

CONUERSUS

• Donde la ciencia se convierte en cultura •

No. 151, enero-febrero, 2022.

Tecnologías
digitales



Arturo Reyes Sandoval
Director General
Juan Manuel Cantú Vázquez
Secretario General
Lorenzo Javier Reyes Trujillo
Secretario Académico
Laura Arreola Mendoza
Secretaría de Investigación y Posgrado
Ricardo Monterrubio López
Secretario de Innovación e Integración Social
Ana Lilia Coria Páez
Secretaría de Servicios Educativos
Javier Tapia Santoyo
Secretario de Administración
Eleazar Lara Padilla
Secretario Ejecutivo de la Comisión de Operación y Fomento de Actividades Académicas
María del Rocío García Sánchez
Secretaría Ejecutiva del Patronato de Obras e Instalaciones
Abogado General
Modesto Cárdenas García
Presidente del Decanato
Orlando David Parada Vicente
Coordinador General de Planeación e Información Institucional
Eva Rosario García De Zaldo
Coordinadora de Imagen Institucional
Hortensia Gómez Víquez
Directora de Difusión de Ciencia y Tecnología
Antonio Romero Hernández
Subdirector de Planeación y Servicios de Apoyo de la DDIyT

Conversus
Editora
Rocío Ledesma Saucedo
Diseño y diagramación
Tzi tziqui B. Lemus Flores,
Jovan Campos Hernández
Corrección de estilo
Lorena Tapia Chávez
ConversusTV
Adriana Negrete Gutiérrez
Colaboraciones Especiales

Isaura González Rubio Acosta, Dolores Alejandra Ferreira Loza,
Juan José Tapia Armenta, Jessica Beltrán Márquez,
Julio César Rolón Garrido, Teodoro Álvarez Sánchez,
Roger Miranda Colorado, Jesús Abraham Rodríguez Arellano,
Víctor Daniel Cruz Lares, Rigoberto Juárez Salazar,
Ricardo Ramón Pérez Alcocer, Maritriñy Ruaro Moreno,
Guillermo Tovar Márquez, Guadalupe Zapata Castro,
Arelí Adriana Castañeda Díaz, Carlos Ortega Ibarra,
Aldo Ricardo Juárez Arias, Isaura Fuentes Carrera,
Jessica G. Dávalos Vázquez, Celestino Antonioli Ravetto,
Yuritzen Solache Ruiz, Ignacio Vega Acevedo

Comité Editorial

Laura Arreola Mendoza (SIP-IPN), Julieta Fierro Gossman (IA-UNAM),
Juan Silvestre Arando Barradas (UPIB-IPN),
Julia Tagüeña Parga (IER-UNAM)
Tonatiuh Matos Chassín (CINVESTAV-IPN),
Juan Tonda Mazón (IER-UNAM), Edilso Reguera Ruiz (CICATA-IPN),
Rolando Isita Tornell (DGDC-UNAM),
Isaura Fuentes Carrera (ESFM-IPN), José Franco (IA-UNAM),
Hernani Yee Madeira (ESFM-IPN),
Elaine Reynoso Haynees (DGDC-UNAM)

Conversus, Año 2022, número 151, enero-febrero 2022, es una publicación bimestral en formato digital vía red de cómputo, editada por el Instituto Politécnico Nacional (IPN), a través de la Dirección de Difusión de Ciencia y Tecnología (DDIyT), de la Secretaría de Investigación y Posgrado. Av. Zempoaltecas s/n, esq. Manuel Salazar, Col. Ex Hacienda El Rosario, Alcaldía Azcapotzalco, Ciudad de México, C.P. 02420, Teléfono: 57 29 60 00, extensión 64827, conversus@ipn.mx. Editora Responsable: Rocío Oliva Ledesma Saucedo. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2001-100510055600-102, ISSN: 1665-2665, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Certificado de Licitación de Título No. 11836, Certificado de Licitación de Contenido No. 8437, ambos otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación.

Los artículos firmados son responsabilidad exclusiva de su autor o autora, por lo que no reflejan necesariamente el punto de vista del IPN. Se autoriza la reproducción parcial o total, siempre y cuando se cite explícitamente la fuente y se solicite vía correo electrónico la autorización correspondiente.



Epicentro

P2

¿Un mundo sin tecnología?



Escáner

P4

El papel de la tecnología en la innovación social



#HechoEnElIPN

P8

Observadores, algoritmos para detectar lo imprevisible

P14

Cómputo de alto rendimiento en ciencia e ingeniería

P18

¿Es la inteligencia artificial una amenaza o somos los humanos una amenaza con la IA?

P20

La percepción remota satelital y su importancia para la preservación del medio ambiente

P24

Persistencia hacia el procesador neuromórfico

#HechoEnElIPN

P26

Importancia del Sistema Operativo Robótico (ROS) para el control de sistemas mecatrónicos

P30

Sistemas avanzados de visión digital 3D

P36

La teoría de control en el desarrollo de vehículos no tripulados

P40

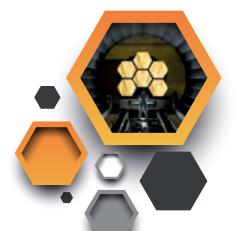
La salud digital en época de pandemia



Conciencia

P42

18 espejos de berilio y otros números del Webb



#ElPolitécnicoDesdeAdentro

P46

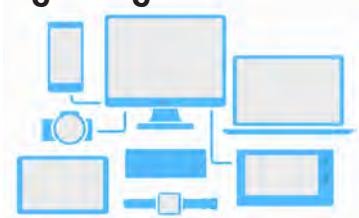
Tour por el Citedi



Trotamundos

P50

El mundo de los sistemas y las tecnologías digitales



#TuCuriosidadAlDespegue

P52

Tecnología digital



CultivArte

P54

Tecnologías y artes digitales



Manos a la ciencia

P58

Ciencia en Cuadritos



#CienciaEnAcción

P60

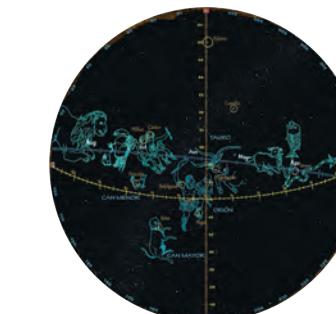
Medición aproximada de la velocidad de la luz por medio de un horno de microondas



Zona PLEE

P64

El cielo de marzo y abril de 2022



Recuerda que Conversus incluye códigos QR (Quick Response Code) y ahora los puedes checar con tu smartphone. En este número encontrarás los códigos en las páginas: 3, 28, 29, 50, 51, 52 y 53



Conversus
Divulgación
Científica



@conversusdelipn



ConversusTV



ConversusRadio



@conversusdivulgacion

¿Te gustaría escribir en Conversus? Consulta los lineamientos en: ipn.mx/ddicyt sección Cultívate

¿Un mundo sin tecnología?



Ciencia y tecnología:
avances y retrocesos.
Carl Sagan



Yo, Robot. Isaac Asimov



Influencia de las tecnologías digitales. ONU
Tecnologías digitales para un nuevo futuro



Preguntan a un grupo de niños en Ecuador ¿cómo sería el mundo sin tecnología?, hay respuestas encontradas, pero Carlos y Gabby las sintetizan así:

Carlos: –Estaría entre bien y mal. Bien porque las computadoras, televisores y celulares son una distracción para los niños, pero...

Gabby: –Sin tecnología no hubiese la medicina que hay ahora.

[VientosTV](#). Entérate: ¿Cómo sería el mundo sin tecnología?

Cuando escuchamos el término "tecnologías digitales", frecuentemente pensamos en las tecnologías de la información que nos permiten estar comunicados y conectados y que, en muchos casos, como opina Carlos, nos distraen; sin embargo, el desarrollo e innovación de tecnologías digitales va mucho más allá.

Para nosotros, tal vez se resuma en los aparatos que usamos a diario: el celular, la computadora, las plataformas y aplicaciones para las compras, el transporte o las clases virtuales; pero, aunque no lo veamos a simple vista, la inteligencia artificial, la robótica, los sistemas inteligentes, el internet de las cosas o la ciencia de datos están presentes en nuestra vida cotidiana. Incluso, las [tecnologías digitales](#) ahora nos llevan a lugares recónditos del Espacio, como en el caso del [Telescopio James Webb](#), o a descubrir en tiempo récord vacunas para poder enfrentar un virus que puso de cabeza al mundo.

Pero las tecnologías no surgen solas, atrás de ellas existe toda una comunidad de especialistas en ciencia y tecnología que investiga, diseña, desarrolla y aplica el conocimiento.

Es precisamente un grupo de expertas y expertos del [Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital \(Citedi\)](#) del Instituto Politécnico Nacional

(IPN), quienes participan en esta edición de [Conversus](#). Cada una y cada uno de ellos te mostrarán, desde su área de conocimiento, diversas aplicaciones, diseños y desarrollos de las tecnologías digitales. Tal vez después de leer esta edición te sientas con el entusiasmo de estudiar e involucrarte de manera protagónica en el mundo de las tecnologías.

Antes de continuar con la lectura de la revista, no queremos dejar de mencionar que uno de los aspectos relevantes a considerar es el uso que se dé a la tecnología. [Carl Sagan](#) e [Isaac Asimov](#), entre otros divulgadores científicos, pioneros en el peligro que puede representar no usar la tecnología con [principios éticos](#). La [Organización de las Naciones Unidas \(ONU\)](#) expresa que "las tecnologías también pueden amenazar la privacidad, comprometer la seguridad y alimentar la desigualdad".

Tal vez hay decisiones que dependen de los gobiernos, de las industrias y las empresas, pero hay otras que nosotras y nosotros mismos podemos tomar. Es importante escuchar la opinión de niñas y niños como Carlos y Gabby, comprometernos, desde lo que está en nuestras manos, para que las tecnologías digitales las usemos de manera responsable porque, el mundo no se quedará sin tecnología y la humanidad ya no podría vivir sin ella. O, ¿tú te imaginas un mundo sin tecnología?

Rodríguez Zedeno Saavedra



Escáner

Isaura González Rubio Acosta
Centro de Investigación y Desarrollo de
Tecnología Digital (Citedi),
Instituto Politécnico Nacional (IPN).



¿Qué viene a tu mente cuando lees o escuchas el término "innovación"? Probablemente la imagen del último dispositivo móvil en el mercado, o la última misión espacial transmitida en vivo, o quizás los audífonos inalámbricos de conducción ósea, increíble que no se coloquen en los oídos! Ciertamente, son innovaciones, específicamente son **innovaciones tecnológicas**. Éstas y otras en su tipo brindan posibilidades anteriormente inimaginables: algunas nos han permitido estar en contacto instantáneo —prácticamente— a la distancia, otras monitorean nuestra salud, están aquellas que nos proporcionan mayores opciones de entretenimiento a las que existían hace apenas cinco años, y recientemente, están aquellas que nos han permitido llevar acabo, con mayor seguridad, algunas de nuestras actividades cotidianas pese al confinamiento: trabajar, estudiar y socializar, desde luego, con obvias limitaciones.

El papel de la tecnología en la innovación social



¹ El 50% de las solicitudes recibidas por la *Global Innovation Fund* han sido rechazadas porque no pueden demostrar que su solución tiene el potencial de ser mejor que las existentes.
<https://www.globalinnovation.fund/2000-pitches-later-how-to-improve-your-odds/>

Pero la innovación va mucho más allá, tiene gran cantidad de enfoques y campos en los que puede aplicarse en el día a día. De forma muy general, innovar es hacer las cosas de una forma diferente, o bien, hacer lo que antes no era posible debido a determinadas condiciones o restricciones, sean logísticas, económicas, tecnológicas o de cualquier tipo.

En un intento por catalogar las distintas clases de innovación que existen, podemos hablar, por ejemplo, de innovación de producto cuando los audífonos pasaron de ser unas monumentales diademas cableadas a pequeños dispositivos inalámbricos. En un contexto muy diferente, también hablamos de innovación cuando una empresa modifica su estructura para incrementar la productividad; aquí nos encontramos entonces ante una innovación organizativa. Ahora bien, ¿qué viene a tu mente cuando hablamos de innovación social?

La innovación social, orígenes y definición

Godin (2012) afirma que la **innovación social** surgió desde hace más de doscientos años, pero su preponderancia es relativamente reciente y, de hecho, la literatura relacionada con el tema coincide en que aún no existe un consenso sobre su definición.

Una definición muy aceptada es la de Murray *et al.* (2010), ellos definen las innovaciones sociales como “nuevas ideas (productos, servicios y modelos) que simultáneamente satisfacen necesidades sociales y crean nuevas relaciones sociales o colaboraciones”.

Partamos de esta definición para abordar tres aspectos fundamentales de la innovación social: generación de nuevas ideas, necesidades sociales y colaboración.

Primero empecemos por las **ideas**. Existen diversas metodologías que al implementarse tienen por objetivo que las personas involucradas postulen ideas verdaderamente innovadoras en la búsqueda de soluciones a necesidades sociales; ejemplos de estas metodologías son el pensamiento de diseño, el **modelo CANVAS** y el **design sprint**. Aquí lo verdaderamente interesante, en particular para los organismos que ofrecen financiamiento para este tipo de iniciativas, es que la solución propuesta demuestre que tiene el potencial de ser mejor que cualquier solución aplicada en la práctica¹.



En segundo término, hablemos del aspecto correspondiente a las **necesidades sociales**. Un marco determinante que aborda las problemáticas mundiales ha sido la definición de los **17 Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS)**, mismos que “constituyen un llamamiento universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar las vidas y las perspectivas de las personas en todo el mundo”², razón por la que con frecuencia son el marco bajo el cual se postulan los proyectos de innovación social.

Finalmente, como tercer aspecto tenemos el de la **colaboración**, el cual es fundamental ya que la complejidad de los proyectos de innovación social es, con frecuencia, considerable. El origen de estas iniciativas de innovación llega a ser sumamente diverso, e invariablemente, en algún punto sus requerimientos de recursos humanos, financieros y técnicos precisarán de relaciones sociales y de colaboración con diversos sectores.

Ámbitos en los que influye la tecnología

Los proyectos de innovación social pueden o no tener un componente tecnológico central, no obstante, es un hecho que la tecnología puede impactar de manera importante. Esto sucede debido a que brinda la oportunidad de abordar problemáticas a través de soluciones antes inimaginables.

No obstante que la tecnología es un aspecto que damos por hecho en nuestra vida cotidiana, existen una gran cantidad de ejemplos de proyectos de innovación social donde la tecnología juega un papel fundamental. Veamos dos ejemplos en salud y educación.

Vitaever (Italia, ODS: Salud)

Lanzado a mediados del año 2000, **Vitaever**³ ofrece tecnología de punta para rastrear, administrar y optimizar la distribución de personal, activos y bienes para los servicios de salud móviles y hospitales tradicionales de un solo sitio. Este proyecto enfrentó desafíos importantes en su desarrollo que requirió muchas rondas de pruebas y también un equipo multidisciplinario; la versión mejorada se logró terminar diez años después de su lanzamiento y a la fecha continúa en operación. Este fue un proyecto seleccionado por **The Young Foundation**⁴ y refleja los tres aspectos tratados referentes a una nueva idea para una problemática social, resuelta a través de la colaboración multidisciplinaria.

