Ahora hay muchas aplicaciones con mamíferos. Por ejemplo, un estudio con cerdos está tratando de "atacar" ciertos genes relacionados con enfermedades. Claramente hay un beneficio, pero falta afinar la precisión de la técnica.

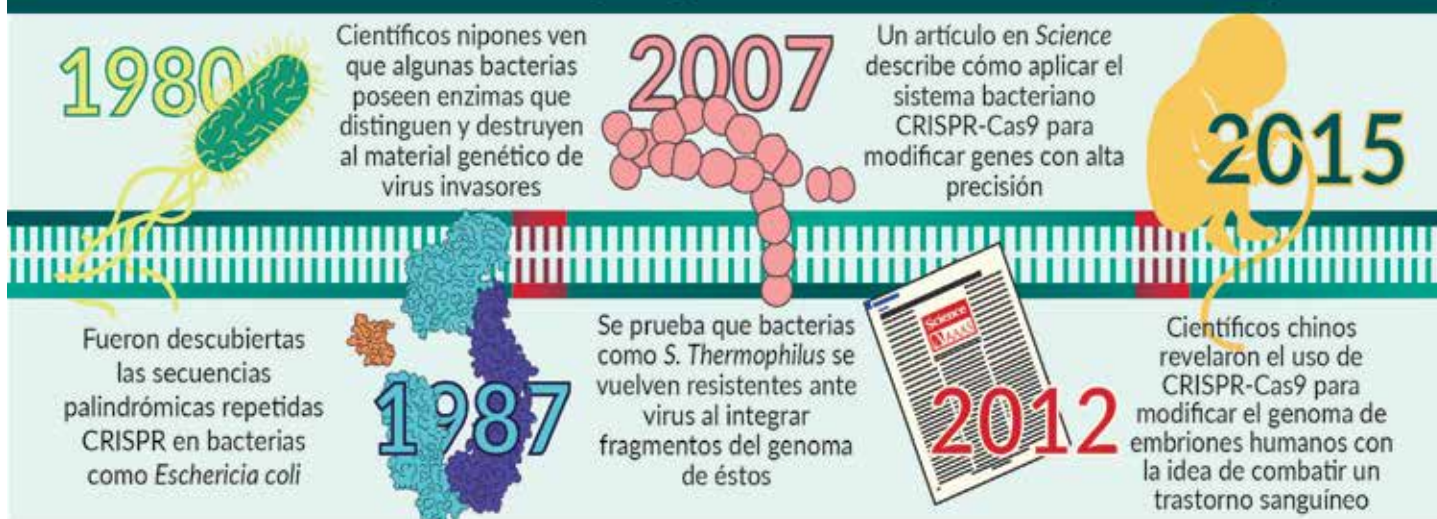
¿Podría esperarse una mayor cantidad de ensayos de edición de genes con cultivos celulares humanos para fines no clínicos, sino de investigación?

Sin duda vamos a ver muchos trabajos de investigación aplicando esta técnica en líneas celulares de mamíferos, incluyendo humanos. Pero insisto en que será importante discutir toda la parte de ética relacionada con esta técnica, sobre todo cuando se aplique a estudios clínicos.



Fotografía: Shutterstock

PODEROSA HERRAMIENTA: Algunos grandes hitos en el desarrollo de esta tecnología



¿La eliminación del azar en la edición de genes mediante este nuevo método puede constituirse en un sólido argumento ante los opositores a los organismos modificados genéticamente?

Como la herramienta es muy precisa, no se va a introducir ADN de otras especies. Así que no habrá lugar a discusión, porque las mutaciones se hacen de manera muy puntual, sólo a un gen. Esto ya ocurre en la naturaleza, con muchas plantas mutantes de brócoli o coliflor, que pueden comerse sin ningún problema. Esos mismos fenotipos podrán generarse con la nueva tecnología.

¿En qué áreas considera que esta tecnología tendrá un mayor impacto?

Esto está impactando las empresas biotecnológicas, aunque todavía no hay tantos servicios para modificar plantas, pues al final somos una parte muy pequeña. Hay más oferta en la producción de líneas celulares, levaduras o insectos.

La compañía Dupont planea producir dentro de cinco o 10 años los primeros cultivos comestibles (como maíz híbrido amarillo) modificados con esta tecnología. Y al menos en Estados Unidos, estas plantas con sus genomas editados escaparán a la regulación que las autoridades agropecuarias aplican a los transgénicos, porque no lo son. Entonces no habrá restricciones para colocarlos en el mercado.

A nivel de investigación básica, ¿qué tipo de estudios sobre el genoma puede impulsar la utilización CRISPR-Cas9?

La técnica CRISPR-Cas9 posibilita hacer ediciones en los genomas casi sin límites. Aparte de estudiar mutaciones simples en los genes, permitirá hacer

mutaciones en varios de ellos a la vez, con ventajas de tiempo. Además hará factible investigar genes parálogos (con un alto grado de identidad) y genes en *clusters* (grupos) en el genoma.

Tras el auge que está teniendo esta técnica, ¿deberían modificarse las leyes correspondientes o establecerse nuevos marcos legales para regular la edición de genes en México?

La práctica de edición de genes en genomas de plantas es comparable a hacer una nueva variedad con técnicas de mejoramiento tradicional. Sin embargo, con la técnica de CRISPR-Cas9 se sabe exactamente cuál cambio se generó en el genoma, mientras que con el proceso tradicional se mezclan dos genomas que resultan en miles de cambios. Así que una planta con su genoma editado no es transgénica y por eso no se deben adoptar las reglas que existen para las que sí son transgénicas.

El desarrollo de esta herramienta se hizo merecedor al Premio Princesa de Asturias en Investigación Científica y Técnica 2015. ¿Cree usted que, como opinan muchos expertos, debería ser merecedora también de un Premio Nobel por sus revolucionarias aportaciones?

Si tomamos en cuenta el número de estudios que se están haciendo en el mundo y la cantidad de aplicaciones posibles de CRISPR-Cas9, podemos decir que en verdad es una técnica muy poderosa, que cambió por completo el panorama sobre la modificación del genoma de cualquier organismo vivo. Por lo tanto, el descubrimiento y la aplicación de esta herramienta a la edición de genes sí se merecen el Premio Nobel debido a su notable contribución a la humanidad. 

(Guillermo Cárdenas)



FASES EXÓTICAS DE LA MATERIA



Ernesto Lupercio Lara
Departamento de Matemáticas
lupercio@math.cinvestav.mx

La academia sueca de ciencias anunció que el Premio Nobel de Física 2016 fue otorgado a David Thouless (Bearsden, Reino Unido, 1934), Duncan Haldane (Londres, Reino Unido, 1951) y Michael Kosterlitz (Aberdeen, Reino Unido, 1942) por “descubrimientos teóricos sobre transiciones topológicas de fase y fases topológicas de la materia”.

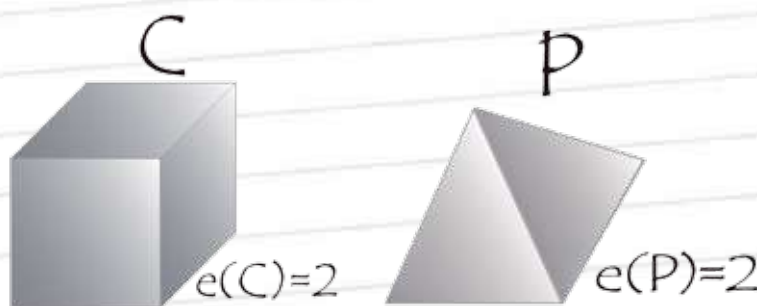
Las fases de la materia más comunes son la fase sólida, líquida y gaseosa. Pero hay otras fases de la materia a las cuales estamos menos acostumbrados, por ejemplo, a altas temperaturas tenemos los plasmas. En todas estas fases, los átomos de la materia están en constante movimiento aleatorio, de tal manera que podemos ignorar a la física cuántica en su descripción, dado que los efectos cuánticos son tan pequeños que dicha vibración térmica los hacen insignificantes.

La física cuántica habla de fenómenos que tradicionalmente son relevantes sólo en el mundo de lo atómico. En el mundo macroscópico, los efectos cuánticos son con frecuencia tan débiles que es mejor simplemente ignorarlos. En la vida cotidiana no podemos observar a simple vista los efectos cuánticos (o eso creímos por algún tiempo).

Sin embargo, a muy bajas temperaturas (cerca de los -273 grados Celsius), nuevos estados de la materia se manifiestan y, para nuestro asombro, los efectos cuánticos se hacen visibles en observaciones macroscópicas. Los nombres de algunos de estos fenómenos son: superconductividad (desaparición de la resistencia eléctrica en algunos materiales, Kamerling Onnes, Nobel 1913), superfluidez (desaparición de la fricción, Pyotr Kapitsa, Nobel 1978).

Otro fenómeno que nos es familiar a todos es el de *transición de fase*, fenómeno que observamos cuando un trozo de hielo se derrite en la mesa (transición del estado sólido al líquido) o cuando vemos hervir el agua para los espaguetis (transición

del líquido al gaseoso). Con más fases de la materia (algunas sólo posibles debido a las leyes de la física cuántica) es de esperarse que haya más transiciones de fase. En estas transiciones de fase (que ocurren a muy bajas temperaturas), las fases están definidas a veces por su naturaleza *topológica*.



La *topología* estudia las propiedades de modelos geométricos que no cambian cuando estos objetos se deforman por lo que, a veces, se le conoce como la geometría de los objetos de hule. Por ejemplo, si consideramos un mapa pintado en una hoja de hule en vez de en una hoja de papel, el mapa entonces se podrá deformar con facilidad. Si contamos el número de países en el mapa de hule antes de deformarlo y, una vez deformado, los volvemos a contar, el número de países en el mapa deformado es exactamente igual al número de países antes de haberlo deformado: no ha cambiado; el número de países es un *invariante topológico*.

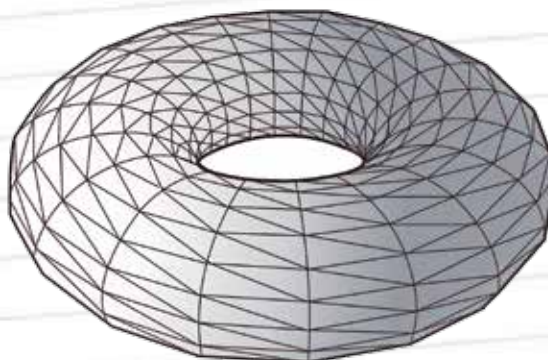
Un segundo ejemplo (muy relevante para el trabajo de los premiados de este año), es el de la *característica de Euler*. Consideremos un cubo. Si contamos sus vértices ($V=8$), sus aristas ($A=12$) y sus caras ($C=6$) y definimos la característica de Euler como el número $V+C-A$, entonces, para el cubo C , tenemos que su característica de Euler es

$$e = V+C-A = 8+6-12 = 2,$$

en tanto que, si repetimos el cálculo para la pirámide P , obtenemos:

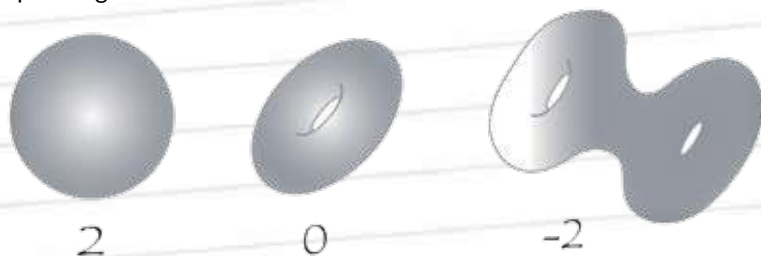
$$e = V+C-A = 4+4-6 = 2.$$

Si repetimos el cálculo una vez más para un balón de fútbol, contando sus vértices, caras y aristas, obtendremos una vez más, 2.