WorldReader (Ghana, ODS: Educación)

Este proyecto inició en 2010. **WordReader**⁵ busca incentivar la lectura en lugares donde los libros escasean y los acerca a las personas a través de medios digitales. Su primera intervención fue en una escuela en Ghana, donde distribuyeron dispositivos electrónicos con libros digitales, mismos que despertaron, primero la curiosidad y después el interés de los niños por la lectura (Rodríguez Blanco, Carreras y Sureda, 2012). En este ejemplo, hay que destacar la utilización de tecnología desarrollada en su totalidad para atender a esta población mediante una iniciativa novedosa que detonara el interés de los niños por conocer y aprender.



Los desafíos del componente tecnológico en los proyectos de innovación social no son pocos. Se requiere contar con los medios para adquirir o desarrollar la tecnología, expertos en el área tecnológica en cuestión y en ocasiones licenciamientos, certificaciones o permisos de uso. La suma de estos aspectos produce una mayor complejidad, pero cuando es superada, llega a provocar un impacto social significativo en las comunidades beneficiadas, así como un gran bagaje de lecciones aprendidas que permitan replicar la iniciativa en otras comunidades.

La aportación del Citedi a la innovación social

Hemos hablado de la complejidad en cuanto a la diversidad de factores, sectores, actores y condiciones que implican los proyectos de innovación social y, si bien existen metodologías conocidas para idear soluciones innovadoras y métodos para la gestión y evaluación, no existe una herramienta sistemática que permita determinar el tipo y grado de apoyo que los proyectos de innovación social requieren para su impulso en aspectos como el tecnológico, normativo, estratégico, metodológico, por mencionar algunos.

En el **Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital (Citedi)** del Instituto Politécnico Nacional (IPN), abordamos esta problemática basados en la información contenida en las propuestas de proyectos de innovación social, de manera que, a través de la metodología que formulamos, sea posible detectar el talento complementario apto para colaborar con el equipo postulante en el alcance de los objetivos de su proyecto. Buscamos que, a través del apoyo que expertos en su campo proporcionen, sus proyectos lleguen a ser realizables, eficientes, eficaces y sostenibles, tomando en cuenta también si existe una componente tecnológica central en la propuesta.

¡A innovar!

Sin duda, las tecnologías existentes pueden tener un impacto transcendental cuando surgen ideas creativas, realistas, aplicables y replicables que beneficien a la sociedad; y, además, si la tecnología está en desarrollo el desafío es aún mayor.

Así que, si te gustan los retos, eres creativo y quieres aportar en la solución de problemáticas actuales en tu comunidad y más allá, tú podrías ser un gran innovador social.

Referencias

- Godin, B. (2012). “Social Innovation: Utopias of Innovation from c. 1830 to the Present”. Working Paper No. 11, Project on the Intellectual History of Innovation, Montreal, Canada. Disponible en: http://www.csiic.ca/PDF/SocialInnovation_2012.pdf
- Murray, R.; Caulier-Grice, J.; Mulgan, G. (2010). *The Open Book of Social Innovation*. The Young Foundation y Nesta.
- Rodríguez Blanco, E.; Carreras, I. y Sureda, M. (2012). *Innovar para el cambio social*. Sant Cugat del Vallès, Barcelona: ESADE, Instituto de Innovación Social.

² <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>

³ <https://www.vitaever.com/en/>

⁴ <https://www.youngfoundation.org/publications/this-is-european-social-innovation/>

⁵ <https://www.worldreader.org/about-us/history/>



#HechoEnElIPN

Dolores Alejandra Ferreira de Loza
Investigadora del programa Cátedras CONACYT
adscrita al Centro de Investigación y Desarrollo de
Tecnología Digital (Citedi),
Instituto Politécnico Nacional (IPN).



Observadores, algoritmos para detectar lo imprevisible

Uno de los accidentes más sonados de la aviación ocurrió en el 2009 al vuelo AF447 de Airfrance. Se trataba de un vuelo entre la ciudad de Río de Janeiro y París. El avión atravesaba una tormenta cuando cayó a mitad del océano causando la pérdida de 218 vidas humanas. El análisis de la caja negra indicó que el fallo de un sensor detonó los sucesos que condujeron a la caída del avión.

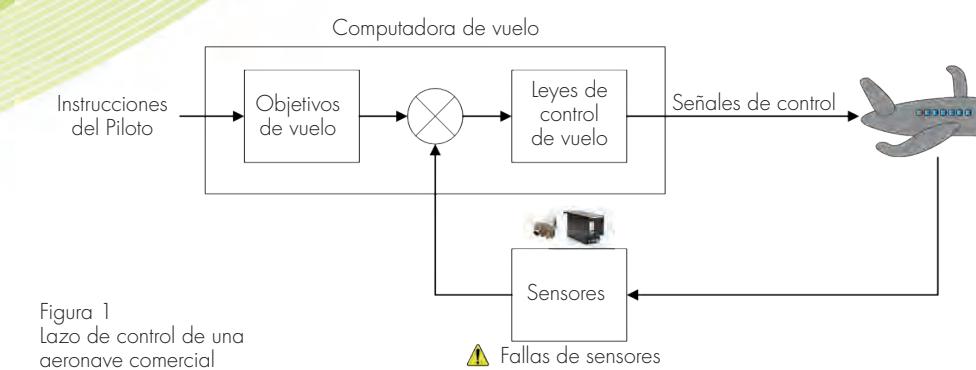


Figura 1
Lazo de control de una
aeronave comercial

Un avión es un sistema complejo que involucra múltiples sistemas de control. La función de los **sistemas de control** es incidir sobre el comportamiento del avión a partir de las mediciones tomadas por los sensores y con base en las referencias proporcionadas por la tripulación de cabina. La **computadora de vuelo** suministra las instrucciones a los sistemas de control locales que se encargan de accionar sobre la aeronave. La Figura 1 ilustra *grosso modo* el lazo de control de una aeronave comercial.

Los sensores juegan un papel fundamental en los sistemas de control. Si un sensor falla, sus mediciones dejarían de ser confiables y la computadora de vuelo estaría calculando las acciones con base en datos erróneos y los resultados podrían ser fatídicos. Por tal motivo, los aviones están dotados de mecanismos de detección de fallas.

En el caso del vuelo AF447, los sensores encargados de medir la velocidad del aire, localizados en el exterior de la aeronave, se congelaron al atravesar una tormenta inusual a la altura en la que volaba el avión. La computadora de vuelo detectó el fallo, apagó el sistema de conducción autónoma y dejó el control de la aeronave en manos de los pilotos. Desafortunadamente, los pilotos no

reaccionaron adecuadamente y cometieron errores que condujeron a la catástrofe en cuestión de minutos [1].

¿Cómo detectan las fallas los aviones?

La detección de fallas en la industria aeronáutica se basa en el principio de redundancia, es decir, mediciones de una misma variable a través de dos o más sensores idénticos. Existen tres sensores redundantes que miden una misma variable en un avión comercial estándar, el promedio de las tres mediciones es la señal que considera como válida la computadora de vuelo.

Un mecanismo de votación monitorea y revisa el estado de cada sensor y es utilizado para detectar los comportamientos anormales de los sensores. La Figura 2 ilustra un mecanismo de votación que considera tres sensores redundantes. Cuando el valor entregado por el sensor S1 discrepa más allá de un umbral de referencia, se considera que hay una falla y se descarta S1. Cuando solamente hay dos sensores disponibles y uno de ellos falla, tal es el caso de S2, el valor

seleccionado por el mecanismo de votación ya no es confiable, ya que es incapaz de determinar cuál de los sensores es el que falló y la computadora de vuelo se queda sin información. En principio, esta limitante puede subsanarse agregando más sensores, pero esto conlleva incrementar el peso y el costo de la aeronave y el consiguiente aumento en el consumo de combustible [2].

Sistemas de control: observadores

Una alternativa prometedora para detectar la ocurrencia de fallas sin incrementar el número de sensores es implementar un observador. Un observador es un sistema de control, es decir, un método de decisión que usa la información disponible (señales de la aeronave) para alcanzar un objetivo deseado (determinar si hay una falla) a pesar de las incertidumbres (condiciones climáticas, turbulencias, etcétera). Un observador da un valor estimado de aquello que no podemos ver o medir.

A diferencia del mecanismo de votación, el observador es un método riguroso que se fundamenta en herramientas matemáticas. La ventaja sustancial sobre el mecanismo de votación es que el observador usa la retroalimentación o feedback. La realimentación significa que el observador puede corregir en tiempo real las decisiones que toma con base en lo que va

aconteciendo en el sensor, la aeronave y en el entorno; es una herramienta crucial para hacer frente a incertidumbres o acontecimientos inesperados, como las fallas. El mecanismo de votación, por el contrario, realiza siempre la misma acción: comparar y descartar; requiere de al menos tres sensores disponibles para discriminar adecuadamente en qué sensor está ocurriendo la falla. El observador, en cambio, discrimina exitosamente la ocurrencia de la falla en cualquier situación y con cualquier número de sensores disponibles.

¿Cómo se diseña un observador?

En primer lugar, se requiere un modelo matemático del sistema, asimismo, se necesita partir de ciertas hipótesis, por ejemplo: existen sensores que son más propensos a fallar que otros. En un avión, los sensores que miden la velocidad y ángulo de ataque del aire se encuentran localizados en el fuselaje y son susceptibles a congelamientos y obstrucciones, por tanto, son

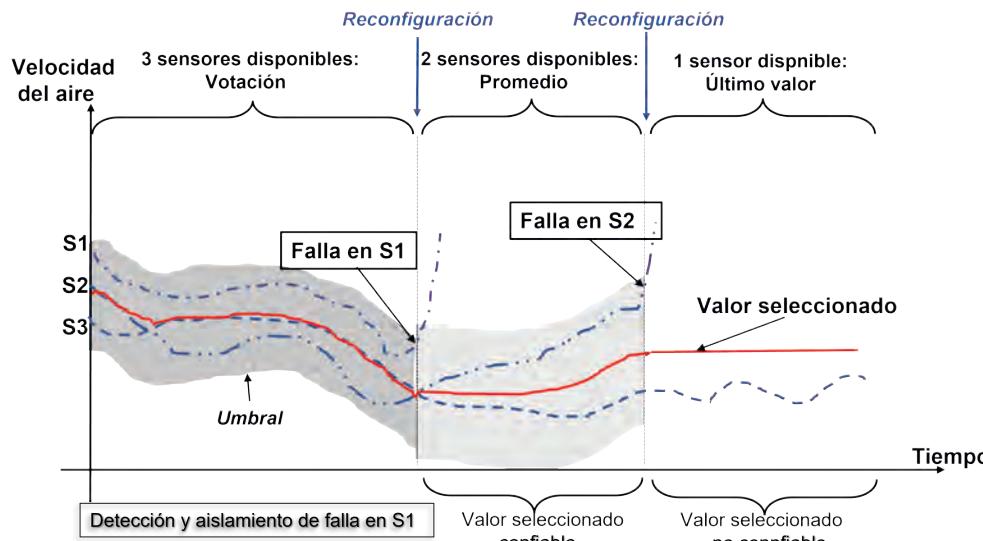


Figura 2
Mecanismo de votación



más propensos a fallar en comparación con los sensores que miden la posición y la pose de la aeronave.

El observador consiste en una réplica numérica, esto es, un modelo matemático de la aeronave al que se le suministra la información disponible (es decir, los comandos de la computadora de vuelo), a partir de la que arroja un estimado del estado de la aeronave (pose, altitud, ángulo de ataque y velocidad del aire). Además puede detectar y reconstruir la falla que está ocurriendo. La Figura 3 ilustra el funcionamiento de un observador donde se considera que el avión está sujeto a incertidumbres $w(t)$ y fallas $f(t)$. Se desea identificar si está ocurriendo una falla y , además se desea observar (estimar) el comportamiento de la falla. El observador provee un valor estimado \hat{f} , ver Figura 3A.

Sin embargo, un modelo matemático es solo una aproximación del sistema y no contempla las condiciones inciertas y cambiantes del ambiente exterior que impactan en el comportamiento de la aeronave; el observador provee un valor estimado (Fig. 3A). Debido a esto el valor estimado no coincide con la realidad, es decir, existe un error entre el valor real y el estimado. Para subsanar este error, es menester agregar un término de corrección o *feedback* con el cual el observador será capaz de actualizar la señal provista hasta que corresponda con la realidad, lo que significa que el error entre las señales medidas y las estimadas sea cero (Fig. 3B).

El observador da un estimado de todas las variables de interés, incluyendo la velocidad de aire. El valor estimado de la velocidad del aire funciona como un "sensor virtual" y puede ser utilizado en el mecanismo de votación para ayudar a discriminar las fallas. La Figura 4 muestra que, cuando la señal es-

timada de la falla \hat{f} es cero el sensor está funcionando correctamente, en caso contrario, si la señal estimada no es cero, es decir, $\hat{f} \neq 0$, el sensor debe descartarse. En su lugar sería posible utilizar el "sensor virtual". A diferencia de los sensores físicos, el sensor virtual diseñado mediante el observador no se ve afectado por las condiciones del clima, así que el valor que otorga corresponde al valor real. En caso de que los sensores que miden la velocidad del aire se congelen y fallen, como aconteció con el vuelo AF447, la señal provista por el observador estaría disponible para ser utilizada [3].

En resumen, los observadores pueden ser usados como sensores virtuales para aumentar el número de sensores disponibles en la aeronave; también pueden ser usados para reemplazar a aquellos que sufren una falla. Al tratarse de un "sensor virtual" que no es hardware sino software, no incrementa sustancialmente el peso de la aeronave y, como algoritmo, consume recursos computacionales. No obstante, hoy en día se cuenta con un alto poder de cómputo y la implementación de un observador no representa un inconveniente. El uso de observadores no redunda en un aumento de peso, en cambio garantiza la confiabilidad y autonomía de la aeronave.