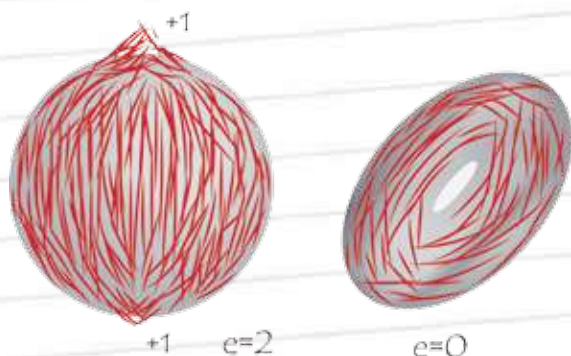


Figuras: Ernesto Lupercio

Parecería que la respuesta siempre es 2, pero no es así. Si hacemos el cálculo para la superficie de una dona hecha de adoquines triangulares, la respuesta es 0 y no 2 como antes. Y la respuesta siempre será 0 para la superficie de una dona (que los topólogos llaman *toro*) sin importar el número de triángulos que se utilicen para formar al toro. Por eso, es tan importante *restar* el número de aristas. En efecto, mientras más triángulos se utilicen, más crece $V+C$, pero también crece A , dejando la diferencia constante. En el caso del toro $V+C$ siempre es igual a A .



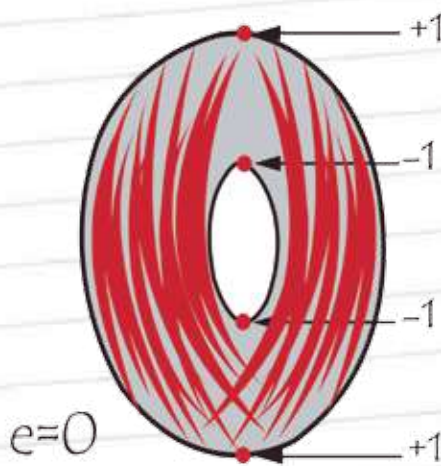
Un resultado importante de la topología en dimensión dos establece que las superficies orientadas están completamente clasificadas hasta por equivalencia topológica (es decir, hasta por estiramientos arbitrarios del material de hule) por su característica de Euler e . En la figura de al lado vemos tres superficies topológicamente distintas con sus respectivas características de Euler.



Ahora imaginemos una esfera peluda: una esfera cubierta de un fino pelaje rojo. Un teorema clásico de la topología establece que sea cual sea la manera en que peinemos la esfera siempre quedará al menos un remolino. En el dibujo de al lado, hemos peinado a la esfera con dos remolinos; cada remolino (llamado *vórtice* en lo sucesivo) tiene carga positiva $+1$. El teorema de Poincaré-Hopf dice que la suma de la carga de los vórtices es igual a la característica de Euler. Este sorprendente hecho relaciona la forma topológica de la esfera con la carga total de los vórtices es el sistema bidimensional cuántico a bajas temperaturas en la superficie de la esfera.

Es importante hacer notar que si cambiamos los vórtices (el modo de peinar la esfera), la suma de las cargas no cambia: siempre es igual al invariante topológico.

Concluamos nuestra breve excursión a la topología notando que la característica topológica de Euler e siempre es un entero y, por lo tanto, la lista de objetos topológicos no varía continuamente. Si transformamos una esfera en un toro (procedimiento conocido por los topólogos como *cirugía*), el cambio es abrupto (como en los cambios de fase).



Este cambio abrupto de esfera en toro se llama un *cambio topológico de fase* en física.

A principio de la década de los 70, David Thouless y Michael Kosterlitz descubrieron juntos la llamada transición BKT (Vadim Berezinskii tuvo ideas relacionadas en Moscú), una transición *topológica* de la materia. La transición BKT ocurre sobre un estado topológico de la materia (en dimensión 2, a bajas temperaturas); dicho estado está determinado por las cargas topológicas de sus vórtices. Aunque se pueden escribir ecuaciones muy complicadas para el estado macroscópico de la membrana delgada a partir de las leyes de la física cuántica para entender la fase de la materia, lo importante es la carga topológica (algo que puede ser difícil recordar, pues las ecuaciones son locales y el efecto cuántico resultante es global, como e). La introducción de ideas topológicas al estudio de estados artificiales de la materia fue una gran sorpresa para los físicos y rompió en su momento el paradigma reinante.

En la década de los 80, Thouless estudió exitosamente el misterioso efecto Hall cuántico, efecto en el cual las mediciones tienen resultados muy precisos que saltan abruptamente, usando el concepto de fluido cuántico topológico. El motivo de las variaciones precisas y abruptas era nuevamente topológico. Por su parte, Haldane demostró que los fluidos cuánticos topológicos pueden formarse en capas semiconductoras incluso sin la presencia de campos magnéticos fuertes, basándose en su trabajo previo sobre existencia de materiales topológicos de dimensión uno con cadenas de átomos magnetizados.

Todos los ganadores del Premio Nobel de Física de este año padecieron la desconfianza y el escepticismo de la comunidad científica cuando hicieron sus propuestas iniciales: Thouless dice que continuó por curiosidad; Kosterlitz, que se atrevió gracias a la ignorancia y, a Haldane, de plano, al principio, no le creían. En esta historia, Haldane demostró escepticismo incluso hacia sí mismo: en 1988, Haldane propuso un estado topológico de la materia escribiendo en su artículo que “es poco probable que el modelo particular aquí presentado sea directamente realizable físicamente”; sin embargo, en 2014, un equipo dirigido por Tilman Esslinger realizó un experimento en donde se presentó físicamente este estado.

Los tres ganadores del Premio Nobel de Física de este año son británicos y abandonaron su país durante la década de los 80, cuando el gobierno de Margaret Thatcher redujo drásticamente los presupuestos de las universidades británicas.

En el Departamento de Matemáticas del Cinvestav existe un grupo que estudia la relación entre la física cuántica y la topología. 



MÁQUINAS A ESCALA MOLECULAR



Jesús Armando Luján Montelongo

Departamento de Química

jalujanm@cinvestav.mx

Basta con revisar las revistas, redes sociales e incluso blogs dirigidos a audiencias relacionadas a la química,¹ para notar la amplia diversidad en las diferentes predicciones sobre los posibles ganadores del Premio Nobel de Química.

Este año no fue la excepción, por lo que en los diferentes medios electrónicos e impresos se mencionaban a candidatos que iban desde aquellos que han contribuido en la invención y desarrollo de las baterías de ion-litio, hasta aquellos involucrados en la comprensión de la maquinaria enzimática.

Sin embargo, el pasado 5 de octubre, la Real Academia de las Ciencias de Suecia anunciaba que Jean-Pierre Sauvage (profesor emérito de la Université Strasbourg I, Francia), Sir J. Fraser Stoddart (Northwestern University, Estados Unidos) y Ben L. Feringa (Rijksuniversiteit Groningen, Países Bajos), eran los ganadores del Premio Nobel de Química 2016 por el “diseño y síntesis de máquinas moleculares”.

Aunque el término “máquina molecular” sugiere a una invención nacida de la explosión científica y tecnológica de la era moderna, es importante mencionar que estos dispositivos han existido en la naturaleza prácticamente desde sus orígenes.

Todos los seres vivos presentan arreglos moleculares que tienen características que pudieran ser catalogados como máquinas moleculares. Por ejemplo, los flagelos de la bacteria *Helicobacter pylori* (causante de desórdenes gastrointestinales como las úlceras y gastritis), le permiten desplazarse a través de la mucosa gástrica hasta alcanzar el epitelio estomacal. Otro ejemplo más general son las proteínas llamadas quinesinas, que genuinamente funcionan como motores involucrados en el transporte celular. Es el diseño y la construcción de “máquinas moleculares artificiales”, en lo que reside el mérito por el cual Sauvage, Stoddart y Feringa han recibido la prestigiosa condecoración.

Los orígenes

Fue en 1983 y 1984 cuando se publicaron dos trabajos seminales,² provenientes del grupo de investigación liderado por Jean-Pierre Sauvage, donde se gestaron los comienzos de lo que ahora conocemos como “máquina a escala molecular”. En esas publicaciones, Sauvage describió una estra-

tegia inédita para el entrecruzamiento de dos moléculas “en forma de anillo”, para que así permanecieran unidas de manera indefinida. A diferencia de los tipos de enlaces “clásicos” de la química —como son los enlaces covalentes—, esta forma de unión prevalecía por mera restricción mecánica de los componentes. A este tipo de enlace químico se le denominó enlace mecánico y ha sido tema de investigación intensiva en años subsecuentes. Estas moléculas entrecruzadas (catenanos), tienen la cualidad de “permitir” a uno de los componentes moverse a través de la estructura del otro, lo cual a decir de Olof Ramstrom (químico del Instituto Real de Tecnología en Estocolmo y miembro del Comité Nobel de Química), es una característica fundamental para que una máquina realice una tarea.³

Transbordadores moleculares

En la década de los 80, Fraser Stoddart lideraba un grupo de investigación en la Universidad de Sheffield (Reino Unido) con el que comenzó a trabajar en una alternativa para preparar diferentes moléculas entrecruzadas, unidas justamente mediante enlace mecánico. Fue hasta 1991, cuando diseñó un sistema en el que una molécula cíclica se lograba entrecruzar con otra, pero ahora de morfología lineal que se asemejaba a un eje.⁴