Generalmente las nuevas tecnologías son puestas en práctica hasta que existe una idea clara de los beneficios en términos del costo o del desempeño. Los ob-

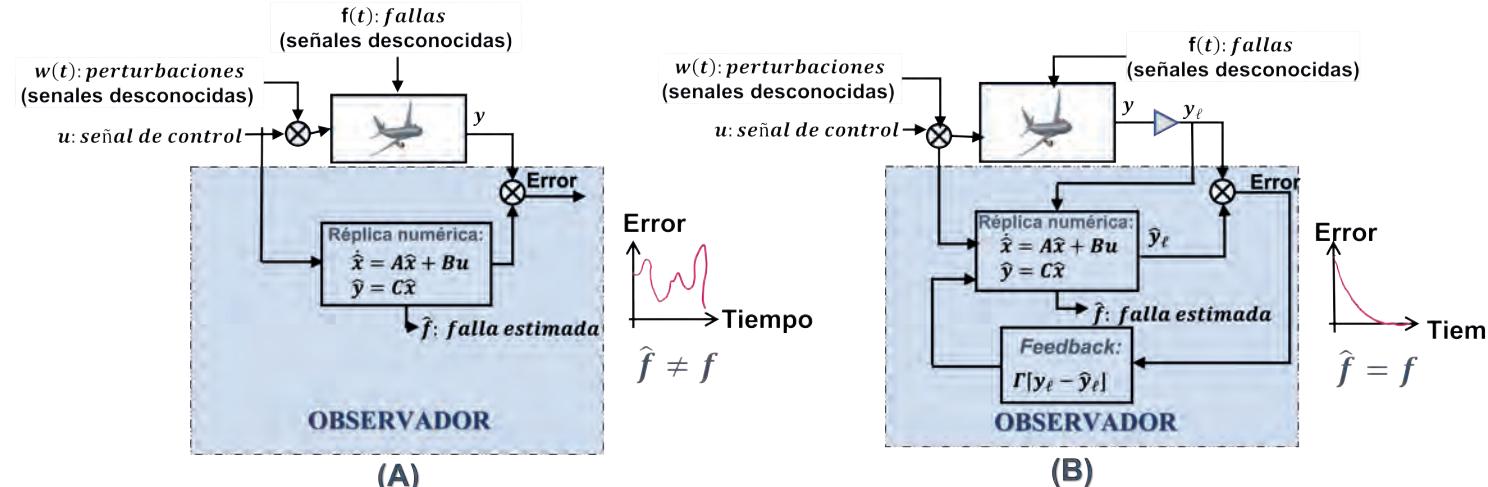


Figura 3
Funcionamiento de un observador

sustentables con muchas aplicaciones que, en el campo de los sistemas aeronáuticos, garantizarían la confiabilidad y autonomía de la aeronave y contribuirían a disminuir la huella de carbono volviendo las tecnologías más sustentables. □

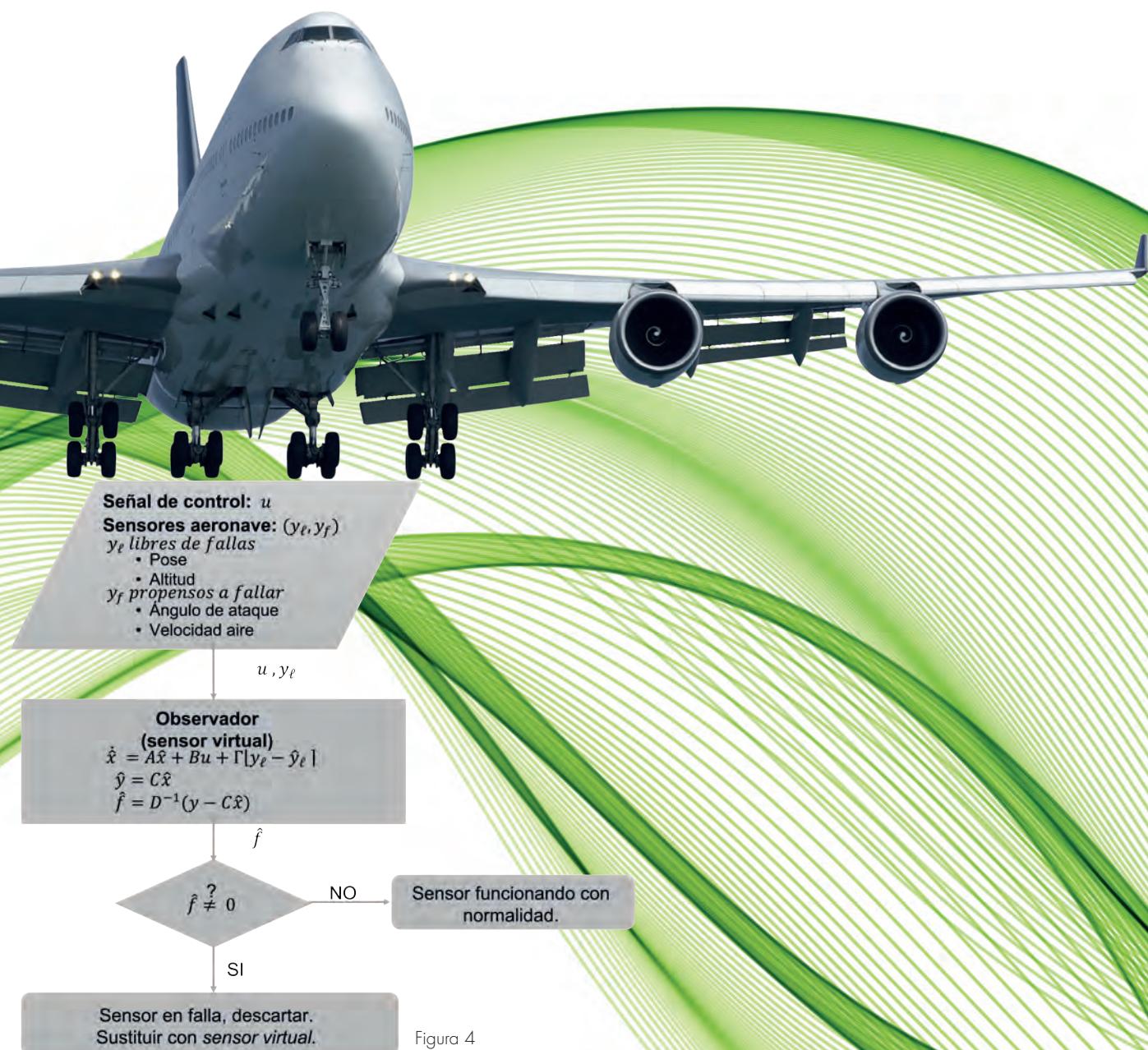


Figura 4

Referencias

- [1] Ferreira de Loza, A.; Cieslak, J.; Henry, D.; Zolghadri A. and Dávila, J. (2015). "Sensor fault reconstruction in integrated multisensory avionics systems: a dedicated sliding modes approach", IET Control theory and applications, 9:4, 598-607. <https://doi.org/10.1049/iet-cta.2014.0226>
- [2] Mayday: Air France 447, <https://www.nationalgeographic.es/video/tv/2-air-france-447>
- [3] Zolghadri, A.; Henry, D.; Cieslak, J.; Efimov, D.; Goupi, P. (2014). Fault Diagnosis and Fault-Tolerant Control and Guidance for Aerospace Vehicles: From Theory to Application, Springer, Series: Advances in Industrial Control, ISBN 978-1-4471-5312-2.



Cómputo de alto rendimiento en ciencia e ingeniería

Es indiscutible la importancia de la ciencia en su papel de generar conocimiento y de la ingeniería en desarrollar y aplicar tecnología basada en conocimientos generados por la ciencia para el bienestar de la humanidad.



El primer paradigma de la ciencia se originó con un enfoque empírico, mediante la descripción de los fenómenos naturales basada en experimentos y mediciones. Posteriormente, surgió el segundo paradigma conocido como **ciencia teórica**, con un enfoque analítico, en la que se estudian los fenómenos físicos, biológicos, químicos, entre otros, en sus aspectos fundamentales mediante un conjunto de leyes, por ejemplo, las leyes de Newton.

Desde hace algunas décadas el avance en la tecnología ha permitido desarrollar procesadores con una gran capacidad, lo que da lugar al tercer paradigma de la ciencia conocido como **ciencia computacional**. El enfoque del **cálculo científico** consiste en obtener conocimiento, principalmente a través de modelos matemáticos implementados en computadoras mediante cálculo de alto rendimiento. De esta manera surgen áreas como **física computacional**, **química computacional** y **biología computacional**.

Cabe resaltar que, el Premio Nobel de Química 2013 se otorgó en el área de química computacional por el estudio de la dinámica molecular mediante algoritmos de cálculo de alto rendimiento [1].

Al cuarto paradigma de la ciencia se le conoce como **e-Ciencia** o ciencia manejada por los datos, es decir, la extracción del conocimiento se basa principalmente en el procesamiento de una gran cantidad de datos [2]. Pueden ser generados por instrumentos o por medio de un simulador, procesados y analizados por algoritmos de ciencia de datos e inteligencia artificial con cálculo de alto rendimiento; la información y el conocimiento se almacenan en una computadora.

En la actualidad los fenómenos de estudio son cada vez más complejos. El volumen y la complejidad de los datos está creciendo exponencialmente de tal manera que ahora se trabaja en **flujos de datos**, es decir, se pasa de conjuntos de datos estáticos a flujos de datos **dinámicos** en constante evolución: los recursos que antes eran centralizados ahora son distribuidos.

De esta manera, se presenta la necesidad de una nueva metodología científica y los principales retos que se tienen que abordar son:

1. Manejo de conjuntos de datos muy grandes y complejos que se tienen que procesar de manera distribuida.
2. Implementación de estrategias de cálculo de alto rendimiento mediante algoritmos, que sean efectivas para el procesamiento de los datos.
3. La extracción del conocimiento científico mediante una exploración efectiva de estos datos.

Para abordar estos retos, es necesaria la aplicación del cálculo de alto rendimiento como una herramienta de investigación y desarrollo en la que es importante tener un entendimiento detallado de la **arquitectura de los procesadores** y de la **programación paralela**.

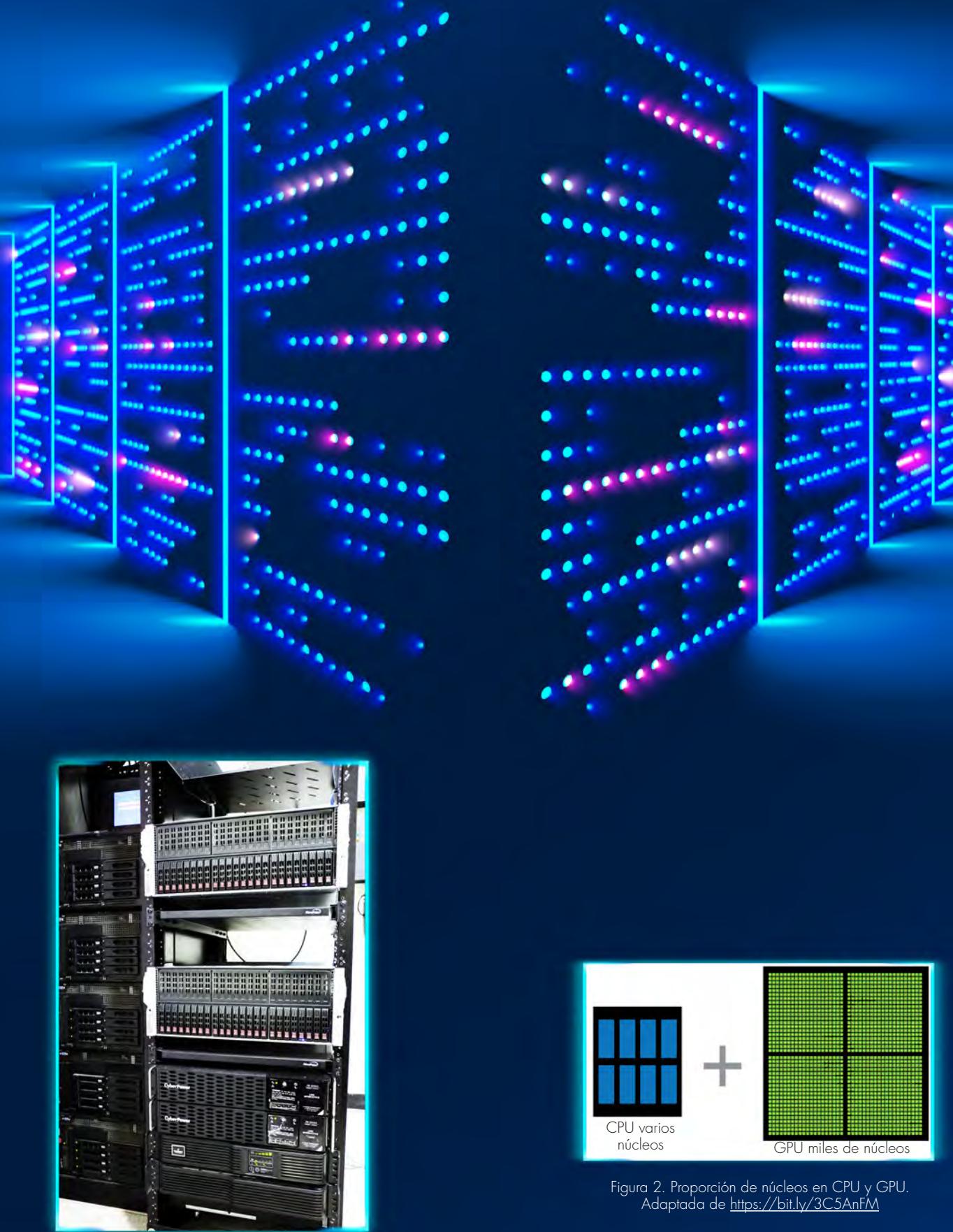


Figura 1. Clúster del Laboratorio de Ciencia de Datos del Citedi

La **programación secuencial** es la manera tradicional de programar algoritmos en una computadora, se realiza en un solo núcleo o flujo de procesamiento de instrucciones; esto era adecuado cuando los procesadores tenían un solo núcleo (flujo de procesamiento de instrucciones). Es la manera en la que se aprende a programar actualmente, aunque prácticamente todos los procesadores actuales son del tipo multi-núcleo, desde dispositivos pequeños como teléfonos celulares, tabletas y procesadores para sistemas distribuidos, hasta los grandes procesadores que se usan en las computadoras más rápidas del mundo (<https://www.top500.org/>). Para programar los **procesadores multinúcleo** es necesario aprender a desarrollar algoritmos paralelos.

Existen dos maneras de diseñar programas paralelos, la primera consiste en **parallelizar algoritmos** en procesadores multi-núcleo de memoria compartida usando múltiples hilos de ejecución [3]. La segunda permite parallelizar algoritmos en un clúster de computadoras con memoria distribuida. Además, como cada nodo del clúster tiene procesadores multi-núcleo se pueden combinar las dos para realizar **programación paralela híbrida** en memoria compartida y en distribuida [4].

Un sistema de cálculo de alto rendimiento en la actualidad es un clúster en el que los nodos tienen **procesadores de propósito general (CPU)** y **procesadores para cálculo intensivo (GPU)**, en el Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital (Citedi) se cuenta con un sistema de este tipo (ver Figura 1). Por lo tanto, en cálculo de alto rendimiento se hace computación híbrida con CPUs y GPUs, es decir, un programa ejecutable contiene código tanto de CPU como de GPU. Los CPUs se encargan de todo lo relacionado con el sistema operativo, como son la entrada de los datos y la salida de los resultados. Por otro lado, los GPUs son los que realizan el cálculo intensivo ya que estos procesadores constan de miles de núcleos y tienen una gran capacidad de procesamiento como se muestra en la Figura 2.

Para aplicar el cálculo de alto rendimiento y abordar los retos mencionados, el **lenguaje de programación** que se ha usado es el lenguaje C/C++ con el apoyo de una gran cantidad de bibliotecas de funciones e interfaces de programación de aplicaciones, que facilitan la programación paralela tanto en memoria compartida como distribuida, Nielsen (2016) presenta una guía para aplicar cálculo de alto rendimiento en la ciencia de datos.

Actualmente, el **lenguaje de programación Python** ha tenido mucho crecimiento y consta de una gran cantidad de bibliotecas de funciones tanto para ciencia de datos como inteligencia artificial, que en combinación con el **lenguaje de programación C/C++** permite aplicar el cálculo de alto rendimiento en la e-Ciencia y en aplicaciones de ingeniería. ▀

Referencias

- [1] Jagdalekar, A. (2013, October 9). Computational chemistry wins 2013 Nobel Prize in Chemistry. *Scientific American*. <https://bit.ly/3tgPQyl>
- [2] Nielsen, F. (2016). *Introduction to HPC with MPI for Data Science*. Springer.
- [3] Barney, B. (2017). *POSIX Threads Programming*. Lawrence Livermore National Laboratory. <https://hpc.llnl.gov/documentation/tutorials>.
- [4] Hey, T., Tansley, S. and Tolle, K. (Eds.) (2009). *The Fourth Paradigm: Data-Intensive Scientific Discovery*. Microsoft Research.



Una de las preguntas más comunes acerca de la inteligencia artificial es: ¿algún día será una amenaza para los seres humanos? Si bien es imposible predecir el futuro, la respuesta corta a esta pregunta es: no... y sí.