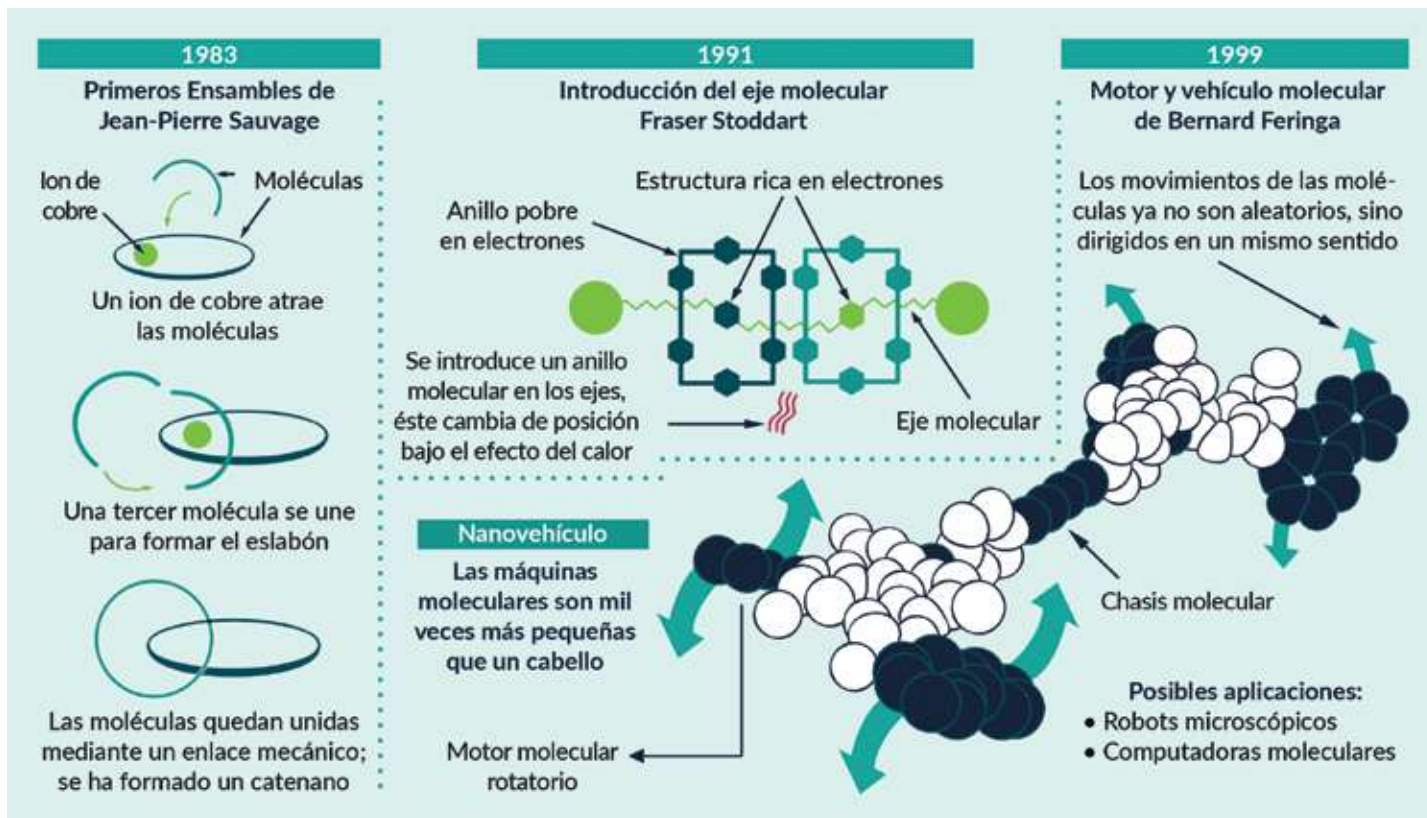
A este arreglo, Stoddart lo denominó rotaxano y fue considerado como el primer “transbordador” molecular, que al aplicarle un estímulo de energía en forma de calor, Stoddart logró mover el componente cíclico a lo largo del eje en ambas direcciones. De manera coincidente, en 1994 tanto Stoddart como Sauvage lograron controlar el movimiento de sus respectivos sistemas con direccionalidad y a voluntad, descartando la aleatoriedad “natural” de sistemas naturales químicos.⁵

En años posteriores, el grupo de Stoddart y Sauvage han desarrollado diferentes máquinas moleculares que incluyen elevadores, “músculos” artificiales, así como un chip de computadora (¡con una capacidad de 20kB de memoria!). Sin embargo, fue el holandés Bernard Lucas Feringa, quien además de ser el diseñador de un genuino motor molecular, también logró construir el primer nanoautomóvil.

La llegada de los nanomotores y nanoautomóviles

En una entrevista publicada en 2011, Bernard “Ben” Feringa respondía que su más grande logro había sido “el diseño de un motor molecular” y que “posiblemente el poder de la química no únicamente reside en la comprensión, sino en el construir moléculas y materiales que nunca antes habían existido”.⁶

El científico no sólo se ha limitado a construir nuevas moléculas, sino que lo ha hecho de manera espectacular, puesto que ¡él ha sido el primer quí-



mico en diseñar y producir lo que es un motor molecular artificial! De una manera por demás creativa, Feringa prácticamente anuló la aleatoriedad del movimiento en su dispositivo molecular. Su motor consistió de dos “aspas” que, mediante impulsos de luz ultravioleta y calor, podía efectuar movimiento unidireccional.⁷

Y eso no fue todo. Para 2011, el grupo de Feringa publicó en la revista *Nature* un reporte sobre una “molécula de cuatro ruedas” que tenía la capacidad de movimiento sobre una superficie metálica⁸. Este chasis molecular estaría compuesto de cuatro motores rotatorios moleculares también diseñados por él, y presentaría un movimiento direccional bajo excitación electrónica y vibracional. El movimiento del nanoautomóvil, pudo ser evidenciado mediante un microscopio de efecto túnel.⁹

Hacia la nanoindustrialización

Stuart Cantrill, editor en jefe de la revista *Nature Chemistry*, comentó, al preguntarle sobre las predicciones de los posibles ganadores al Nobel de Química, que una de sus opciones serían aquellos investigadores líderes involucrados en el desarrollo de máquinas moleculares.¹ Cantrill puntualizó que, “si bien las aplicaciones en el mundo real son difíciles de proponer, es increíble que actualmente se pueda forzar a una molécula a hacer un trabajo determinado”.

Si nos remontamos a inicios del siglo XIX, y apreciamos cuál era el estado de la tecnología de lo que ahora conocemos como motor eléctrico, es inevitable realizar comparaciones con el desarrollo actual del “motor molecular”, pues de seguir un camino similar, las máquinas moleculares efectivamente podrán tener algún día un funcionamiento dirigido, útil y a voluntad de sus operadores.

En la actualidad, buena parte de la maquinaria industrial se encuentra basada en el motor eléctrico (igual que el cómputo en el microprocesador, que opera con transistores), por lo que la llegada de los dispositivos a escala nano, como los transistores moleculares, abren nuevas ventanas para que en las décadas por venir, presenciemos avances científicos y tecnológicos que vayan encaminados a una inminente revolución nanoindustrial. ☺

Referencias

- 1 Drahll, L.; Cantrill, S.; Spokoyny, A.; Davenport, M. and Wolf, L. (2016). “Who Will Win the #ChemNobel? Predicting the 2016 Nobel Laureate(s) in Chemistry” (consultado el 15 de Octubre de 2016) <http://cen.acs.org/content/dam/cen/static/pdfs/CEN-Nobel-Prediction-Slides.pdf>.
- 2 a) Dietrich-Buchecker, C. O.; Sauvage, J.-P.; Kintzinger, J.-P. “Une Nouvelle Famille de Molécules: les Métallo-Caténanes”, *Tetrahedron Lett.*, 1983, 24, 5095. b) Dietrich-Buchecker, C. O.; Sauvage, J.-P.; Kern, J.-M. “Templated Synthesis of Interlocked Macrocyclic Ligands: The Catenands”, *J. Am. Chem. Soc.*, 1984, 106, 3043.
- 3 Fischman, J. “Molecular Machine-Makers Grab the 2016 Nobel Prize in Chemistry” *Scientific American*, Octubre 5 de 2016.
- 4 Anelli, P. L.; Spencer, N.; Stoddart, J. F. “A Molecular Shuttle” *J. Am. Chem. Soc.* 1991, 113, 5131.
- 5 a) Odell, B.; Reddington, M. V.; Slawin, A. M. Z.; Spencer, N.; Stoddart, J. F.; Williams, D. J. “Cyclobis (paraquat-P-Phenylene). A Tetracationic Multipurpose Receptor” *Angew. Chem. Int. Ed.* 1988, 27, 1547. b) Livoreil, A.; Dietrich-Buchecker, C. O.; Sauvage, J. P. “Electrochemically Triggered Swinging of a [2]/Catenate. *J. Am. Chem. Soc.* 1994, 116, 9399.
- 6 Ben L. Feringa. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2011, 50, 1470.
- 7 Komura, N.; Zijlstra, R. W. J.; van Delden, R. A.; Harada, N.; Feringa, B. L. “Light-Driven Monodirectional Molecular Rotor” *Nature* 1999, 401, 152.
- 8 Kudernac, T.; Ruangsapichat, N.; Parschau, M.; Maciá, B.; Katsonis, N.; Harutyunyan, S. R.; Ernst, K.-H.; Feringa, B. L. “Electrically driven directional motion of a four-wheeled molecule on a metal surface”. *Nature* 2011, 479, 208.
- 9 <https://www.youtube.com/watch?v=vSEHfDZWQKU> (publicado el 10 de Abril de 2014; consultado el 17 de Octubre de 2016).



EL MUNDO DEL AUTOCANIBALISMO CELULAR



Alexander de Luna Fors
Daniel Dávila Alemán
adeluna@langebio.
cinvestav.mx
francisco.davila@cinvestav.mx
Unidad de Genómica Avanzada



El Premio Nobel de Fisiología o Medicina 2016 fue otorgado a Yoshinori Ohsumi por el descubrimiento de los mecanismos de autofagia. La comprensión de este proceso celular tiene un enorme impacto en el área biomédica debido a que modula fenómenos biológicos tales como la respuesta inmune, el desarrollo embrionario y el envejecimiento.

El termino autofagia viene del griego *auto* –uno mismo– y *phagos* –comer. La autofagia se puede definir como la autodestrucción o el canibalismo propio. A grandes rasgos, este proceso consiste en la encapsulación de componentes citoplasmáticos (proteínas, macromoléculas y organelos celulares) dentro de vesículas de doble membrana llamadas autofagosomas, las cuales viajan hacia los lisosomas (o vacuolas) de la célula, fusionándose y liberando su carga citoplasmática para su posterior degradación.

Los productos obtenidos de este proceso de degradación son posteriormente liberados al citoplasma para su reutilización. La autofagia es un proceso celular que sorprende porque se conserva en todos los organismos eucariontes (animales, plantas, hongos y protistas).

La autofagia tiene un papel crítico dentro del mantenimiento de la homeostasis y la supervivencia celular bajo distintos tipos de estrés; por ejemplo, durante periodos de deficiencia de nutrientes. Al igual, puede ser un proceso altamente selectivo, capaz de degradar componentes innecesarios o dañados. Asimismo, la maquinaria de autofagia celular participa en la degradación selectiva de microorganismos patógenos, por lo cual contribuye con la respuesta celular inmune.

Primeros pasos hacia el Nobel

Uno de los principales actores y pionero en el entendimiento de la autofagia fue Christian de Duve, premio Nobel en Fisiología o Medicina de 1974, galardonado principalmente por sus estudios sobre el lisosoma. Este organelo celular es el encargado de la degradación y el reciclado de los componentes citoplasmáticos. Fue el mismo De Duve, quien en 1963 acuñó el término autofagia, reconociendo que los lisosomas eran capaces de degradar componentes celulares y especulando que parte de este proceso podría ocurrir de manera selectiva.

A pesar de que la autofagia marcaba un tema nuevo de investigación y se podía suponer que sería un mecanismo celular de suma importancia, la falta de herramientas biológicas hizo que la autofagia se mantuviera como un enigma celular durante al menos tres décadas.

Los experimentos que marcaron el camino

A pesar de que el proceso de autofagia se describió por primera vez en células de mamíferos, los descubrimientos más importantes sobre el mecanismo molecular de la autofagia se lograron usando un simple y modesto hongo unicelular: la levadura de cerveza *Saccharomyces cerevisiae*.

A principios de la década de los 90, el biólogo celular japonés Yoshinori Ohsumi decidió usar levaduras para entender el proceso de autofagia. Mediante microscopía electrónica de células sometidas a carencia de nutrientes, Ohsumi pudo observar la acumulación de autofagosomas dentro de la vacuola, describiendo por primera vez este proceso en células de levadura.

Posteriormente, realizó el primer rastreo genético para identificar genes involucrados en la autofagia. Para ello, introdujo cambios aleatorios en el ADN de las células de levadura, logrando identificar 15 genes que son esenciales para la activación del proceso de autofagia en células de levadura.

Las investigaciones de Ohsumi detonaron un gran interés en el campo de la autofagia, con

un importante crecimiento en el estudio de los mecanismos moleculares que la determinan en otros organismos eucariontes, incluyendo el humano.

¿Cuál es su importancia?

A partir de los trabajos de Ohsumi se abrió la puerta hacia un mejor entendimiento sobre el proceso de autofagia y su papel en la fisiología celular y de los organismos. Debido a su función como maquinaria de reciclaje altamente selectiva, la autofagia es esencial para el mantenimiento de la homeostasis celular. Como ejemplo, podemos mencionar lo que ocurre durante el proceso de desarrollo del embrión. Una vez que el ovocito es fecundado, el proceso de autofagia es activado, degradando proteínas y ARN innecesarios, permitiendo la producción de proteínas indispensables para el desarrollo del cigoto (Tsukamoto *et al.*, 2008).

Además, la autofagia resulta fundamental durante los primeros días de vida de mamíferos. Durante este tiempo, los neonatos enfrentan una severa etapa de estrés, debido a que ya no reciben más nutrientes a través de la placenta, por lo que la autofagia resulta ser el factor determinante de supervivencia. Se observó en ratones, que aquellos individuos con deficiencia en el proceso de autofagia presentaban una mayor tasa de mortandad en comparación con aquellos individuos sin alteraciones en este proceso (Kuma *et al.*, 2004).

Las alteraciones en el proceso de autofagia pueden desembocar en el desarrollo de múltiples enfermedades, previniendo padecimientos neurodegenerativos tales como Alzheimer, Parkinson y Huntington. Al igual, la autofagia posee un papel importante durante el proceso de envejecimiento celular, evita la acumulación de señales carcinogénicas, así como algunas enfermedades autoinmunes tales como la artritis reumatoide, la enfermedad de Crohn y la esclerosis múltiple.

Debido a la estrecha conexión que existe entre la autofagia y el correcto funcionamiento celular y sus implicaciones en la salud humana, este proceso es uno de los más estudiados en biología celular y el área biomédica. Los intereses ahora se centran en desarrollar medicamentos que promuevan su regulación o activación de manera específica en los pacientes. ↪

Bibliografía y referencias

He, C. & Klionsky, D. J. Regulation mechanisms and signaling pathways of autophagy. *Annu. Rev. Genet.* 43, 67-93 (2009).

Klionsky, D. J. Autophagy: from phenomenology to molecular understanding in less than a decade. *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.* 8, 931-7 (2007).

Dunn, W.A., Jr., L. A. Schroder, and J.P. Aris (2013) Historical overview of autophagy. In *Autophagy and Cancer*. H.-G. Wang, editor. Springer Press. pp. 1-24.

Takekoshi K, et al. Autophagy in yeast demonstrated with proteinase-deficient mutants and conditions for its induction. *J. Cell Biol.* 119:301-311 (1992).

Yang, Z. & Klionsky, D. J. Eat or be eaten: a history of macroautophagy. *Nat. Cell Biol.* 12, 814-22 (2010).

Rubinsztein, D., Mariño, G. & Kroemer, G. Autophagy and Aging. *Cell* 146, 682-95 (2011).

Yang, Z., Goronzy, J. & Weyand, C. Autophagy in autoimmune disease. *J. Mol. Med.* 93, 707-717 (2015).

Mintern, J. & Harris, J. Autophagy and immunity. *Immunol Cell Biol.* 93, 1-2 (2015).

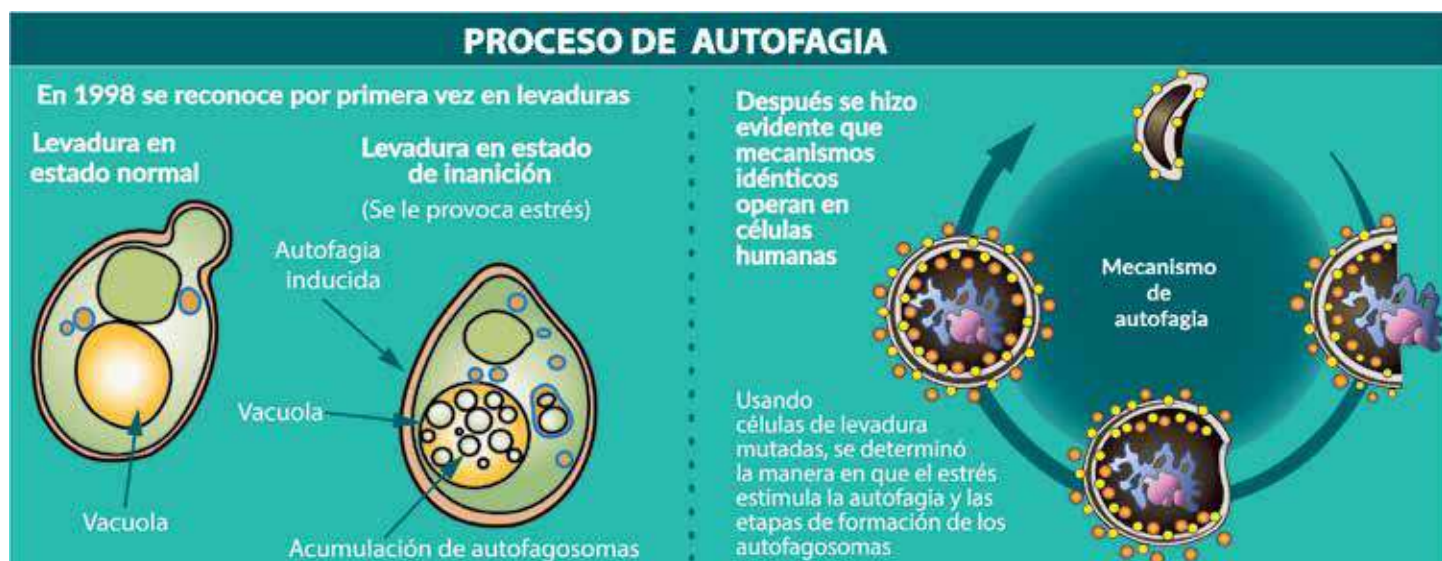
Tsukada M, Ohsumi Y. Isolation and characterization of autophagy-defective mutants of *Saccharomyces cerevisiae*. *FEBS Lett* 333:169-174 (1993).

Ohsumi, Y. Historical landmarks of autophagy research. *Cell Res.* 24, 9-23 (2014).

Garay, E. et al High-resolution profiling of stationary-phase survival reveals yeast longevity factors and their genetic interactions. *PLoS Genetics*. 10:e1004168 (2014).

Tsukamoto, S. et al. Autophagy Is Essential for Preimplantation Development of Mouse Embryos. *Science* 321, 117-120 (2008).

Kuma, A. et al. The role of autophagy during the early neonatal starvation period. *Nature* 432, 1032-6 (2004).





ENTRE LA POLÉMICA Y LA INCRECULIDULIDAD

EN MEDIO DE UNA CONCILIACIÓN

Cuatro años de negociaciones entre el gobierno colombiano y las Fuerzas Armadas de Colombia (FARC), para poner fin al conflicto armado considerado el más largo del continente americano, le dieron al actual presidente de ese país sudamericano, Juan Manuel Santos, el Premio Nobel de la Paz 2016.

Pese al rechazo de la mayoría de los votantes colombianos al plebiscito que buscaba refrendar los acuerdos alcanzados por el gobierno con la guerrilla, Kaci Kullmann, presidenta del Comité del Nobel de la Paz, señaló que el galardón reconoce los “decididos esfuerzos para llevar a su fin más de 50 años de guerra civil en el país”.

El Comité noruego del Nobel destacó del mandatario Santos su “fortaleza” para afrontar la labor del proceso de paz abierto con la insurgencia, para terminar con una guerra que ha costado la vida de al menos 220 mil colombianos y desplazado a cerca de seis millones de personas.

Kullmann informó que el premio debería ser considerado como un “tributo al pueblo colombiano, que a pesar de las dificultades y abusos, no ha perdido la esperanza de un acuerdo de paz justo”.

Santos y el comandante en jefe de las FARC, Rodrigo Londoño, alias “Timochenko”, firmaron el pasado 26 de septiembre un acuerdo histórico para terminar con el conflicto. Contra todo pronóstico, los colombianos rechazaron el acuerdo en una votación popular: 50.21 por ciento en contra y una abstención del 62 por ciento.

“Existe un peligro real de que el proceso de paz se interrumpa y de que la guerra civil se reanude”, lo que hace “todavía más urgente el respeto del alto al fuego por las partes, encabezadas por el presidente Santos y el jefe de la guerrilla de las FARC Rodrigo Londoño”, advirtió el Comité del Nobel.

El galardón, que consiste en una medalla de oro, un diploma y un cheque de unos 950 mil dólares, será entregado en Oslo, Noruega, el 10 de diciembre, fecha de aniversario de la muerte de su fundador, el inventor e industrial sueco Alfred Nobel (1833-1896).



Juan
Manuel
Santos

POR LA “TEORÍA DE CONTRATOS”

La Real Academia de las Ciencias de Suecia otorgó el Premio Nobel de Economía 2016 al estadounidense de origen británico Oliver Hart, profesor de la Universidad de Harvard y al finlandés Bengt Holmström, del Instituto Tecnológico de Massachusetts, por sus aportaciones a la “Teoría de contratos”. El eje de estas investigaciones es la forma en que los contratos operan para mediar las relaciones y consecuentemente, las decisiones entre las personas y organizaciones.

Los ganadores del Nobel desarrollaron “un marco global para analizar distintas cuestiones del diseño contractual”, afirmó la Academia, como la remuneración basada en rendimiento para altos ejecutivos o la lógica de los deducibles y los copagos en temas de seguros. Aseguró que el trabajo de los economistas estableció “el basamento intelectual” para desarrollar políticas en áreas clave de la economía.

Bob Dylan



Bengt Holmström



Oliver Hart

“Las economías modernas se mantienen por innumerables contratos. Las nuevas herramientas teóricas creadas por Hart y Holmström son valiosas para entender los contratos y las instituciones de la vida real, así como los posibles escollos del diseño contractual”, señaló la Academia al dar a conocer su fallo.

Bengt Holmström, de 67 años, desarrolló un modelo para la relación vincular entre un “principal” —como los accionistas de una empresa, por ejemplo— y un “agente”, como se considera al director ejecutivo de la misma compañía, cuya conducta es en parte invisible para los dueños de las acciones. El finlandés aseguró en su primera declaración que “se trata de pensar en todas las partes involucradas para que un contrato sea una situación en la que ganen todos”.