Empezando por lo básico, la definición de **inteligencia artificial (IA)** viene directamente al unir el significado de ambas palabras: se refiere a una inteligencia o capacidad de pensamiento que ha sido creada de forma artificial por los seres humanos. La razón por la que buscamos desarrollar una IA es porque en muchas áreas de la vida cotidiana es de gran utilidad. Por ejemplo, en el campo de la salud ha contribuido a que existan sistemas que ayudan a diagnosticar enfermedades, a monitorear pacientes e incluso a apoyar a quienes se dedican a cuidar a otras personas.

Más aún, en algunas tareas la IA puede desempeñarse mejor que los seres humanos, como en aquellas que requieren cálculos repetitivos que las máquinas pueden obtener no solo más rápido sino con menos errores que las personas. Aunque puede sonar extraño que una máquina tenga menos errores que una persona, esto puede suceder si consideramos que a los humanos nos afectan factores que a las máquinas no. Por ejemplo, a nosotros nos da hambre y nos cansamos, entre otras cosas que pueden ocasionar que nos equivoquemos.

Si bien ya existen avances en el área de la IA, todavía nos encontramos en una etapa a la que se le denomina **IA estrecha**, que se refiere a que la IA solo puede resolver tareas específicas predefinidas para las que fue programada y no puede ir más allá, aunque sí puede ser mejor que los humanos en dichas tareas. Un ejemplo son los sistemas que ayudan en el diagnóstico de enfermedades basados en imágenes médicas, como tomografías que indican si la imagen describe o no una enfermedad [1]. Estos sistemas son sensibles al tipo de imágenes recibidas y algunos requieren que estén tomadas de manera similar, o incluso en algunas ocasiones deben provenir de un mismo aparato. Otro ejemplo son los sistemas que identifican los intereses de las personas gracias a los "me gusta" que han dado, a las páginas que visitan y demás

información sobre su comportamiento, con el objetivo de hacerles recomendaciones de compra de productos. Más ejemplos incluyen el uso de la IA en algunos juegos, como en el ajedrez y Go, el reconocimiento de objetos en imágenes, el reconocimiento de palabras en sonidos, entre otros.

Por otro lado, una **IA general** sería aquella en donde las máquinas se equipararán en desempeño intelectual con los seres humanos, es decir, que las máquinas puedan hacer cualquier tarea que haría una persona. Un sistema con IA general tendría la capacidad de conocer el contexto, razonar, planear, aprender y comunicarse. Este tipo de IA aún no existe, aunque hay esfuerzos por científicas y científicos de todo el mundo orientados a conseguirla.

Esto quiere decir que, por lo pronto y por varios años, no hay riesgo de que una máquina sea capaz de conspirar o atacar a seres humanos o conscientemente decida hacernos daño. Sin embargo, esto no nos libra de otros riesgos que están asociados con IA, los cuales, provienen de nosotros mismos y del uso que le damos.

Y, ¿por qué los riesgos provienen de nosotros? Primero que nada, los sistemas basados en IA estrecha se crean a partir de la información que los humanos le proporcionamos, ya sean las experiencias que hemos adquirido, las reglas que hemos definido o los ejemplos que hemos elegido. Siguiendo con el ejemplo del sistema que apoya al diagnóstico, éste aprendió a diferenciar entre imágenes con y sin enfermedad gracias a que le enseñaron una gran cantidad de ambos ejemplos.

Sin embargo, hay varias aplicaciones en las que la información que nosotros los humanos proporcionamos lleva prejuicios o sesgos que las máquinas van a replicar. De esta forma ha habido casos reportados en donde sistemas basados en IA, categorizan erróneamente a personas como criminales, solo por el hecho de que la información que se usó para enseñar a la máquina llevaba sesgos. O sistemas que rechazan otorgar créditos a personas porque la información que se utiliza para perfilar su capacidad de pago lleva prejuicios. Estos son ejemplos en donde las personas pueden, consciente o inconscientemente desarrollar sistemas que emiten juicios que afectan a otras, promoviendo la desigualdad y en algunos casos injusticias [2].

Lo anterior es un ejemplo de amenaza de la IA. Afortunadamente se están tomando acciones en el mundo científico para evitarla. Actualmente hay un auge de incorporar **ética en la IA**, que los equipos de personas que diseñan sistemas de IA sean

¿Es la inteligencia artificial una amenaza. somos los humanos amenaza con la IA?



heterogéneos, que se incorpore diversidad y se eviten implementaciones que afecten a alguna población en particular.

Otro tipo de amenaza se da cuando confiamos demasiado en los resultados que nos brinda la IA. Y no deberíamos hacerlo, ya que hay casos en los que las máquinas también se equivocan. Es probable, por ejemplo, un caso difícil de diagnosticar en donde incluso el sistema se equivoca y dice que una persona no está enferma cuando realmente lo está. Si la persona experta en medicina no es cuidadosa y confía ciegamente en el resultado que arroja el sistema, en vez de usarlo como apoyo, esto puede provocar que un paciente no reciba el tratamiento adecuado.

Otro ejemplo está dado por accidentes automovilísticos que han sufrido personas por confiar demasiado en los **sistemas de coches autónomos**, aunque estos indiquen que las personas deben estar atentas. ¿Más ejemplos de amenazas? Imaginemos que confiamos en la IA para detonar armas nucleares, no es necesario que la máquina quiera hacernos daño, solo que tenga un ligero error, como una mala interpretación del ambiente, para llevarnos a una catástrofe.

Y también están las amenazas a nuestra privacidad y amenazas al ambiente si consideramos la enorme cantidad de energía que se gasta en desarrollar aplicaciones. Por tal motivo, a pesar de que con las limitaciones de la IA actual es posible desarrollar varias aplicaciones, siempre tenemos que preguntarnos si realmente debemos hacerlo. ¿Es conveniente desarrollar un sistema de reconocimiento facial público que atente con la privacidad de las personas? ¿Es conveniente un sistema que prediga la futura eficiencia de un empleado para ver si se le contrata o no?

Retomando la pregunta inicial: ¿será la IA una amenaza?, vemos que en algunos aspectos ya lo es, pero es provocado por cómo la desarrollamos y la utilizamos, por lo que tenemos

que ser responsables como científicas y científicos y como personas que implementan y usan la IA. Por otro lado, ¿será la IA una amenaza por sí misma? Cabe mencionar que hay un nombre para una IA, que todavía no existe ni se avecina cercana, denominado **IA superinteligente**, que describe aquella IA que supera a los seres humanos en las tareas cognitivas.

Mi postura personal ante este tipo de IA es en general escéptica, pero he aprendido a estar abierta a las posibilidades. Además, si este tipo de IA existiera no sabemos si quisiera destruirnos, servirnos o cohabitar. Por ahora, lo importante es aprender a ser mejores personas, para que la IA nos replique así y nos dirijamos hacia un mundo mejor. □

Referencias

- [1] O'Neal, Cathy. (2016). *Weapons of math destruction: How big data increases inequality and threatens democracy*, Crown Publishing Group, New York.
- [2] Topol, Eric. (2019). *Deep Medicine: How artificial intelligence can make healthcare human again*. Basic Books, New York.



#HechoEnElIPN

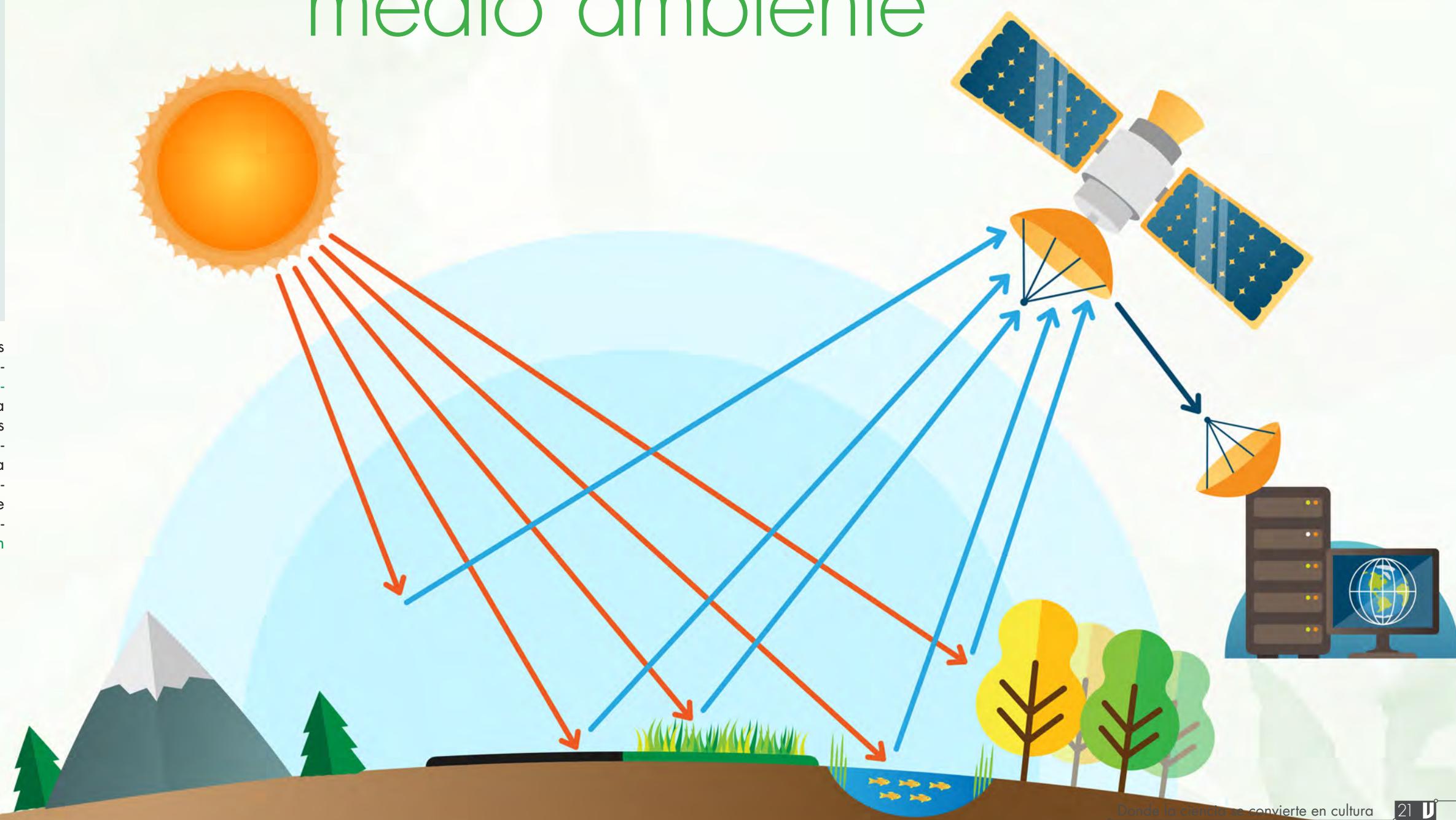
Julio César Rolón Garrido
Director del Centro de Investigación y
Desarrollo de Tecnología Digital (Citedi),
Instituto Politécnico Nacional (IPN).



La percepción remota satelital y su importancia para la preservación del medio ambiente

El **cuidado del medio ambiente** es un asunto que se ubica actualmente en el centro de las discusiones en prácticamente cualquier esfera de la sociedad. Tras los resultados de la **Conferencia sobre el Cambio Climático de la ONU (COP26)** el pasado mes de noviembre de 2021 (ukcop26.org), es evidente que la actividad humana está condicionando en el corto plazo la viabilidad de nuestro planeta. Además, es claro que se extiende alrededor del mundo una conciencia colectiva de la premura y la magnitud de las acciones que deben llevarse a cabo para frenar el impacto adverso de la actividad humana sobre el medio ambiente y que el margen de tiempo para lograrlo es cada vez más estrecho.

a **percepción remota**, entendida como "el conjunto de métodos y tecnologías para el estudio de los fenómenos asociados al territorio, los cuerpos de agua y la atmósfera por medio de sensores que no están en contacto directo con estos"¹, representa una herramienta muy útil para observar los fenómenos naturales y los inducidos por la actividad humana y, con base en esas observaciones, permite la toma de decisiones que tienen impacto tanto en la **gestión del medio ambiente** como en el desarrollo de las sociedades humanas. Es un campo fascinante que facilita la interacción de múltiples disciplinas del conocimiento humano y coadyuva de manera importante en la gestión de los recursos y en la **remediación** de diversos problemas ahí donde se aplica.



¹ Definición propia.

De manera general, un **sistema de percepción remota satelital** (Figura 1) se compone de: uno o varios sensores que integran el instrumento de percepción remota o carga útil del satélite; un satélite que provee lo necesario para el desempeño de las funciones del instrumento en una órbita alrededor de la Tierra; un sistema de telecomunicaciones para transmitir la información sensada; y, un sistema de administración y procesamiento de dicha información que se encuentra en Tierra.

Los **instrumentos de percepción remota** son sistemas complejos que, en esencia, permiten capturar la energía del Sol reflejada por la Tierra hacia el Espacio en momentos específicos y en zonas geográficas concretas; lo hacen "barriendo" el territorio conforme el satélite avanza en su órbita, de la misma manera en la que una escoba puede "barrer" una superficie de un punto A a un punto B. El segmento de "barrido" se convierte en una **imagen satelital** cuando la información capturada en el Espacio es transmitida a Tierra a través de los **sistemas de telecomunicaciones** del satélite. Este complejo proceso nos permite contar con información de grandes zonas de cobertura del planeta y facilita el estudio de amplias áreas de territorio.