Por su parte, el londinense Oliver Hart se especializó en una rama específica, la teoría de los “contratos incompletos”. Entre sus contribuciones se encuentra la imposibilidad de especificar en un contrato todo lo que podría ocurrir, de ahí

que sea necesario tener unas reglas generales de bancarrota que dejen claro los derechos de todas las partes. Cuanto más derechos se tengan sobre el contrato, más incentivos habrá para invertir en la relación contractual. Cuando se trata del campo de la innovación y el desarrollo, esgrime que lo idóneo sería que los científicos o emprendedores participen de la propiedad porque se logran mejores resultados.

EL PREMIO DE LA CONTROVERSA

A sus 75 años, Bob Dylan sigue siendo noticia en el mundo. El cantautor estadounidense, además de contar con 10 Grammys, un Oscar y un Pulitzer, entre otros reconocimientos, ahora es galardonado con el Premio Nobel de Literatura 2016.

Sara Danius, secretaria permanente de la Real Academia de las Ciencias de Suecia dijo que se le daba esta distinción a Dylan “por haber creado una nueva expresión poética dentro de la gran tradición de la canción estadounidense”.

El premio generó un primer debate: algunos poetas y críticos se preguntaban por qué el Nobel de Literatura a un músico. Aunque algunos de sus defensores justificaron que cuando le concedieron a Dylan el Premio Príncipe de Asturias en 2007, lo hicieron tanto por el aporte literario como por sus contribuciones innovadoras a la música y las influencias que ha ejercido sobre varias generaciones.

Otra de las controversias fue que los representantes de la Academia sueca no pudieron contactarlo para notificarle del premio. Durante cuatro días intentaron comunicarse con el artista, sin tener éxito. El silencio del cantautor fue calificado de descortés y arrogante. Sin embargo, luego de dos semanas de no pronunciarse sobre el galardón, el propio Dylan telefoneó a la institución y afirmó que era un “honor” recibirlo, y que la noticia sobre el Nobel de Literatura lo había dejado “sin palabras”.

Dylan nació el 24 de mayo de 1941 en Duluth, Minnesota, en una familia judía de clase media. Es el primer músico que consigue este galardón en toda la historia.

Entre los nombres que más sonaban en vísperas de la entrega del Nobel de Literatura figuraban el escritor japonés Haruki Murakami, el poeta sirio Ali Ahmad Said Esber y el escritor estadounidense Philip Roth, entre otros autores. 

(Wendolin Collazo)

UN RAYO DE LUZ CONTRA LA DEPRESIÓN ESTACIONAL

Fotografía: Shutterstock



Alonso Fernández Guasti
Rebeca Reyes Serrano
 Departamento de
 Farmacobiología
jfernand@cinvestav.mx
lreyes@cinvestav.mx



¿Por qué hay personas que en la época decembrina se sienten tristes, si es una temporada para festejar y celebrar? ¿Por qué en los días invernales nos podemos sentir mal, desganados, sin energía y poco productivos? Todo esto no es una invención, hay razones fisiológicas para ello.

Existe un tipo de depresión que se desencadena cíclicamente por las estaciones del año, se llama Trastorno Afectivo Estacional o TAE (también llamado SAD, por las siglas en inglés de Seasonal Affective Disorder). La mayoría de las evidencias señalan como causa principal la reducción estacional de la cantidad de luz solar.

El criterio para decir que se padece TAE es que la depresión debe estar limitada a la estación invernal (con remisión total durante el verano), por al menos dos años. La prevalencia va del uno al 10 por ciento, dependiendo principalmente de la latitud; por ejemplo, en Estados Unidos la prevalencia es de uno por ciento en Florida y de nueve por ciento en Alaska.

Las mujeres están más afectadas que los hombres en una relación de 4 a 1 y es más común en adultos jóvenes. Este padecimiento se presenta por la marcada disminución de luz solar en invierno. Se puede ocurrir en cualquier persona, pero los pacientes con antecedentes de depresión y sobre todo con trastorno bipolar, son más propensos a desarrollarlo.

Síntomas de la depresión estacional

Algunos individuos pueden experimentar el trastorno de manera moderada, lo cual se conoce en inglés como *Winter blues*, sin embargo, en algunas personas los síntomas del TAE pueden ser tan graves que requieren hospitalización. Como en todos los trastornos depresivos, los pensamientos suicidas pueden estar presentes. Los síntomas clásicos de la depresión invernal son: tristeza, irritabilidad, letargo, cansancio, ansia de comer carbohidratos y azúcares (tendiendo a aumentar de peso), dificultad

para concentrarse, dormir más de lo normal, falta de energía, disminución de actividad, alejamiento de la vida social y llorar con frecuencia.

¿Por qué la luz?

En humanos, el reloj circadiano permite la organización y el óptimo funcionamiento del metabolismo de acuerdo al momento del día, lo que resulta en reacciones que ocurren cuando son necesarias. Por ejemplo, la producción de energía durante la fase de actividad (día) y los mecanismos de reparación durante la fase de descanso (noche).

En ese equilibrio, la señal más importante para la sincronización es la luz, la cual es percibida por células de la retina que proyectan a neuronas del núcleo supraquiasmático. Este núcleo es el principal coordinador del sistema circadiano, ya que sus neuronas regulan a otras que participan en actividades muy específicas como la secreción de hormonas, las fases del sueño, la termorregulación y la ingesta de alimentos, entre otras. El sistema circadiano continuamente se adapta y se sincroniza con el medio ambiente; así pues, la disminución de las horas de luz durante los días invernales es la principal explicación al TAE.

Mecanismos desencadenantes

Muchas causas pueden provocar el trastorno. Principalmente se sabe que esta patología se debe a desajustes en el equilibrio del neurotransmisor serotonina (5-HT), la hormona melatonina y/o a la disminución de la vitamina D. La serotonina participa de manera importante en la sensación de bienestar y en la regulación del estado de ánimo, de las emociones, del sueño, del apetito y de la conducta sexual.

Se ha propuesto que en el TAE existe una disminución de la neurotransmisión serotoninérgica del cerebro; por su parte la melatonina es una hormona producida por la glándula pineal que se secreta por la oscuridad causando somnolencia. Si los pacientes sobreproducen melatonina cuando los días se vuelven más cortos y oscuros (en invierno), esto hará que se sientan somnolientos y letárgicos. Finalmente, el cuerpo produce la vitamina D cuando la piel se expone directamente al sol, y si las personas con la patología presentan niveles sanguíneos bajos de vitamina D, esto se asociaría con síntomas depresivos.

Sorprendentemente el mejor tratamiento para el TAE incluye la combinación de varias terapias que se establecen de acuerdo con las características del paciente y del padecimiento. El desenlace clínico generalmente es bueno; sin embargo, algunas



personas padecen el trastorno durante toda su vida. En latitudes como la de nuestro país, donde no tenemos cambios estacionales muy marcados, sí pueden presentarse cambios del estado de ánimo o baja de energía en los meses invernales. Algunas estrategias para evitar caer en un ánimo depresivo o en una disminución de productividad es exponerse a la luz del sol siempre que sea posible, hacer ejercicio o actividades al aire libre. Además se recomienda propiciar la vida social y realizar actividades que sean satisfactorias, llevar una alimentación sana y variada, dormir lo suficiente, evitar el alcohol ya que puede empeorar el estado de ánimo y, si fuese necesario, buscar ayuda psicológica o psiquiátrica.

Como hemos dicho, esto no es algo que se presente con alta frecuencia en nuestro país debido a su ubicación geográfica, pero.... ¿Qué pasa con mexicanos que viven en el extranjero? A continuación algunos casos:

Edwards fue estudiante de maestría del Departamento de Farmacobiología del Cinvestav y durante su doctorado se fue a Noruega a hacer una estancia, él nos cuenta lo siguiente: “En el invierno, con días de 8 horas de sol cuando mucho, sentí pocos ánimos en general. Además, me sentía frustrado porque casi todos los días llovía o nevaba. Para la primavera, cuando casi todos los días hay sol por al menos 10 horas, me sentí muy bien. Una chica de nombre Tõril me comentó que para no deprimirse durante el invierno, ella y demás noruegos, tomaban ‘baños de sol’ con una lámpara que tenían ya sea en su oficina o en su casa”.

Gabriela vive en Michigan desde hace poco más de dos años, pero después de terminar su doctorado en el Departamento de Farmacobiología del Cinvestav en 2006, se fue a hacer una estancia por algunos años a Alemania y nos comenta lo siguiente: “A mí como tal no me ha dado depresión, pero me

siento con menos energía durante el invierno. Me siento más cansada. Por ejemplo, cuando estaba en Alemania los días eran cortos y fríos y te dan ganas de quedarte acurrucado y te sientes en cámara lenta. Pero acá en Estados Unidos como estamos más al norte, los inviernos, la nieve, el frío son más fuertes comparados con los de Alemania. Y sí, en definitiva la falta de luz repercute en la falta de ánimo. Además, en ocasiones debido a la nieve no puedes ni salir”.

Thelma vive en Milton, Ontario, a 40 minutos de Toronto, esto al sur de Canadá. Ella es mexicana y se fue a vivir a Canadá hace algunos años por cuestiones

4 a 1

Las mujeres son más afectadas por el TAE que los hombres

laborales y esta es su experiencia: “Sí lo he padecido, a partir de las 3-4 pm ya es de noche y sientes muchas ganas de ir a dormir saliendo de trabajar y aunque lo hagas, te sigues sintiendo cansado, cuando vas al médico te dan vitamina D diario, y entre los amigos te recomiendan una lámpara de luz artificial. Aquí hay todo un programa para no caer en depresión durante los 6 meses de invierno: continuar con las actividades aunque no veas luz;

vitamina D diariamente al menos 5 mil unidades; hacer ejercicio; hacer un deporte de invierno y hay programas de detección temprana de depresión”.

El caso de Lucrecia es algo diferente, ella vive en Estados Unidos desde hace 20 años y nos cuenta lo siguiente: “Esa situación me afectó bastante cuando recién me moví para acá. El clima en el área de la Bahía de San Francisco tiende a ser frío y con mucha neblina hasta pasado el mediodía. Al principio no sentí nada diferente pero con el paso de los meses y cuando llegó el cambio de horario en octubre, los días eran mucho más cortos y casi no había sol durante estas horas; comencé a sentirme deprimida y con muy poca energía. Todo el día tenía frío aunque la temperatura fuera cálida. Además de la nada me sentía triste o desanimada. La verdad era difícil



TRATAMIENTOS CONTRA EL TRASTORNO AFECTIVO ESTACIONAL

Fototerapia

La terapia de luz ha sido la base del tratamiento para el TAE desde la década de 1980. La idea de este tratamiento es reemplazar la disminución de la luz solar de los meses de otoño e invierno, utilizando la exposición a luz artificial muy brillante, que imita a la del sol. El tratamiento empieza durante el otoño, antes del inicio de los síntomas y consiste en sentarse frente a la luz brillante, preferentemente muy temprano, para imitar las acciones del amanecer. Se deben mantener los ojos abiertos, pero sin mirar directamente la fuente de luz.