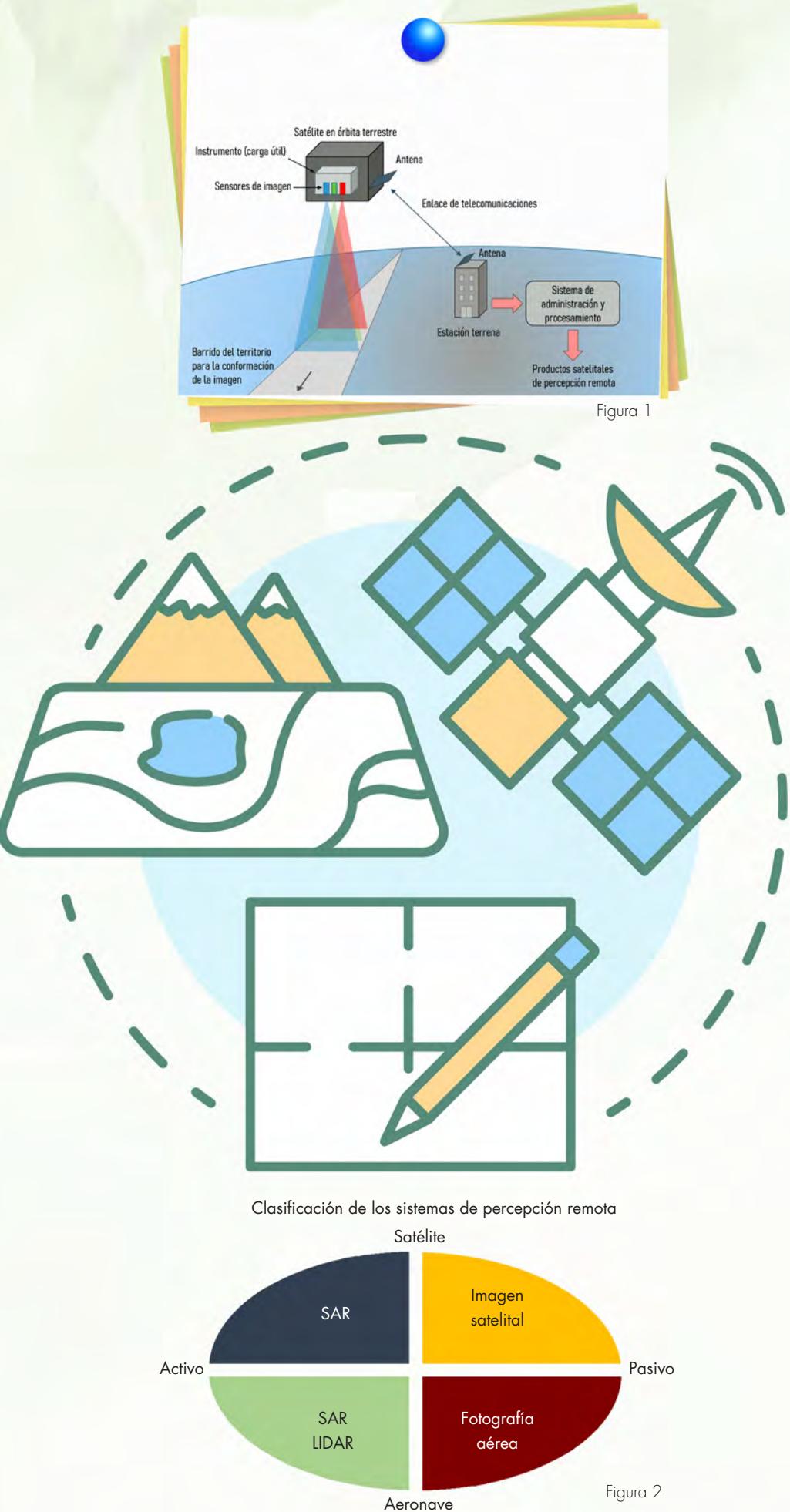
Aunque el enfoque de este artículo está en la percepción remota satelital, es importante tener un panorama amplio del campo a través de los instrumentos que podemos encontrar en diversas aplicaciones que tienen nichos específicos e igualmente útiles para la **preservación del medio ambiente**. La Figura 2, muestra un diagrama de cuatro cuadrantes con una clasificación general de las formas de llevar a cabo el **sensado remoto** de la superficie terrestre. El eje vertical divide la altura: serán instrumentos instalados en aeronaves los que están ubicados en la parte inferior, mientras que en la parte superior serán **instrumentos satelitales**. El eje horizontal divide el tipo de instrumentos: aquellos que utilizan el Sol como fuente de luz son instrumentos pasivos, mientras que aquellos que funcionan de manera activa involucran el uso de una fuente de iluminación diferente al Sol, generalmente una señal de radio o una señal de láser.

Las tecnologías en aeronaves como **LIDAR** (*Light Detection and Ranging*, detección y distancia de luz) [1] o **SAR** (*Synthetic Aperture Radar*, radar de apertura sintética) [2] tienen aplicaciones muy concretas, como el conteo de árboles en el bosque para efectos de preservación de los mismos o detección de zonas inundadas durante tormentas estacionales. Mientras que el uso de cámaras de imagen en aeronaves es más utilizado para **planeación urbana** o para identificación inmediata de afectaciones por **eventos climatológicos adversos** en regiones específicas, como deslaves de terreno, por ejemplo. Por otro lado, las imágenes SAR obtenidas mediante satélite, permiten identificar todo aquello que se oculta bajo capas de nubes, principal limitante de los instrumentos pasivos de imagen satelital.

La ventaja principal de los métodos utilizados mediante aeronaves es la inmediatez con la que es posible conocer los resultados; su principal desventaja es el costo por misión. Por otro lado, la principal ventaja de las imágenes satelitales es el área de cobertura por imagen y su principal desventaja es, por lo general, su inmediatez, ya que está sujeta a las **condiciones orbitales** de paso sobre un territorio de interés.

La importancia de la percepción remota satelital puede quedar más clara si revisamos algunas de sus **aplicaciones cotidianas**. Hay muchas maneras de clasificar las aplicaciones, sin embargo, propongo la siguiente:

- Aplicaciones en las que una sola imagen satelital permite tomar decisiones. En este caso, una única imagen del territorio nos permite identificar rápidamente la presencia o ausencia de un elemento buscado, por ejemplo: la presencia y extensión de la marea roja en la costa, la salud de la vegetación del arbolado urbano; o, la salud vegetal de una zona de manglar en temporada de lluvias. En general, el uso de estas imágenes nos permite la **toma rápida de decisiones**, pero para realizar estudios con mayor profundidad serán necesarias otras aproximaciones.



- Aplicaciones en las que son necesarias series de imágenes satelitales capturadas a lo largo del tiempo. Para resolver problemas más complejos, por lo general es necesario estudiar a lo largo del tiempo un mismo territorio, para ello, se hace uso de **series de tiempo de imágenes satelitales** (estas series se pueden extender décadas en el tiempo o solamente algunos meses). Ejemplos de estas aplicaciones son los estudios de la desertificación o de zonas inundables; estudios de las modificaciones en la masa vegetal y de la línea de costa en las zonas de manglar; estudios de la evolución de la masa forestal y agrícola; estudios de los efectos de los incendios forestales y agrícolas; y, estudios del crecimiento urbano.
- Aplicaciones indirectas de las series de tiempo de imágenes satelitales. En estas aplicaciones la sola utilización de las imágenes no produce un resultado, es necesario complementar la información satelital con la de otras variables medidas directamente en campo, por ejemplo: las mediciones de la afectación del territorio por sismos, deslaves y fenómenos naturales similares; la medición del impacto de la invasión de especies vegetales y algas en vascos lacustres, presas y costas; la medición de las modificaciones de nivel y de calidad del agua de mediano y largo plazo en vascos lacustres, presas y ríos; la medición de las modificaciones de mediano plazo provocadas por el cambio climático en la masa vegetal; la medición de las modificaciones provocadas por la contaminación de suelos y costas por la actividad humana; o, la medición de las modificaciones en la línea de costa. En todos estos ejemplos la medición de otros parámetros es necesaria, sin embargo, la imagen satelital ofrece el panorama general de la situación lo que, entre otros eventos, permite la organización de las **campañas de medición**.
- Por último, existen aplicaciones para las cuales las imágenes satelitales se utilizan como auxiliares, con o sin series de tiempo, como en el caso de la detección de condiciones vegetales que favorecen la aparición y dispersión de plagas o el **análisis de la calidad ambiental**.

Podemos observar que el uso de las imágenes de percepción remota satelital representa muchas ventajas para el estudio de diversos fenómenos que afectan al medio ambiente y, en este punto, quizás cabe preguntarnos: ¿quién son los profesionales que llevan a cabo todo este trabajo de diseño de instrumentos, sistemas de almacenamiento y clasificación y de generación de las herramientas para el estudio de toda esa información? Este es un **campo multidisciplinario** en el que intervienen físicos, científicos de materiales, ingenieros en electrónica y comunicaciones, ingenieros de hardware y software, por mencionar algunas de las especialidades relacionadas con el diseño y la creación de los instrumentos. Mientras que en la explotación de las imágenes satelitales trabajan físicos, matemáticos, científicos de datos, especialistas en inteligencia artificial, biólogos, oceanólogos u oceanógrafos, geógrafos, geólogos, vulcanólogos, ecológicos, ingenieros civiles y, en general, profesionistas especializados en la solución de diversos problemas en los que la percepción remota es utilizada.

La próxima vez que veas una imagen de percepción remota satelital, tendrás frente a ti el resultado de un conjunto enorme de talentos, inteligencias y recursos en beneficio de la solución de problemas que afectan a la sociedad. □

Referencias

- [1] NOAA (2021). What is lidar? National Ocean Service. National Oceanic and Atmospheric Administration. U. S. Department of Commerce. <https://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html>
- [2] Herndon, K., Meyer, F., Flores, A., Cherrington, E. y Kucera, L. (2020). What is Synthetic Aperture Radar? EarthData, Open Access for Open Science. Collaboration with the Earth Science Data Systems. <https://earthdata.nasa.gov/learn/backgrounders/what-is-sar>



#HechoEnElIPN

Profesor-Investigador del Centro de Investigación
y Desarrollo de Tecnología Digital (Citedi),
Instituto Politécnico Nacional (IPN).

Una vez que el ingeniero Carver Mead creyó agotadas sus aportaciones al diseño y fabricación de microchips, dio un giro en su carrera para dedicarse al estudio de los **sistemas biológicos** mediante su recreación en **silicio**. A finales de 1980, los científicos visionarios hablaban cada vez más frecuentemente del término “neuromórfica”, pero fue hasta 1990 que Mead definió el término “ingeniería neuromórfica” también conocido como “cómputo neuromórfico”; esta disciplina no es reciente (tiene más de tres décadas), sin embargo, es poco conocida fuera del ámbito académico y de investigación (Mead, 1990).

La ingeniería neuromórfica, tiene la idea de hacer una réplica del funcionamiento neuronal biológico del sistema nervioso humano con el fin de resolver problemas complejos en tiempo real y con una mayor eficiencia energética.

La idea de Mead comenzó a tomar forma en los laboratorios dos décadas después de aquella primera intuición a finales de los años 80; y, durante el 2020 varios grupos de investigación y empresas han puesto en marcha proyectos que han enaltecido la ingeniería neuromórfica como una disciplina con un potencial abrumador, quizás con un futuro prometedor e incluso revolucionario.

Para llevar a cabo la **réplica del sistema nervioso humano** (sistema nervioso central) existe coincidencia en que es necesaria la participación de varias disciplinas científicas: la **neurotecnología** y la **neurociencia** son disciplinas que anhelan replicar el funcionamiento del cerebro humano. Además, con la integración de estas disciplinas, se plantea desarrollar tecnología que sea capaz de proponer un sistema nervioso (cerebro) artificial.

El cerebro, que sin duda es el órgano más complejo del cuerpo, procesa la información de una manera extraordinariamente eficiente. Mead tuvo la habilidad de intuir, hace más de medio siglo, que algún día los procesadores podrían inspirarse en él para desarrollar capacidades que los algoritmos utilizados en la informática clásica difícilmente podrían igualar.

La nueva **arquitectura del procesador neuromórfico** con su complejidad y los requisitos que plantea a nivel de hardware

no se quedan atrás: la propuesta de su revolucionario diseño trabaja procesando datos de manera analógica. Esto significa que no se limitan a transmitir la información mediante una serie de ráfagas eléctricas en formato de encendido y apagado, sino que pueden variar la intensidad de esas señales como hace el cerebro humano.

El principal problema es tener control de la intensidad con la que se producen esas señales en estos sistemas, el cual sigue pendiente entre las incógnitas que los expertos siguen intentando resolver para avanzar en el desarrollo del procesador neuromórfico. La **ingeniería neuromórfica** es una de las disciplinas más complicadas, convirtiéndose además en los últimos años en un **área interdisciplinaria** que combina:

- Física
- Microelectrónica: 5G, 6G y FPGA'S
- Biología
- Matemáticas: *machine learning*, *deep learning* y algoritmo neuromórfico
- Informática: lenguajes de programación Python, Go, C++
- Ciencia de datos
- Neurotecnología
- Neurociencia
- Biomimética

Entre los avances tecnológicos de diferentes disciplinas, es necesario ver las similitudes entre el comportamiento de los transistores y la forma en la que las neuronas se comunican entre sí mediante impulsos eléctricos; de aquí surgió la idea de diseñar un tipo de **arquitectura híbrida** que combina componentes digi-

tales y analógicos, es decir, se planteó la forma de construir un **cerebro electrónico artificial** que pudiese procesar información de forma similar a la forma en la que lo hace un cerebro orgánico.

El **procesador neuromórfico** es más eficiente en la forma en que utiliza las “neuronas”, de manera muy similar al cerebro humano. Esto se conoce como una **Red Neuronal de Spike** (*Spike Neural Network*, *SNN* por sus siglas en inglés) (Wolfgang, 1996). Primero, se requiere un porcentaje menor de “neuronas” para transportar la información, si se compara con una **arquitectura tradicional Von Neumann** (Von Neumann, 1945).

Por otra parte, los procesadores actuales requieren **propagación inversa** porque las neuronas solo se activan cuando ocurre un evento. Esto significa que los resultados no se retroalimentan en el sistema para un ajuste fino, ya que el aprendizaje del cerebro suele ser un proceso de retroalimentación y, por lo tanto, es más eficiente en este contexto.

Al reducir el poder de una red neuronal en un solo **chip semiconductor**, los procesos de aprendizaje y reconocimiento de patrones pueden integrarse en diferentes plataformas en los sistemas, desde robots hasta tabletas y, en el futuro, teléfonos inteligentes. Esto conducirá a nuevas aplicaciones que no necesitarán alimentación de red o una conexión de red para cumplir con las capacidades computacionales.

Los fabricantes del procesador neuromórfico podrían integrarse al mercado de **teléfonos inteligentes** antes del 2025, esto

Persistencia hacia el procesador neuromórfico

impulsaría el crecimiento del **Internet de las cosas** (*Internet of things*, *IoT* por sus siglas en inglés) (Ashton, 1999) y del **Internet de las Cosas Robóticas** (*Internet of Robotic Things*, *IoRT* por sus siglas en inglés) (Test de velocidad, 2019). Así los dispositivos podrán percibir el entorno a su alrededor para deducir decisiones con esta nueva tecnología en la próxima década.

En el área de **transporte y sistemas de comunicación**, los **vehículos autónomos** han enfrentado problemas en su avance durante muchos años, parte de este retraso se debe a su incapacidad de sensores del medio ambiente. El procesador neuromórfico probablemente podrá resolver las problemáticas y llevar esto al siguiente nivel que comienza a impulsar la comercialización de la tecnología.

Los **celulares** van a poder monitorizar continuamente lo que hace el usuario (si la seguridad de los datos lo permite) e incluso ayudarle potencialmente en función de lo que ha percibido antes de preguntar. Su celular podría comenzar a comprender sus intenciones de la misma manera que lo hace su cerebro.

La **robótica** crecerá a gran velocidad a medida que los robots puedan responder mejor a los comandos en función de su entorno. Si un robot puede navegar de forma independiente y pensar por sí mismo, sin consumir grandes cantidades de energía, el mundo comenzará a cambiar rápidamente.

En la actualidad, los avances apuntan hacia la creación de un **sistema neuromórfico** que se asemeje al cerebro

humano y todavía hay muchas preguntas qué contestar: ¿será el procesador neuromórfico la arquitectura del futuro?, ¿qué es más factible: adaptar la arquitectura neuromórfica al problema o adaptar el problema a la arquitectura neuromórfica?, ¿habrá que enfocar los esfuerzos en hacer ingeniería inversa como lo menciona Hapgood?, ¿qué futuro tendrá la ingeniería neuromórfica?, ¿qué compañía será líder en la industria del nuevo procesador neuromórfico? y ¿qué seguridad tendrá el funcionamiento del procesador neuromórfico?

Lectores que gustan de los avances tecnológicos, hay muchas preguntas qué contestar todavía. ▶

Referencias

- Ashton, Kevin (1999). “That ‘Internet of Things’ Thing”. *RFID Journal*. Disponible en: <https://www.rfidjournal.com/that-internet-of-things-thing>
- Maass, Wolfgang (1997). “Networks of spiking neurons: The third generation of neural network models”. *Neural Networks*. 10(9): 1659-1671. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0893608097000117?via%3Dihub>
- Mead, Carver A. (1990). “Neuromorphic Electronic Systems”. *Proceedings of the IEEE*. Disponible en: <https://authors.library.caltech.edu/53090/1/00058356.pdf>
- Test de velocidad (2019). “Internet de las Cosas Robóticas (IoRT): qué es y cómo afecta a los usuarios”. Disponible en: <https://www.testdevelocidad.es/2019/08/07/internet-cosas-roboticas-funcion/>
- Von Neumann, John (1945). “First Draft of a Report on the EDVAC”. Disponible en: <https://web.mit.edu/STS.035/www/PDFs/edvac.pdf>, archivado desde el original el 14 de marzo de 2013, consultado el 24 de agosto de 2011.