Hay dos tipos de esquemas de tratamiento: para TAE leve 2,500 luxes (lx) de exposición en sesiones de dos horas diarias o para TAE moderado a severo se utilizan hasta 10,000 lx en exposiciones más cortas (30 minutos). Para darse una idea de la intensidad de luz, en un día lluvioso de invierno hay alrededor de 2,000 lx o menos, mientras que la luz directa en un día soleado es de al menos 10,000 lx. Los efectos secundarios de esta terapia incluyen dolor de cabeza, fatiga ocular, irritabilidad y dificultad para dormir.

Medicación

Dado que una de las causas del TAE, es el desequilibrio en el sistema serotoninérgico, los antidepresivos inhibidores selectivos de la recaptura de serotonina (ISRS), en particular la fluoxetina o la sertralina, son efectivos. Sin embargo, al igual que con otros medicamentos, hay efectos secundarios que pueden ser de leves a moderados, dependiendo de la susceptibilidad del paciente. Así,

se ha visto que hasta un 27 por ciento de los pacientes con TAE tratados con ISRS abandonan el tratamiento debido a los efectos adversos, por lo que aunque los antidepresivos son una buena opción, sobre todo para los pacientes con síntomas incapacitantes, se deben considerar otras opciones.

Psicoterapia

La terapia cognitivo conductual (TCC) es eficaz y se ha adaptado para su uso en el TAE. Esta terapia se basa en la identificación de los pensamientos negativos y su reemplazo por pensamientos positivos aunada a la técnica de activación conductual ayudando al paciente a identificar las actividades, en interiores o al aire libre que le son atractivas y placenteras, y a llevarlas a cabo para sobrellevar mejor el paso del invierno.

Suplementos alimenticios o herbolarios.

La disminución de niveles de vitamina D y de serotonina son dos de las probables causas del TAE, entonces se ha propuesto administrar la vitamina D y el triptófano, que es un precursor de la síntesis de serotonina, los resultados de estos tipos de tratamiento son controversiales, algunos reportes indican que son igual de efectivos que la fototerapia, o que adicionados a ella dan mejores resultados o prolongan su efecto. Lo mismo pasa con la hierba de San Juan (*Hypericum perforatum*) que se ha utilizado para el tratamiento de la depresión mayor y en algunos estudios se ha evaluado específicamente como tratamiento del TAE, demostrando que es al menos igual de efectivo que la fototerapia.

motivarme a salir al trabajo todos los días porque parecía como si no acabara de amanecer durante todo el día. La verdad es que lo único que quería era quedarme en la cama todo el día. Finalmente terminé yendo al doctor y fue como me enteré de este síndrome. El doctor me recomendó vitamina D y exponerme a la luz. Una vez que empecé con el tratamiento me sentí mucho mejor. En Colorado no he sufrido de ese problema porque aunque la

temperatura es mucho más baja, el sol siempre brilla intensamente aunque sea por algunas horas al día. El cielo es azul intenso todo el tiempo y es rarísimo que amanezca con neblina”.

Así pues, está claro que la falta de luz de sol (más que la baja de temperatura) puede afectar nuestro estado de ánimo, entonces, ¡a aprovechar cada rayo de sol en este invierno! ☺

MUNDO DE LOS ELECTRONES EN CELDAS SOLARES



Arturo Morales Acevedo
Departamento de Ingeniería
Eléctrica-SEES
amorales@solar.cinvestav.mx

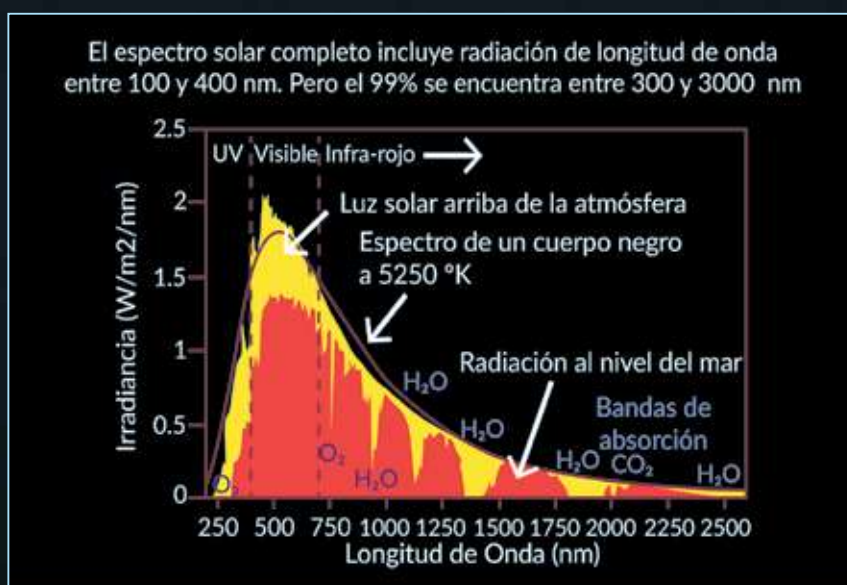
Las naciones han empezado a fomentar el desarrollo de las fuentes alternativas de energía, y esto ha planteado nuevos retos a ingenieros y científicos en todo el mundo. En este sentido, es conveniente recordar el gran potencial energético que hay a partir de la radiación solar, el cual es mayor al de todas las fuentes renovables y no renovables, sobre la superficie terrestre.

La radiación solar se propaga desde el sol hasta nuestro planeta como “luz” visible, ultravioleta e infrarroja. Nuestros ojos son sensibles a las ondas con longitud de onda en el rango visible, esto es lo que nos permite “ver” todo lo que nos rodea; sin embargo, todas nuestras células también son perceptibles, y por ello dicha radiación es fundamental para la existencia de la vida sobre el planeta, pues al “interactuar” con nuestras células, transfiere energía a las moléculas que son parte de aquellas.

De igual manera, el Ozono, el CO_2 y demás gases en nuestra atmósfera, así como la clorofila en las plantas, interactúan con la radiación solar, absorbiendo cantidades discretas, “cuantos de energía” que Albert Einstein llamó fotones. La radiación interactúa con la materia a través de fotones cuya energía está relacionada con la longitud de la onda correspondiente (λ), de acuerdo con:

$$E = h\nu = hc / \lambda = 1240 \text{ eV} / \lambda(\text{nm})$$

E es la energía del fotón (en electrón Voltios), h es la llamada constante de Planck, c es la constante de la velocidad de la luz en el vacío, λ es la longitud de onda en nanómetros (nm) y ν es la frecuencia de la onda correspondiente que proviene del sol, o de alguna otra fuente radiante. Así que podemos visualizar a la radiación solar como grupos de fotones con diferentes energías, pues la radiación solar está compuesta por onda con longitudes de onda en el rango desde 300 nm a 3000 nm, como se ilustra en la siguiente figura:



La energía asociada a estos fotones es la que podemos aprovechar para convertir la radiación solar en energía eléctrica. Y esto último es lo que hace una celda solar, el cual es un dispositivo opto-electrónico que absorbe fotones y los aprovecha para producir corriente eléctrica (carga eléctrica en movimiento) mediante materiales llamados semiconductores.

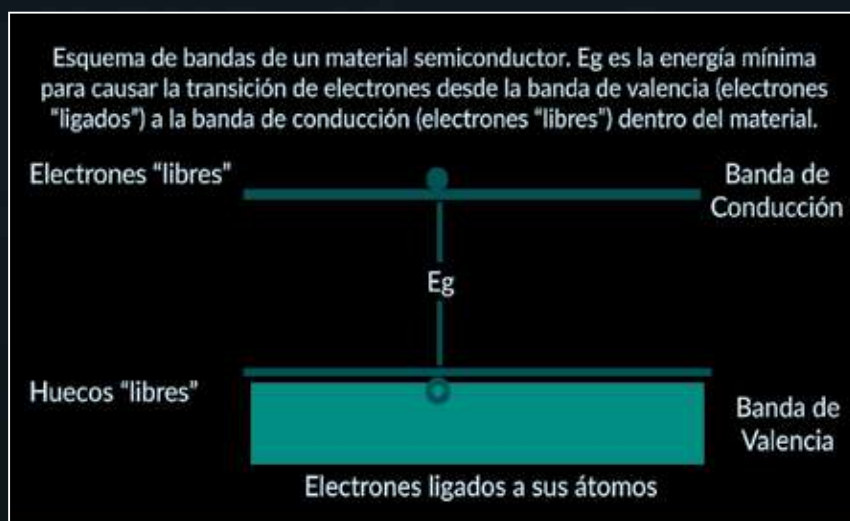
Semiconductores

En un material semiconductor en estado sólido, los átomos están colocados de manera ordenada, formando un cristal, y se mantienen unidos al compartir los electrones de su última capa (llamados electrones de valencia), causando que haya un amarre entre los átomos. Los enlaces atómicos, mediante el intercambio de electrones de valencia, mantienen en una posición más o menos fija a cada uno de los átomos que constituyen un "sólido cristalino". Por lo tanto, idealmente estos electrones, al estar ligados, no pueden moverse libremente en el sólido y no puede haber conducción de corriente eléctrica.

Sin embargo, a temperatura ambiente los átomos vibran ligeramente alrededor de su posición de equilibrio debido a la energía térmica en el cristal. Esas vibraciones corresponden a ondas con cierta frecuencia que también podrán interactuar con los electrones del cristal en forma "cuántica". A los "cuantos" debidos al movimiento de los átomos en el cristal se les llama fonones. Y como conse-

cuencia de la interacción con éstos, una cantidad muy pequeña de electrones adquirirán suficiente energía y quedarán "libres" (no ligados), a temperatura ambiente, y se moverán dentro del material cuando se aplique un campo eléctrico (conductividad eléctrica), por lo que no es totalmente aislante, o sea es semiconductor comparado con los materiales metálicos en donde hay muchos electrones libres.

Una forma de visualizar esquemáticamente un material semiconductor mediante un diagrama es la que se ilustra a continuación:



Los electrones en la banda de valencia son los electrones de valencia ligados a los átomos en el cristal. E_g corresponde a la energía mínima que permite liberar un electrón desde el enlace correspondiente, dentro del material. Entonces, a dichos electrones se les puede proporcionar una energía mayor que E_g para “liberarlos” dejando en su lugar una ausencia de electrón (ligado) en la banda de valencia, a la cual se le denomina “hueco”.

En otras palabras, cuando un material semiconductor absorbe fotones con energía mayor que E_g se producen pares electrón-hueco libres, causando un incremento de la conductividad eléctrica en el material (al haber más portadores de carga libres). Es conveniente notar que la conductividad en un semiconductor no se debe sólo a los electrones en la banda de conducción sino también a la ausencia de electrones en la banda de valencia, o sea a los huecos. Cuando haya un campo eléctrico aplicado, un electrón ligado puede moverse hacia esta ausencia de electrón, lo cual es equivalente al movimiento del hueco en la dirección opuesta. Es decir, el hueco se mueve como si fuera una partícula con carga eléctrica (+), opuesta a la de un electrón (-).

Decimos entonces que en un semiconductor tenemos conductividad debida a huecos y electrones. En general, podemos ver así que los semiconductores son excelentes foto-conductores, materiales que cambian su conductividad al iluminarlos con fotones con energía $E > E_g$.

La energía E_g requerida para producir pares electrón-hueco es diferente para cristales de diferentes materiales. Por ejemplo, a temperatura ambiente (300 °K), para cristales de silicio se requieren energías mayores a 1.1 eV, mientras que en cristales de Teluro de Cadmio (CdTe) se requiere de 1.5 eV, y para cristales de Selenuro de Indio (InSe) se requieren energías de 1.26 eV. Puesto que la mayor parte de los fotones que provienen de la radiación solar tienen energía correspondiente al rango visible del espectro solar, los semiconductores apropiados para utilizarlos como materiales absorbentes en celdas solares pueden tener energías E_g en el rango entre 1 eV y 2.5 eV.

Tratemos ahora de entender el funcionamiento de una celda solar. Pasemos del ámbito de los materiales al de los dispositivos electrónicos.

Celdas solares

La absorción de fotones, causando pares electrón-hueco, no es suficiente para tener un dispositivo que genere energía eléctrica (se necesita producir corriente eléctrica y voltaje). Si el único fenómeno que ocurriera en un semiconductor fuese la producción de pares electrón-hueco, al absorber fotones, no se tendría efecto fotovoltaico ya que mientras un hueco y un electrón se muevan en la

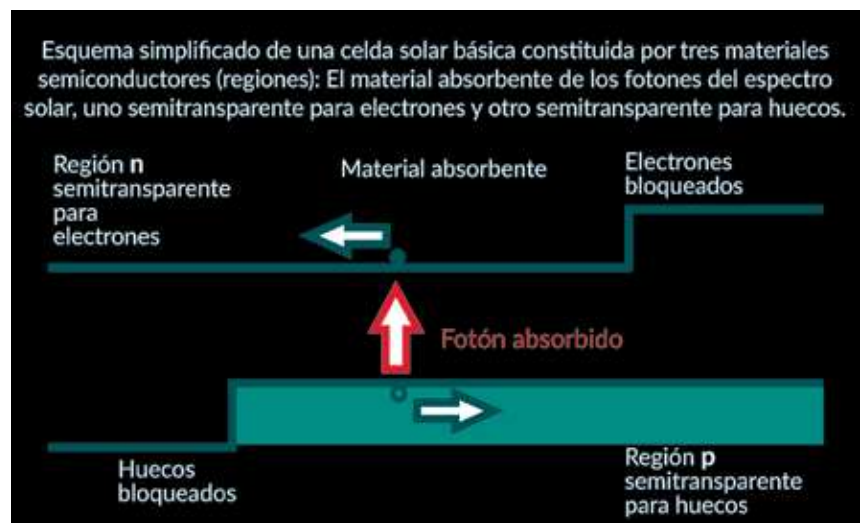


Las celdas solares son la base de los módulos y los sistemas fotovoltaicos, estos producirán la energía eléctrica demandada en el futuro”

misma dirección no se generaría una foto-corriente eléctrica y tampoco un voltaje (o diferencia de potencial).

En cada instante el flujo neto de carga sería cero y no habría foto-corriente, y al no haber separación de carga positiva de los huecos y carga negativa de los electrones tampoco habría diferencia de potencial interna, o sea un foto-voltaje. Los pares electrón-hueco generados tenderían a volver al estado de equilibrio, pasando el electrón desde la banda de conducción a la banda de valencia, transición a la cual se le conoce como recombinación de electrón y hueco. La energía en exceso del electrón libre sería transferida a un fotón (luminiscencia), o podría también generar fonones en el cristal, con lo cual el material incrementaría su temperatura, pero no se generaría energía eléctrica que es lo que deseamos con una celda solar. Es decir, podemos tener foto-conductividad, foto-luminiscencia o simplemente un material foto-térmico que podemos usar para calentar un líquido (agua) o para producir vapor que mueva una turbina, pero no una celda solar que produciría energía eléctrica de manera directa a través del llamado “efecto fotovoltaico”.

Lo que se requiere para producir energía eléctrica es que una vez que algún fotón sea absorbido generando un par de electrón y hueco, éstos (electrón y hueco) sean separados espacialmente, evitando su recombinación; de manera que se produzca corriente y voltaje (potencia), en vez de calentar al material. En forma simplificada, ilustramos en la siguiente figura un dispositivo electrónico que permite esto:



Debido al efecto de las regiones semitransparentes (o bloqueadoras) se produce la separación de huecos y electrones, causando el flujo de huecos en un sentido y de electrones en el sentido opuesto, por lo que habrá un flujo neto de carga eléctrica (corriente) cuando los contactos en los extremos se interconecten entre sí. Por otro lado, cuando estén

en circuito abierto (sin conexión entre sí), aparecerá una acumulación de electrones en un lado y de huecos en el otro, causando una diferencia de potencial (voltaje) entre estos; o sea que aparecerá un foto-voltaje. El campo eléctrico asociado a este voltaje causará una fuerza sobre los portadores de carga que evitará el flujo subsecuente de corriente; como debe ocurrir ya que en circuito abierto no hay corriente eléctrica entre los contactos.

Los materiales que son semitransparentes para los electrones (bloqueadores de huecos) o para los huecos (bloqueadores de electrones), generalmente son semiconductores también. En el primer caso se les llama materiales tipo "n" y en el segundo, tipo "p". Ambos se pueden realizar impurificando un material intrínsecamente puro. Por ejemplo, en silicio se puede introducir una pequeña cantidad de átomos de fósforo para hacerlo tipo "n". Similarmente, introduciendo pequeñas cantidades de átomos de boro en silicio se logra que este sea tipo "p".

En algunos casos, es posible que el material absorbente sea al mismo tiempo semitransparente para electrones o para huecos. Es decir, bastaría con poner en contacto silicio tipo "p" y "n" para tener una celda solar. Esto es lo que se ha hecho convencionalmente, pero en un nuevo tipo de celdas solares de silicio llamadas "HIT" las regiones semitransparentes para electrones y para huecos se han fabricado en base a silicio amorfo tipo "n" y "p", respectivamente. Estas son las que actualmente tienen la mayor eficiencia reportada para celdas solares hechas con silicio (25.6 por ciento).

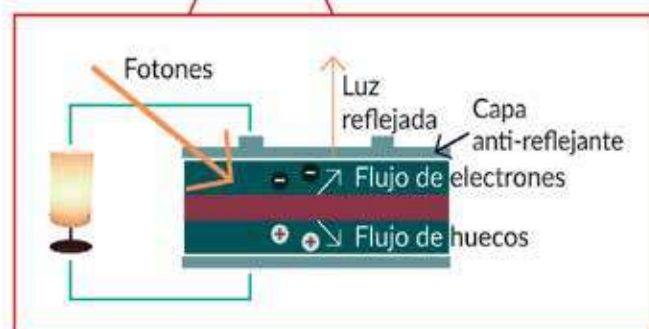
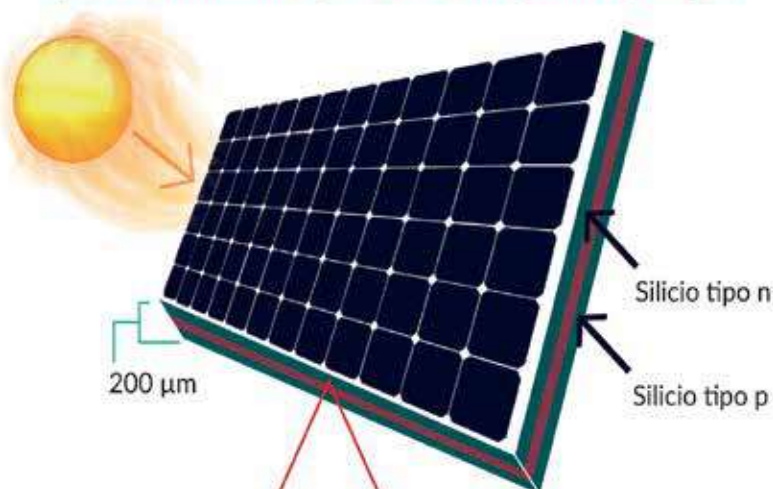
¿Qué significa que una celda solar tenga una determinada eficiencia de conversión? Al incidir una cierta potencia de radiación luminosa (P_{rad}) se obtiene una fracción en forma de potencia eléctrica ($P_{ele} = I \cdot V$). La eficiencia de conversión es entonces $\eta = P_{ele} / P_{rad}$. Por ejemplo, si hablamos de 15 por ciento significa que sólo se obtiene, en forma de potencia eléctrica, 15 por ciento de la potencia de la radiación solar incidente en un área determinada.

Idealmente hay materiales con valores de E_g óptimos, ya que el voltaje obtenido de la celda será más alto, al ser mayor E_g , pero la corriente será más baja pues un menor número de fotones del espectro solar podrá producir pares electrón-hueco. Se ha establecido que idealmente el valor óptimo de E_g está entre 1.4 y 1.5 eV. La máxima eficiencia de conversión para celdas solares con estos materiales absorbentes es del orden de 30-31 por ciento.

Una parte de la energía se pierde por los fotones que no pueden ser absorbidos por tener energía $E < E_g$, pero la mayor pérdida se debe a que los fotones absorbidos con $E > E_g$ poseen un exceso de energía $\Delta E = E - E_g$ que se transfiere al material en forma de calor, mediante la interacción de electrones y huecos con los átomos del semiconductor,

MÓDULO SOLAR FOTOVOLTAICO DE SILICIO

La tecnología para módulos fotovoltaicos actualmente está basada en Celdas Solares de Silicio mono y policristalino. En el futuro éstos podrán ser substituidos por nuevas tecnologías de capa delgada.



generando fonones. Esta pérdida representa 50 por ciento, por lo que este único fenómeno impedirá tener celdas solares con eficiencias mayores a ese número. Sumando todas las demás pérdidas se puede mostrar que estas representarían al menos un 20 por ciento adicional, por lo que la máxima eficiencia es del orden de 30 por ciento.

En otro momento escribiremos sobre cómo se podría rebasar este límite llamado de Shockley-Queisser para celdas solares de una unión. Las celdas solares son la base de los módulos y los sistemas fotovoltaicos, y como se explicó en un artículo anterior, estos producirán la energía eléctrica demandada en el futuro. El campo de investigación está abierto para el trabajo innovador de los científicos e ingenieros jóvenes.

Continuación del artículo "Promisorio futuro de la energía solar fotovoltaica", *Avance y Perspectiva*, vol. 2, No.1, septiembre-noviembre 2016, pp. 50-53.



Comentarios del lector

Leí el artículo sobre el Departamento de Ingeniería Eléctrica, por lo que les quiero agradecer sobre la calidad y redacción del contenido.

Reciban un cordial saludo.
Dr. Lorenzo Leija

Fue una gran sorpresa encontrar en los números de este año de la revista un espacio dedicado a la historia y a la importancia de cada uno de los Departamentos del Cinvestav. Por otro lado, quiero felicitar al equipo de AyP por la relevancia que le han dado a la página web, así como a sus redes sociales, ya que por medio de la tecnología es más sencillo que estemos informados de lo que se realiza en la revista.

Samuel Zurita

El equipo editorial de la revista AyP felicita a su reportero

PREMIO NACIONAL DE PERIODISMO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN 2016

El Foro Consultivo Científico y Tecnológico, A.C.,
y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología,
otorgan la presente:

MENCIÓN HONORÍFICA

a: **Guillermo Cárdenas Guzmán**

por su reportaje: *Las epidemias por venir*,
publicado en la revista Avance y Perspectiva
del Centro de Investigación y Estudios Avanzados
del Instituto Politécnico Nacional, en la categoría Revistas

14 de octubre de 2016, Puebla, Puebla.