#HechoEnElIPN

Roger Miranda Colorado

Investigador del programa Cátedras Conacyt*

Jesús Abraham Rodríguez Arellano

Estudiante de la Maestría en Ciencias en Sistemas Digitales*

Víctor Daniel Cruz Lares

Estudiante de la Maestría en Ciencias en Sistemas Digitales*

*Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital (Citedi),

Instituto Politécnico Nacional (IPN).



Importancia del Sistema Operativo Robótico (ROS) para el control de sistemas mecatrónicos

En la actualidad, la combinación de diversas disciplinas como la electrónica, informática, ingeniería eléctrica, teoría de control, entre otras, ha dado origen a lo que se conoce como [mecatrónica](#). De esta manera, los sistemas que involucran la interdependencia de las áreas anteriores se conocen como sistemas mechatrónicos y un ejemplo muy importante que los representa es la [robótica](#).

La robótica es un área de interés que ha tenido grandes desarrollos e innovaciones tecnológicas. Sin embargo, esto no siempre fue así, ya que no todos conocemos el proceso que debemos seguir para desarrollar y controlar nuevos robots. Si comenzamos desde cero en cada caso, sería como un "reinventar la rueda" puesto que, conforme avanzamos en el tiempo, contamos con información previa para desarrollar nuestros robots como, por ejemplo, modelos matemáticos, interfaces de programación, software y hardware. Hacer esto cada vez sería muy costoso en tiempo y dinero.

Anteriormente se tenía que realizar un arduo trabajo para crear controladores e interfaces para sistemas robóticos cuyo desarrollo consumía una gran cantidad de tiempo y esfuerzo. Lo anterior limitaba el tiempo dedicado a la innovación y desarrollo de nuevas aplicaciones con robots nuevos. Estos inconvenientes generaron la necesidad de contar con un sistema que brindara una solución y reducir el tiempo requerido para desarrollar y experimentar con robots nuevos o ya existentes. El nombre de dicho sistema es [Sistema Operativo Robótico](#) o ROS (*Robotic Operating System*, por sus siglas en inglés) (Fig. 01).

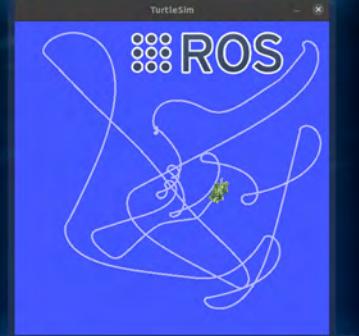


Fig. 01



ROS es un programa de uso libre creado inicialmente como parte de un proyecto en la Universidad de Standford en 2006 que, al cabo de los años, evolucionó hasta la liberación de su primera versión en 2008 y formó parte de Willow Garage. Actualmente pertenece a Personal Robotics, empresa que ha continuado con el desarrollo de las distintas versiones de ROS y lo ha mantenido con licencia de uso libre.

¿Qué podemos hacer con ROS?

Una de las ventajas de utilizar ROS es que se puede utilizar en todas las ramas de la robótica, desde enfoques complicados y con un nivel de complejidad alta como pueden ser brazos robóticos, bases móviles, drones, vehículos autónomos, hasta proyectos sencillos como es el control de un simple carro con control a distancia o mover un motor a una cierta velocidad o posición, como se indica en la Fig. 02.

ROS también tiene la capacidad de unir diferentes áreas tales como la [inteligencia artificial](#) y la [visión por computadora](#). Esto es posible gracias a que ROS cuenta con repositorios de soporte con acceso libre para cualquier usuario. En el caso de visión por computadora o aprendizaje de máquinas, podemos acceder a programas previamente desarrollados que nos sirven como punto de partida para crear nuestras propias aplicaciones o desarrollar investigación novedosa sin tener que partir desde cero.

Aunado a lo anterior, también dispone de librerías con acceso libre que permiten integrar a nuestro sistema robótico distintos tipos de [sensores](#) (por ejemplo, codificadores ópticos para medir posición angular en motores) y [actuadores](#) (por ejemplo, motores de corriente directa) de un modo simple. Es evidente la facilidad con la que podemos hacer la integración de un sistema robótico para comenzar a experimentar y diseñar nuestras propias aplicaciones. Por ejemplo, es relativamente sencillo llevar a cabo experimentos con motores para controlar su posición, determinar su ubicación con una cámara, entre otros.

También es importante notar que hay aplicaciones que permiten programar utilizando ROS por medio de simulaciones. Ejemplos de esto son las [plataformas visuales Gazebo](#) y [Rviz](#). Gazebo nos permite generar una simulación en tercera dimensión y observar el comportamiento de un robot. Además, también es capaz de generar un ambiente de simulación en el cual opere nuestro robot. Por ejemplo, en el caso de un vehículo autónomo, puede desarrollarse un ambiente de simulación correspondiente a un circuito con obstáculos, para poder desarrollar los algoritmos de operación del vehículo. Algunas muestras del uso de estas herramientas se presentan en las figuras 3 y 4.

Como ya se mencionó, nuestros proyectos en ROS no tienen que comenzar desde cero, ya que ROS cuenta con una gran comunidad que ha desarrollado librerías y repositorios para poder utilizarlos como base en nuestros trabajos, lo cual puede facilitarnos tanto la experimentación como la obtención de nuevos resultados.

De igual manera, es importante tener en cuenta que el paradigma de operación en ROS es [multiplataforma](#). De este modo, es posible tener un sistema funcionando con diversos equipos a la vez, los cuales no tienen la limitante de poseer un mismo sistema operativo. Además, muchos programas de desarrollo avanzados como [Matlab](#) o [plataformas como Arduino](#), cuentan con librerías que permiten su [interconexión](#) con un sistema basado en ROS. Por ejemplo, Matlab y su herramienta [Simulink](#) son ampliamente empleadas para el desarrollo de sistemas de control y existen librerías que permiten a un equipo con Matlab-Simulink conectarse con un simple comando a una red que utiliza ROS, permitiendo intercambiar datos para monitoreo y control. Por su parte, Arduino también



Fig. 02

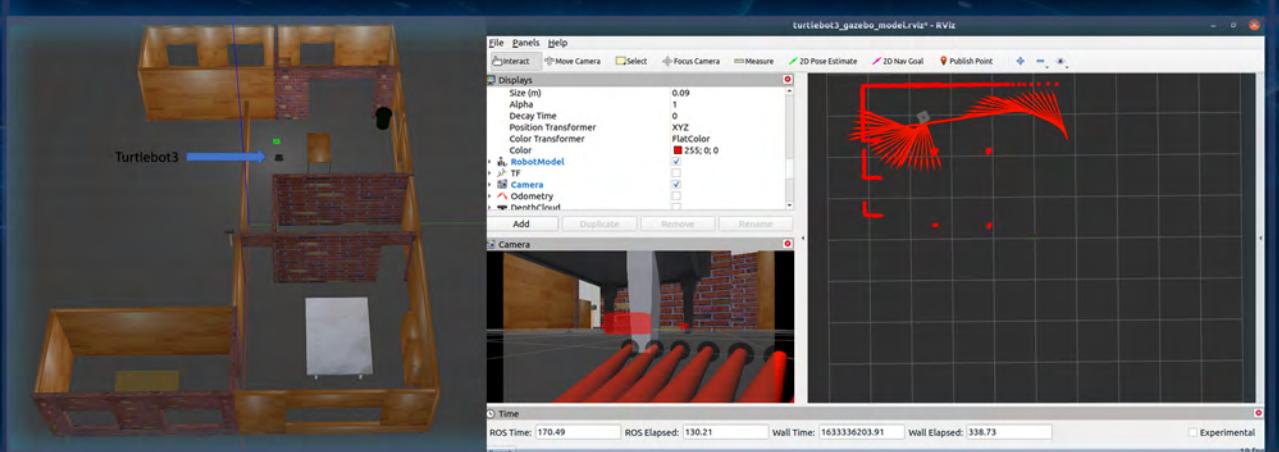


Fig. 03

Fig. 04

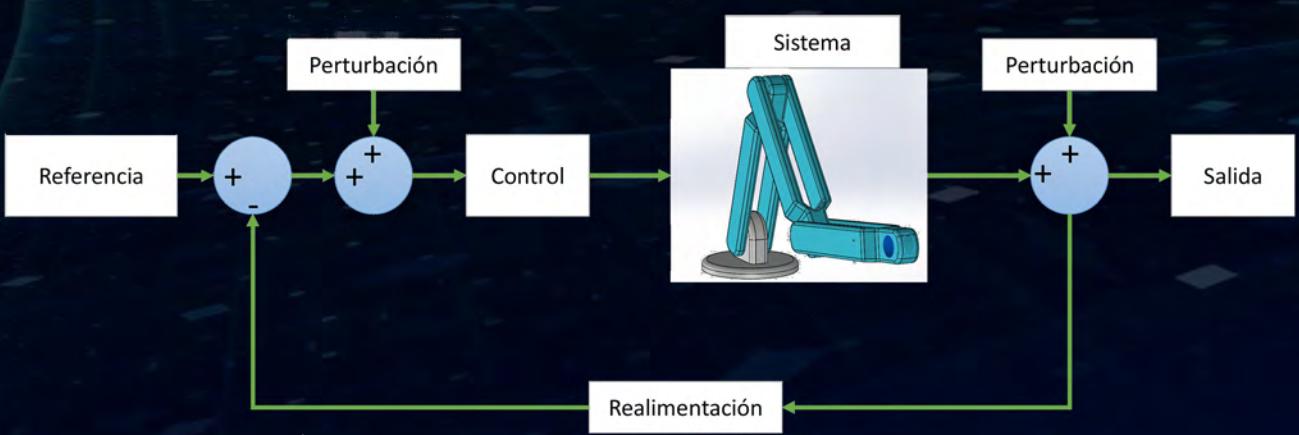


Fig. 05



QR 1



QR 2



QR 3



QR 4

cuenta con librerías que permiten integrar sus plataformas fácilmente por puertos seriales (como [Arduino Nano](#) o [Arduino Mega](#)), con lo cual podemos llevar a cabo [integración de sensores y actuadores](#) en nuestro [ecosistema de ROS](#) sin mayor complicación.

Existen, por supuesto, muchos otros dispositivos con soporte para su integración en un ecosistema basado en ROS. Ejemplos de ello son [cámaras web](#), [sensores de profundidad \(LIDAR\)](#), [cámaras Kinect](#), entre muchos otros.

Desarrollo de controles automáticos

Hoy en día la capacidad de cómputo de los ordenadores se ha incrementado enormemente. Gracias a ello se han podido desarrollar programas de simulación complejos que requieren un potencial de cómputo elevado. Estos simuladores cada vez son capaces de incluir una mayor cantidad de parámetros que asemejan el comportamiento que nuestro sistema tendría en un experimento. Por lo tanto, las capacidades de desarrollo que adquirimos con ellos es muy valiosa. En otras palabras, podemos esperar que una simulación nos permita obtener resultados que sean muy similares a los que obtendríamos en una plataforma real. Con ROS podemos realizar simulaciones de alto nivel de complejidad como las mencionadas anteriormente y esto facilita la implementación de algoritmos en un sistema real, en especial, [algoritmos de control automático](#).

Para lograr que nuestro robot opere conforme a una tarea deseada, es necesario implementar un algoritmo de control. Estos algoritmos pueden ser en lazo abierto o lazo cerrado, aunque en general se usa un enfoque en lazo cerrado por la necesidad de medir las variables de salida para realimentarlas y obtener señales de error que nos permitan obtener un desempeño deseado, como se indica en la Fig. 05. Con nuestro control en lazo cerrado podemos llevar a cabo tareas de regulación de posición o seguimiento de trayectorias sin la necesidad de interacción humana.

Algunos ejemplos de control de robots empleando ROS se muestran en el QR-1, donde se controla el movimiento de un brazo manipulador mediante el teclado modificando la posición y la orientación de cada articulación, con el fin de llegar a un punto en el espacio con [efector final](#) (parte extrema) del [robot Pilz](#). En el QR-2 se muestra otro ejemplo, en donde se implementa ROS en un robot móvil equipado con una gran cantidad de sensores que nos permiten conocer información del medio, como la distancia con ciertos objetos, la localización del robot y adquisición de imágenes.

Aunado a la parte de control, es importante notar que los sensores brindan la posibilidad de desarrollar algoritmos tales como construcción de mapas de navegación, reconocimiento de objetos, localización espacial, entre otros. Lo anterior también puede llevarse a cabo tanto en simulaciones numéricas como en experimentos.

Como se muestra en el QR-3, podemos llevar a cabo tareas con ROS en un nivel de complejidad básico, como lo es una tortuga que se mueve en una ventana con un controlador en lazo cerrado, hasta sistemas complejos como el mostrado en el QR-4, donde se presenta un robot en tres dimensiones interactuando con el medio que le rodea, que puede ser el caso de otros sistemas reales tales como [drones](#), [rovers acuáticos](#), entre otros.

Lo anterior es una muestra de las muchas posibilidades que tenemos cuando empleamos ROS en sistemas mecatrónicos. Por lo tanto, podemos inferir que, gracias a la gran cantidad de herramientas y repositorios con los que se cuenta en una plataforma con ROS, la única limitante para nuestros desarrollos será nuestra imaginación.



#HechoEnElIPN

Rigoberto Juárez Salazar
Investigador del programa Cátedras
CONACYT adscrito al Centro de Investigación
y Desarrollo de Tecnología Digital (Citedi),
Instituto Politécnico Nacional (IPN).