Julio César Ponce Rodríguez
Coordinador de Proyectos, Comunicación e Información Estratégica

MÉXICO
ESTADOS UNIDOS MEXICANOS



FORO
CONSULTIVO
CIENTÍFICO Y
TECNOLÓGICO, A.C.



CONACYT

Ya puedes leer
el número 18 de

Forum

NOTICIAS DEL FORO CONSULTIVO

100 AÑOS DE
*la Facultad de Química
de la UNAM*

BENJAMÍN GRAYEB:
*La investigación
subutilizada en
sector agropecuario*

COPARMEX:
*MiPyMES en
riesgo por recorte
al presupuesto*

CASOS DE ÉXITO:
*Mexicanos multiplican
producción de biodiesel
con microalgas*

**PRESENTA FORO
CONSULTIVO**
*Agenda Ciudadana
en Iberoamérica*

**JOSÉ MANUEL
POSADA**
Mariposario

Recíbela cada mes en tu e-mail
forum@foroconsultivo.org.mx



FORO
CONSULTIVO
CIENTÍFICO Y
TECNOLÓGICO, A.C.

EL LADRÓN DE CEREBROS ATACA DE NUEVO

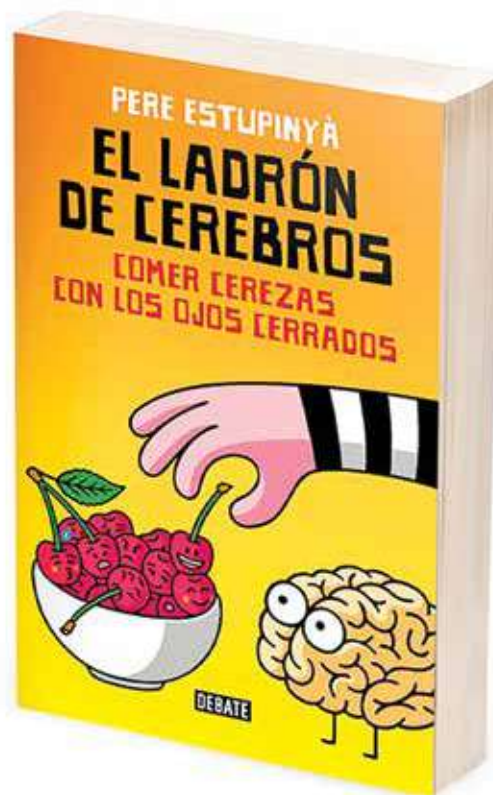


Víctor Juárez Lomán
Departamento de Difusión
vjuarez@cinvestav.mx

A cercarse a una publicación de Pere Estupinyà no es difícil, va en camino de ser un *rockstar* de la divulgación científica, sus libros tienen portadas vistosas y títulos atractivos. Éste no fue la excepción. Continuando con la saga, *El ladrón de Cerebros. Comer cerezas con los ojos cerrados* es un libro que me generó curiosidad por lo expuesto previamente y por una razón específica: porque “ya conocía” al autor. Fue gracias a un número especial de sexualidad en *Avance y Perspectiva*, donde uno de los editores invitados fue el ahora fallecido Carlos Beyer Flores. En esa ocasión reseñamos el libro *S=EX². La ciencia del sexo*, de este mismo autor pero, antes de hacerlo, decidí preguntarle al emérito del SNI y Premio Nacional de Ciencias y Artes 2007, si valía la pena hacerlo. “Es un excelente libro” –indicó Beyer–, y continuó diciéndome que Pere le parecía un tipo brillante.

Yo no he tenido el privilegio de conocer a Pere Estupinyà pero sí de leerlo, que quizá sea una experiencia medianamente análoga. Este libro hace un recuento de la actualidad en el mundo científico y tecnológico, habla de física, neurociencia, química, emociones y aplicaciones científicas que existen y las que sucederán. Toca puntos medulares como el CRISPR-Cas9, tema principal de este número de AyP, y otros, por ejemplo, la nutrigenómica. Habla de sexo, amor, juventud y salud; también menciona investigaciones realizadas en diversas partes del planeta y en muchas de las áreas del conocimiento, es decir, predica con el ejemplo lo que escribe con audacia: “la inteligencia no es sólo una capacidad, es una actitud”.

Y sí. Si la ciencia, como él mismo dice, nos ayuda a percibir cosas que a otros no, y la mente cerrada es la que cree, no la que duda, estamos ante el claro ejemplo de un periodista científico que no cree lo que le imponen, prefiere dudar y así crecer



intelectualmente, ayudándose de este modo a percibir cosas que no lograría si le faltara actitud. Es inevitable hacerse también esa pregunta. ¿Tengo la suficiente actitud? ¿Tengo la mente abierta?

Y es que a pesar de ser un libro muy completo, hay algo en especial que resalto: la forma en que el autor contagia (incluso mejor que un virus emergente) su entusiasmo por la ciencia y demuestra la importancia que tiene en nuestros días. Las aplicaciones diarias con las que nos beneficiamos gracias a ella, pero sin perder de vista el cuidado que requieren algunos avances de índole más controversial. “La ciencia no se hace en los países ricos, hace a los países ricos” –sentencia el autor, y agrega– “la ciencia es a un país lo que la educación a un individuo”. Lapidario.

Pero, parafraseándolo, no debemos intimidarnos ante los científicos, que suelen ser vistos como seres superiores. Es mejor aterrizarlos y tomar la ciencia como algo propio, hacerla cotidiana. Leí este libro con avidez y codicia, aunque siguiendo la recomendación del autor, no quisiera interferir con el flujo de “gasolina dopaminérgica” que los ilusione para su lectura.

Terminaré diciendo algo determinante en ese sentido: usted, amable lector, decidirá si se anima a leerlo, si lo hace con conocimiento de causa habrá elegido una cereza con los ojos abiertos (sea cual fuere su postura), yo, en lo personal, elegí este libro del mismo modo que si pensara científicamente: como si comiera cerezas con los ojos cerrados. 🌀

Estupinyà, Pere. *El ladrón de Cerebros. Comer cerezas con los ojos cerrados*. Editorial Penguin Random House, 2016.

CERVANTES Y SHAKESPEARE: DE LAS ESTRELLAS AL BIG DATA



Imagen: estrellascervantes.es

En la conmemoración mundial por el 400 Aniversario Luctuoso de Miguel de Cervantes Saavedra y William Shakespeare, autores fundamentales de la literatura universal, la ciencia se sumó al homenaje con propuestas de investigación e iniciativas que invitan a conocer más de estos genios, muertos en 1616, con algunos días de diferencia.

Entre las festividades científicas para recordar al creador de *El Quijote*, cuya obra se ha traducido a 144 lenguas como el coreano o el guaraní, destacó la iniciativa española en 2015 de nombrar una estrella lejana del Sistema solar con el apellido Cervantes, así como Quijote, Sancho, Dulcinea y Rocinante, a los cuatro planetas que la orbitan.

La iniciativa promovida por el Planetario de Pamplona, la Sociedad Española de Astronomía y el Instituto Cervantes, ante la Sociedad Astronómica Internacional, ganó el concurso NameExoWorlds, con la campaña en redes sociales #YoEstrellaCervantes. Ahora, "El Manco de Lepanto" y sus personajes más icónicos dan nombre al sistema planetario mu Arae, ubicado a 49.8 años luz de distancia de la constelación de Ara.

Entre los festejos con un toque de ciencia resaltó la propuesta de Google Arts & Culture para realizar una visita virtual en 360 grados por la exposición *Miguel de Cervantes de la vida al mito*, exhibida hasta el pasado 29 de mayo en la Biblioteca Nacional de España. Esta misma institución en su página web (www.bne.es) ofrece 26 mil documentos relacionados con el autor, entre los que se incluyen textos de su puño y letra.

También, la Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes (www.cervantesvirtual.com) presenta más de mil obras y estudios sobre el escritor, además permite el acceso a cerca de 18 mil imágenes. Llama la atención su fonoteca con audios de toda lectura de *El Quijote*

y las aplicaciones móviles con contenidos multimedia que permiten leer o escuchar todo Cervantes.

Tal vez, el trabajo científico más relevante sobre William Shakespeare lo concibieron Jonathan Hope, profesor de la Universidad de Strathclyde, Glasgow, y Michael Witmore, director de Folger Shakespeare Library de Washington, Estados Unidos, al usar *Big Data* para analizar la obra del dramaturgo, en un proyecto que intenta determinar si el autor realizaba su trabajo con ayuda de otros escritores.

Con técnicas digitales utilizadas en *marketing*, finanzas, minería de datos y *software* desarrollado en la Universidad de Carnegie Mellon de Pittsburgh llamado DocuScope, los investigadores analizaron 767 fragmentos de mil palabras extraídos de la primera recopilación de su obra (First Folio) donde se reúnen 36 de sus obras, impresa en 1623 y hallada a principios de 2016 en Escocia, para conocer de forma detallada su manera de escribir.

Los resultados, modelados en un gráfico a manera de mapa, ubican las obras de Shakespeare dependiendo de su forma dramática e indican que el lenguaje de sus comedias es diferente al de las tragedias. Clara Calvo, catedrática de la Universidad de Murcia, establece que en los Siglos XVI y XVII era habitual que los dramaturgos escribieran juntos algunas obras.

Un suceso que atrajo la atención fue el escaneo, mediante un radar de penetración terrestre, de la tumba del también poeta, ubicada en la Iglesia de Holy Trinity en Stratford, para comprobar la versión de la revista *The Argus* de 1879, sobre que su cráneo fue robado en 1794. Finalmente, Twitter lo recordó con un *emoji* de su figura y Google (quien recibe 2.4 millones de búsquedas por minuto) dedicó un *doodle* para ambos autores. 🌀

(Efrén Díaz)

En 1616 España se regía por el calendario Gregoriano e Inglaterra, por el Juliano, mediando 10 días de diferencia, por lo que en realidad Cervantes murió el 22 de abril y Shakespeare el 3 de mayo

EstePaís

TENDENCIAS Y OPINIONES

Transgresiones a la democracia



José Fernández Santillán,
Max Kaiser, Fernando Alcázar,
Mara Rivera, Martha Delgado,
Roberto Velasco Álvarez

EstePaís|cultura
Fernando Iwasaki, Mario
González Suárez, Malena
Mijares, Sofía Ortiz

estepais.com

Suscríbase al 5658 2326 • 5659 8360



FUENTES ^{DE} ENERGÍA ALTERNATIVA

DICIEMBRE 2016-FEBRERO 2017 <sup>EXPOSICIÓN
INTERACTIVA</sup>

MUSEO DE CIENCIA

EL PÉNDULO DE FOUCALT

CENTRO CULTURAL

"MANUEL GÓMEZ MORÍN"

ENTRADA LIBRE



Cinvestav



CONACYT



CONCYTEQ

¡DALE VIDA A LA IMAGEN! DESCARGA LA APLICACIÓN KIIN,
APUNTA A ESTA PÁGINA Y VISUALIZA LA MAQUETA VIRTUAL



Disponible en el
App Store

DISPONIBLE EN
Google play