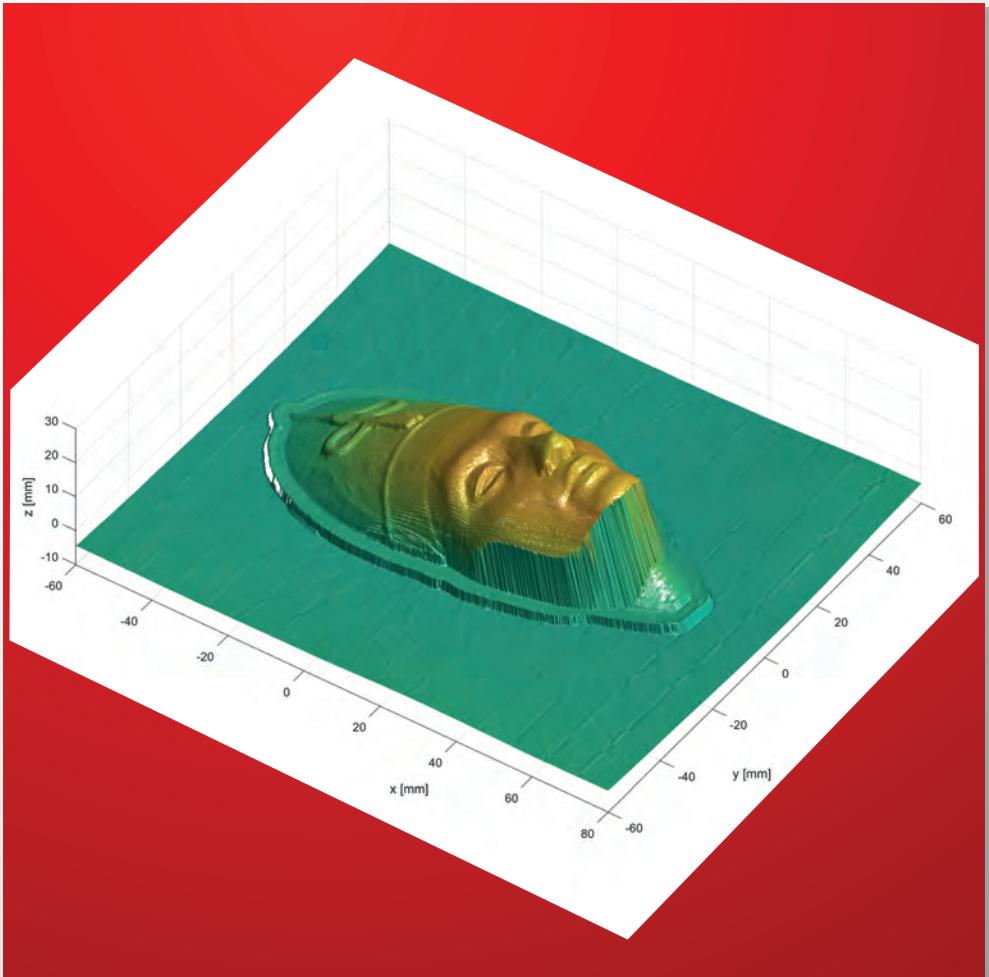
Sistemas avanzados de visión digital 3D

Nuestra habilidad para realizar prácticamente todas nuestras actividades cotidianas es posible gracias a nuestro **sentido de la vista**. Necesitamos la vista en acciones simples como caminar por una banqueta y cruzar la calle de forma segura. Más aún, nuestra vista es indispensable para actividades más complejas como conducir un automóvil. Pero hasta las actividades más ordinarias, como usar un teléfono inteligente para interactuar en las redes sociales, requiere de nuestro sentido de la vista.

Nuestro sistema visual ha evolucionado hasta convertirse en nuestro sentido más versátil y eficiente. La vista nos permite extraer una gran cantidad de información del mundo que nos rodea de forma casi instantánea e inconsciente. Por ejemplo, la vista nos permite detectar distancias, velocidades, tamaños, formas, y colores; y, en un nivel aún más abstracto, la vista nos permite percibir emociones de las personas que nos rodean con tan solo ver la expresión de sus rostros.

La invención de dispositivos para incrementar nuestra capacidad visual impulsó notablemente el desarrollo de la humanidad. Por ejemplo, la medicina moderna surgió gracias a la invención del microscopio que nos permitió observar la existencia de seres diminutos que provocan enfermedades. Asimismo, el telescopio estimuló impresionantes avances tecnológicos para la exploración espacial después de permitirnos contemplar otros mundos en la inmensidad del espacio.

En la actualidad, la comunidad científica en todo el mundo busca incansablemente construir sistemas de visión artificial más versátiles y potentes. La naturaleza 3D del espacio en el que vivimos es una característica esencial que los sistemas modernos de visión deben considerar. En el Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital (Citedi) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) se



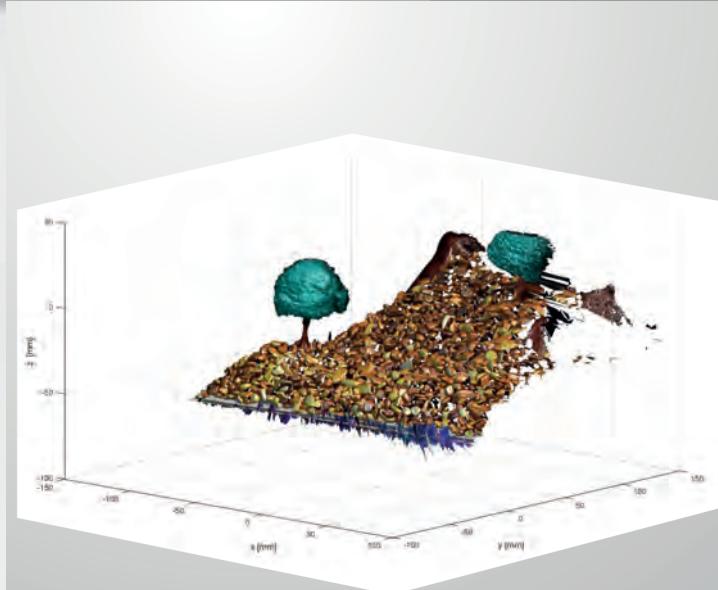
Los sistemas de visión 3D han incrementado la capacidad tecnológica especializada en la preservación y difusión de piezas arqueológicas. Asimismo, la precisión y fidelidad de las digitalizaciones 3D permite a científicos de todo el mundo estudiar piezas arqueológicas sin los altos costos que implica analizar la pieza física directamente.

desarrollan proyectos especializados en sistemas avanzados de visión digital 3D. Los avances de estas investigaciones abarcan aplicaciones que van desde el monitoreo ambiental y navegación de vehículos, hasta la evaluación de espejos de telescopio y diagnóstico médico, como se describe a continuación.

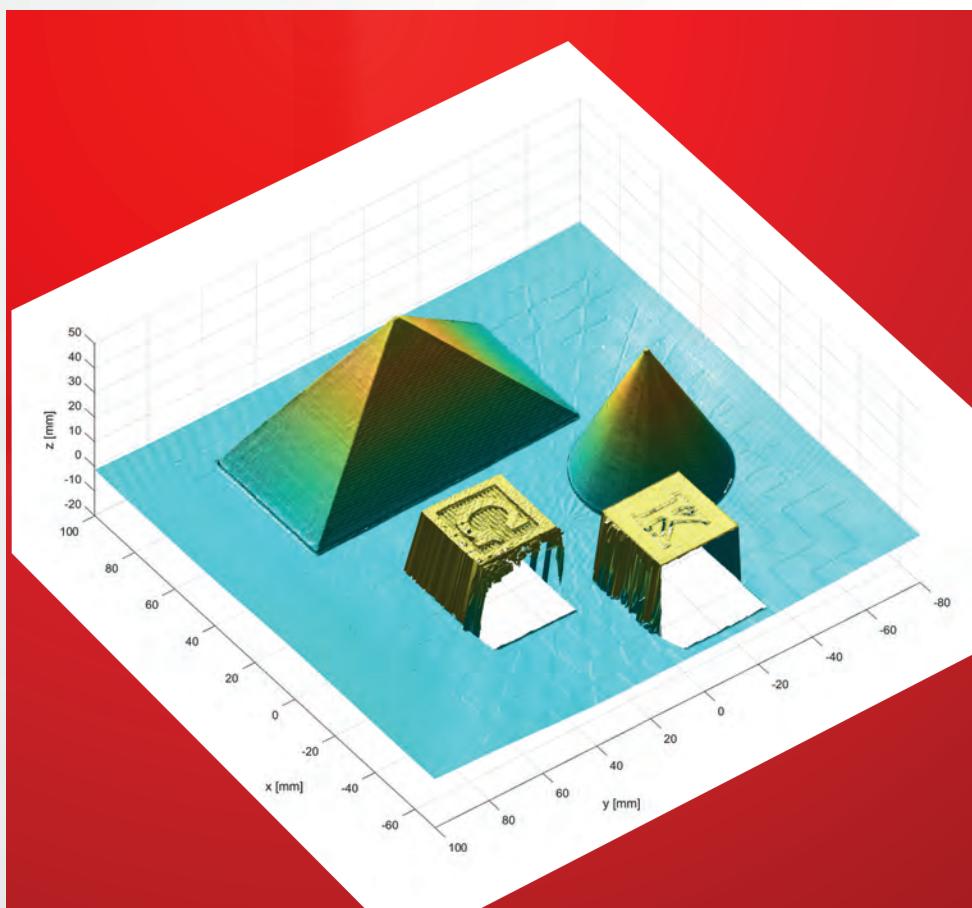
Monitoreo ambiental. En las últimas décadas se han identificado cambios en los patrones de comportamiento de especies ante el cambio climático. En México, la migración de la mariposa monarca es un ejemplo claro de este fenómeno. Otras especies, como los escarabajos, experimentan cambios notables en su estructura biológica en respuesta al cambio climático y la contaminación. En este caso, los investigadores deben estudiar, entre otras cosas, el cambio de tamaño y color de los escarabajos con altos niveles de exactitud. Como contribución a las herramientas tecnológicas para el monitoreo ambiental, en 2019 construimos un sistema de proyección de luz estructurada para reconstrucción digital 3D a color de escarabajos, durante una estancia de investigación en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Riesgos en asentamientos urbanos. En el mundo, el aumento de población ha provocado asentamientos urbanos en suelos con desnivel. Para la evaluación de riesgo, además de considerar el tipo de suelo, el clima y la actividad sísmica, se debe medir con precisión el desplazamiento de puntos específicos de la zona. Para este problema, Emiliano Ruiz G. y Daniel A. Torres R. aplicaron los conocimientos adquiridos durante el verano científico del Programa Delfín 2021 en el Citedi IPN y propusieron una metodología de monitoreo de zonas con desnivel basado en visión 3D. Además, construyeron un

En la industria manufacturera, la inspección de calidad es una tarea monótona y costosa realizada típicamente al final de la producción empleando mediciones manuales de algunas muestras aleatorias. Los sistemas de visión 3D han incrementado la calidad del producto terminado al permitir la inspección de todos los productos elaborados empleando mediciones automáticas de forma y color a gran velocidad y bajo costo en distintos puntos de la línea de producción.



La precisión y facilidad de uso de los sistemas de visión permite realizar mediciones de campo en 3D para evaluar condiciones de suelo tales como asentamientos y erosión. Asimismo, los sistemas de digitalización 3D permiten monitorear la dinámica de los suelos para evaluar el impacto de la actividad humana tal como la construcción de autopistas, puentes, túneles y edificios.

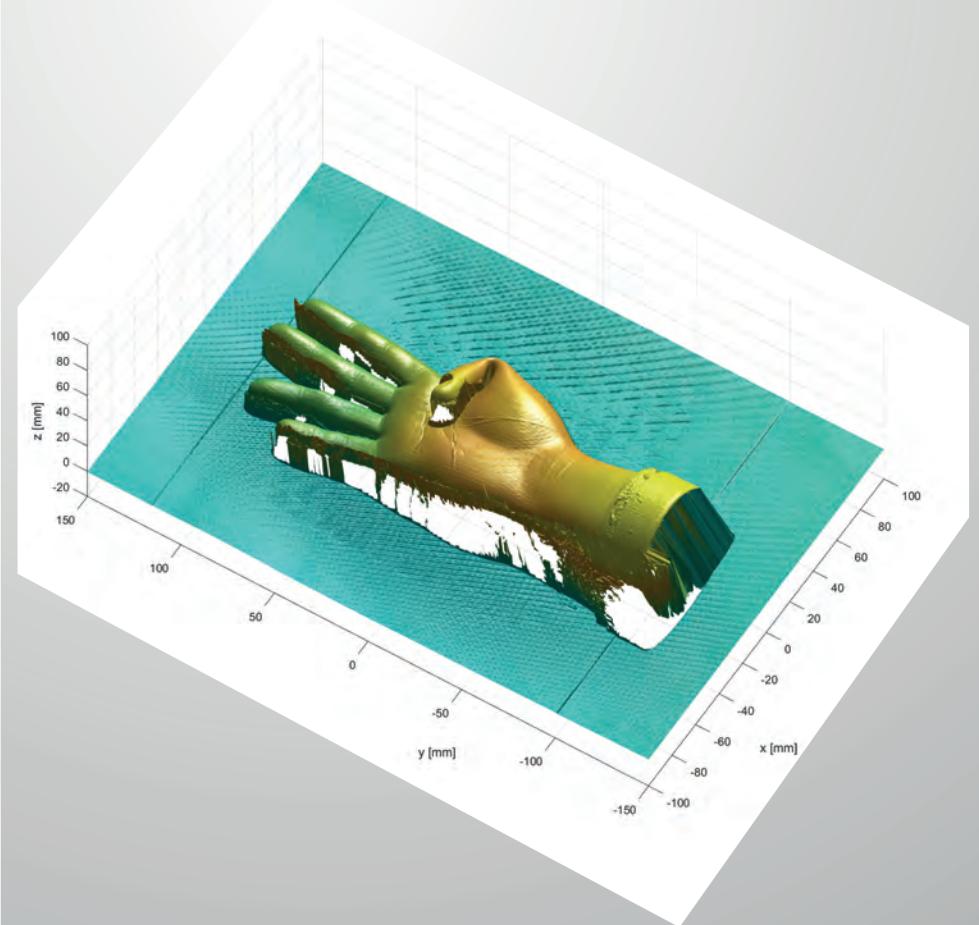


Seguridad. Hasta hace poco, la seguridad era un tema casi exclusivo de empresas y organizaciones. Sin embargo, en la actualidad nuestras compras y pagos en internet, correos electrónicos y acumulación de información sensible en dispositivos inteligentes hacen de la seguridad un tema de interés generalizado. En el verano científico del Programa Delfín 2021, José M. Soler G. y Luis F. Sánchez G. construyeron un sistema de visión 3D para digitalización facial y extracción de datos biométricos. Además, en el contexto de las condiciones sanitarias actuales, este sistema en particular ofrece una alternativa segura de control de acceso debido a que la captura óptica de datos evita la exposición del usuario al contacto de superficies en los puntos de control de acceso.

Preservación y difusión cultural. En México, existen instituciones dedicadas al estudio, conservación y difusión del patrimonio cultural nacional. Sin embargo, las exposiciones se ven limitadas debido a la fragilidad de las piezas, los altos costos de reparación y la alta especialización requerida del personal a cargo. Ante esta problemática, José L. Quiñonez B., durante su estancia de verano científico del Programa Delfín 2021 en el Citedi IPN, construyó un sistema de proyección de franjas para digitalización 3D de piezas arqueológicas. El trabajo desarrollado además presenta la posibilidad de impulsar la difusión cultural empleando aplicaciones de realidad virtual y realidad aumentada.

Navegación de vehículos. Las redes de transporte actuales están evolucionando hacia el uso de vehículos autónomos. Para estos vehículos, es indispensable el desarrollo de sistemas de visión avanzados para navegación autónoma. Actualmente, S. Sofía Esquivel H., Cesar I. González M., y Oscar E. García V., estudiantes de ingeniería mecatrónica en la Universidad de Colima, desarrollan su tesis de licenciatura bajo nuestra co-asesoría; trabajan en la construcción de un sistema de visión estacionario de tres cámaras para detectar la posición de un robot móvil sobre una pista y así realizar la retroalimentación del controlador de movimiento. Asimismo, Juan Zheng Wu, estudiante de doctorado en el Citedi IPN, desarrolla un sistema a bordo de visión multidimensional para retroalimentación del control de movimiento de vehículos móviles. Los fundamentos teóricos de estos temas de investigación fueron estudiados por Saúl A. Flores R. durante el verano científico del Programa Delfín 2021 en el Citedi IPN, quien propuso un sistema de visión estacionario para el seguimiento de trayectoria de vuelo de cohetes experimentales.

Evaluación de espejos de telescopio. La utilidad de cualquier sistema de medición depende de la sensibilidad y precisión que se puede alcanzar. Existen aplicaciones que demandan altos niveles de sensibilidad. Por ejemplo, para capturar imágenes de alta calidad, los elementos ópticos del sistema tales como lentes, prismas y espejos se deben fabricar con exactitudes del orden de nanómetros (un nanómetro equivale a un milímetro dividido por un millón). En el Citedi IPN, hemos desarrollado modelos matemáticos y algoritmos de procesamiento de imágenes que permiten diseñar técnicas especiales de evaluación de espejos de telescopios. Además del impacto directo en el desarrollo tecnológico de instrumentación óptica para astronomía, el resultado de esta investigación ofrece la



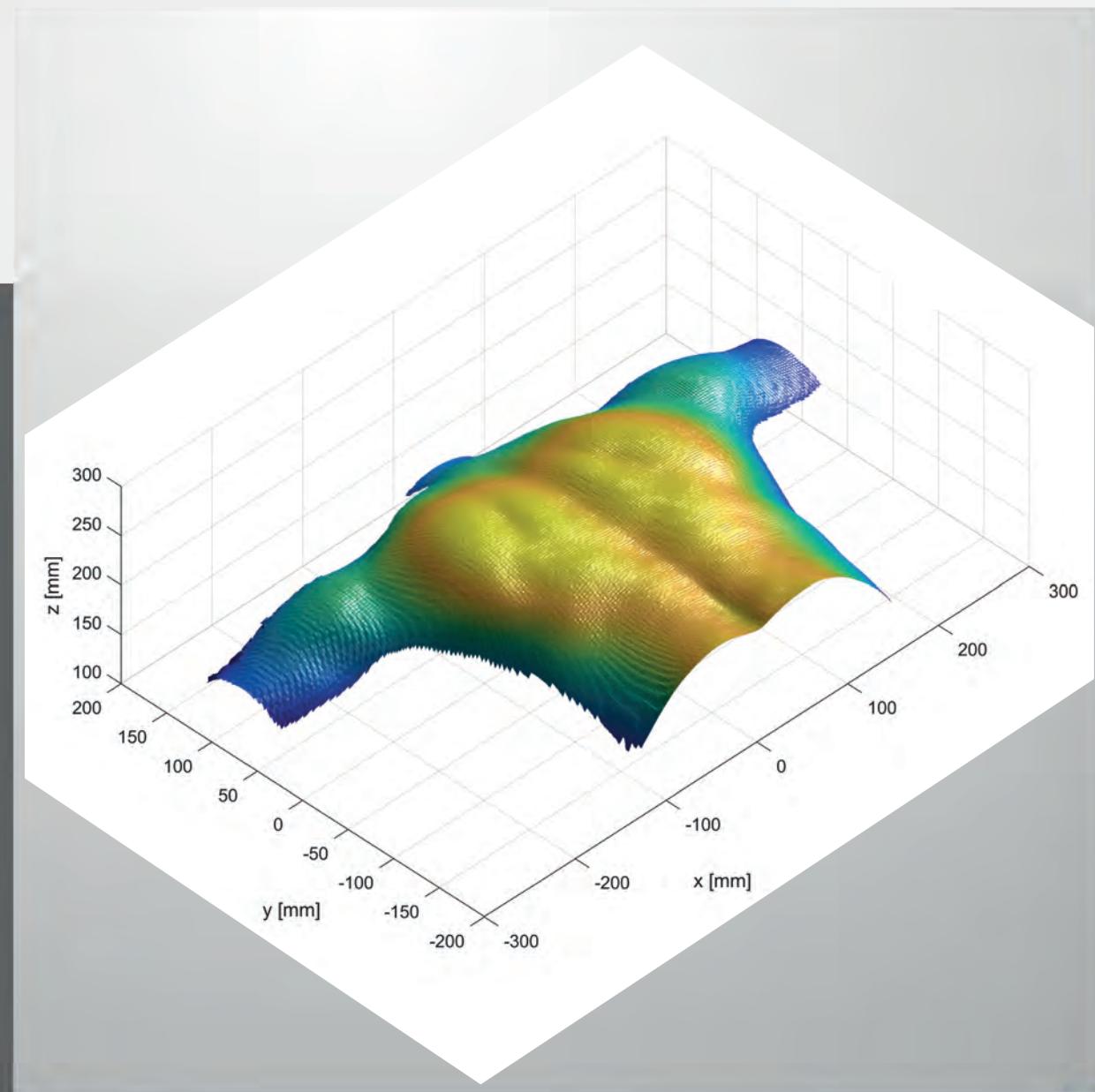
Uno de los métodos más comunes de control de acceso requiere capturar las huellas dactilares del usuario. El nivel de seguridad de estos sistemas se ha incrementado sustancialmente con el uso de sistemas de visión 3D para registrar información adicional tal como las características antropométricas de la palma del usuario.

posibilidad de desarrollo de **metroología óptica** útil en la industria automotriz, por ejemplo, en la inspección del acabado y pintura de automóviles.

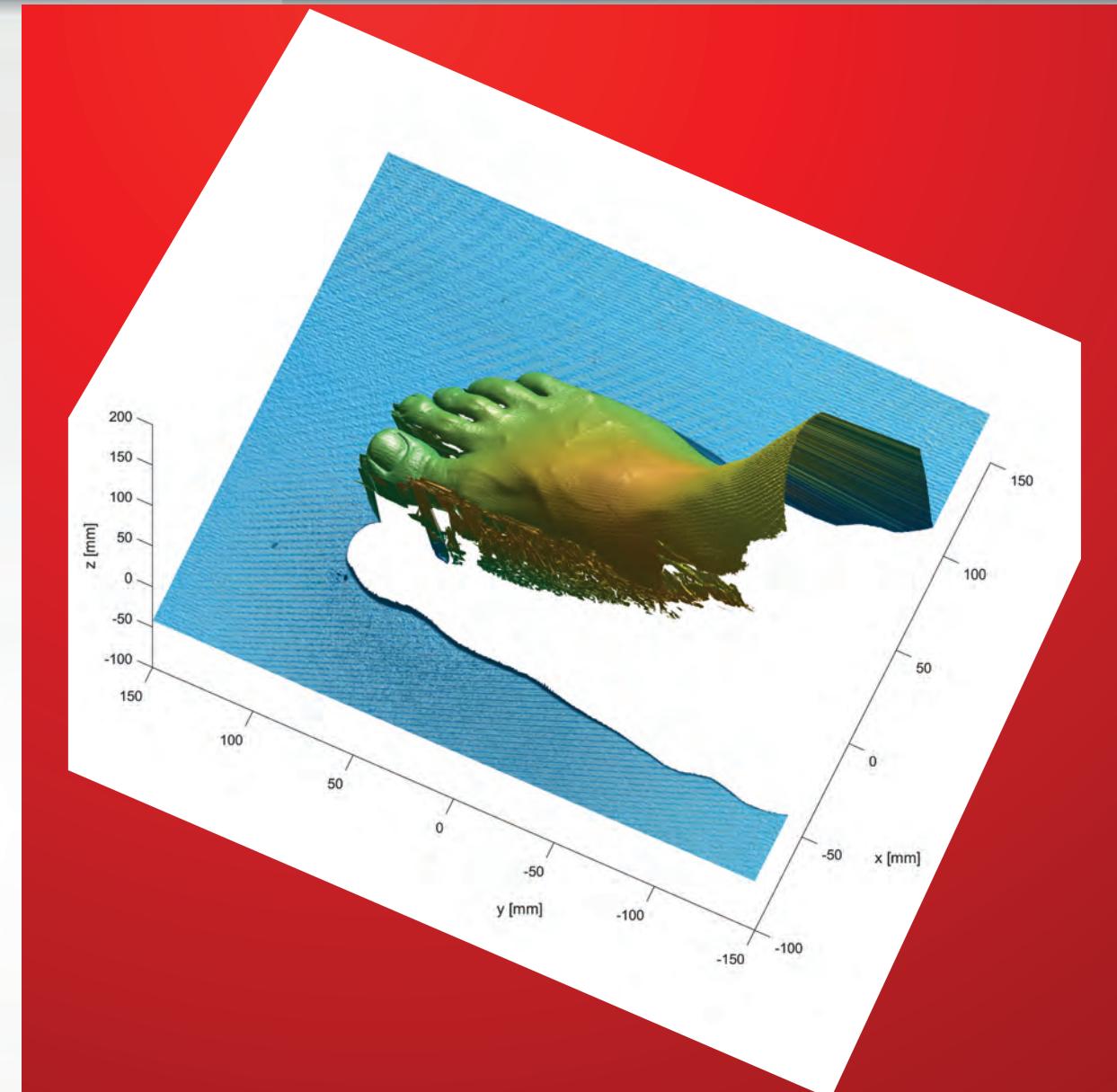
Diagnóstico médico. El padecimiento de deformación craneal en bebés es una alteración que puede avanzar a etapas críticas cuando no se detecta a tiempo. Los métodos de diagnóstico convencionales

requieren estudios costosos debido al uso de equipos especiales. Durante la estancia de verano del Programa Delfín 2021 en el Citedi IPN, Diego M. Castillo G. empleó un sistema de proyección de franjas como alternativa de bajo costo para el diagnóstico y seguimiento en la deformación de cráneo en bebés. Por otro lado, las lesiones en la columna vertebral son un padecimiento muy común en la población debido al trabajo

pesado, el deporte, y algunas actividades físicas cotidianas como conducir un automóvil por intervalos de tiempo prolongados. Estas lesiones pueden provocar incapacidad permanente cuando no se detectan a tiempo. Benjamín O. Mendieta C. aplicó los conocimientos adquiridos durante su estancia de verano del Programa Delfín 2021 en el Citedi IPN para diseñar un perfilómetro basado en luz estructurada para digitalización 3D



La detección de lesiones de columna vertebral requiere estudios médicos costosos tales como rayos X y tomografía. En la actualidad, se está explorando el uso de sistemas de visión 3D para detectar lesiones de columna vertebral midiendo la deformación 3D de la espalda del paciente mientras realiza una rutina física controlada.



En la actualidad, la facilidad de uso de los sistemas de visión 3D y los bajos costos de adquisición han favorecido al desarrollo de la industria de los productos personalizados. En la imagen se muestra una digitalización 3D típica de la extremidad inferior derecha útil para el diseño y fabricación de calzado ortopédico.

de la espalda del paciente. Este perfilómetro es una alternativa de diagnóstico simple, portátil y de bajo costo que podría ser empleado directamente en zonas de riesgo como líneas de producción industrial, gimnasios e incluso el hogar.

En el pasado, los desarrollos pioneros en sistemas ópticos impulsaron el avance científico y tecnológico de la humanidad. Para el futuro, se prevé que los sistemas de

visión 3D serán indispensables para prácticamente toda la actividad humana. En este contexto, es importante incrementar en el presente nuestra ciencia, tecnología e innovación en esta línea de investigación. Todas y todos los interesados en el estudio y desarrollo de sistemas avanzados de visión digital 3D son bienvenidos al Citedi IPN.

Los y las estudiantes pueden abordar los temas descritos y otros temas afines al

realizar estancias de investigación, prácticas profesionales, tesis de licenciatura y estudios de posgrado en los programas de **Maestría y Doctorado en Ciencias en Sistemas Digitales**. Incorporate a nuestro centro de investigación para forjar tu carrera de investigador y contribuir en el desarrollo científico y tecnológico de la próxima generación de sistemas avanzados de visión digital 3D.



La teoría de control en el desarrollo de vehículos no tripulados

Un sistema de control es una interconexión de componentes que forman una configuración del sistema con el objetivo de proporcionar una respuesta deseada.

Los sistemas de control se encuentran en una infinidad de aparatos de uso diario, desde sistemas simples como las licuadoras o tostadores hasta dispositivos complejos como automóviles y aviones. En el ámbito industrial podemos encontrar robots manipuladores que realizan tareas como ensamblaje y pintura de manera continua y repetitiva manteniendo una precisión constante gracias a los sistemas de control [1]. Del mismo modo, existe una amplia variedad de procesos químicos que son automatizados empleando controladores que garantizan el cumplimiento de la tarea establecida [2]. En el ámbito automotriz, los sistemas de seguridad incluidos en los vehículos, como el control electrónico de estabilidad, los frenos ABS y los sistemas de mantenimiento de carril asistido, son ejemplos de sistemas de control que brindan seguridad y hacen nuestro traslado más fácil [3]. De los ejemplos mencionados anteriormente podemos darnos cuenta que los sistemas de control están presentes en nuestro día a día, pero pasan prácticamente desapercibidos cuando funcionan adecuadamente. Sin embargo, cuando fallan se producen comportamientos indeseados que en ocasiones pueden llegar a poner en riesgo la integridad del ser humano.

Vehículos no tripulados, una herramienta con amplia aplicación

Los vehículos no tripulados son sistemas que se han vuelto una herramienta fundamental en distintas tareas cotidianas. Existe una gran variedad de estos vehículos que la sociedad emplea para facilitar actividades complejas o para realizar tareas que resultan riesgosas para el ser humano. Estos dispositivos poseen características específicas que les permiten funcionar en ambien-



tes de trabajo diversos. Por ejemplo, los **vehículos no tripulados con ruedas** son empleados en tareas de exploración, transporte, mapeo, etc. [4]. Por su parte, los **vehículos acuáticos** son herramientas de gran valor para monitorear ecosistemas submarinos como es el caso de corales y arrecifes [5]; además, son usados para inspeccionar estructuras que se encuentran sumergidas sin poner en riesgo la integridad de los buzos que comúnmente realizan estas tareas. Del mismo modo, los **vehículos aéreos no tripulados** han tenido gran popularidad en los últimos años, en particular los **vehículos multirotor** que poseen características como el despegue y aterrizaje vertical haciéndolos sumamente atractivos en distintos ámbitos como, por ejemplo, mapeo, transporte, rescate, riego e incluso entretenimiento [6]. En la Figura 1 se muestran dos vehículos no tripulados, uno con ruedas y un **quadrotor**.

Autonomía en los vehículos no tripulados

Según la Real Academia de la Lengua Española, la **autonomía** se define como la condición de quien, para ciertas cosas, no depende de alguien. Como se puede notar, según la definición anterior, los vehículos no tripulados pueden realizar muchas de las tareas antes mencionadas de manera autónoma o con un bajo nivel de supervisión. Es aquí donde nos planteamos la siguiente pregunta: ¿cómo es que estos vehículos logran realizar las tareas asignadas de manera autónoma?

En general, como se ve en la Figura 2, para obtener autonomía es necesario que los vehículos combinen un conjunto de componentes que interactúan entre sí. Algoritmos de control, planificación de trayectorias, fusión sensorial y decisión son algunos ejemplos de sistemas requeridos para dotar de autonomía al vehículo. En particular, los sistemas de control juegan un papel preponderante en el desarrollo de los vehículos no tripulados. Estos módulos se encargan de generar las señales que se aplican al vehículo para definir su movimiento utilizando información del ambiente que se obtiene a través de los sensores.

Una característica deseable en los sistemas de control es garantizar el cumplimiento de la tarea asignada a pesar de que los vehículos sean afectados por efectos no considerados en su diseño [7]. Dichos efectos pueden ser perturbaciones ambientales o fallas en algunos de sus componentes, los cuales incluyen sensores y accionadores. Por ejemplo, en el caso de las perturbaciones ambientales, las ráfagas de viento influyen en el desempeño de los vehículos aéreos. De la misma manera, las corrientes que se generan bajo el agua modifican el comportamiento de los vehículos acuáticos. Algo que se presenta comúnmente en los vehículos multirotor es el daño de las hélices, lo cual genera pérdida de empuje y puede poner en riesgo el cumplimiento de la tarea, la integridad del dispositivo e incluso las personas que se encuentren interactuando con él. Es por esto que los sistemas de control tolerantes a estas perturbaciones y fallas toman gran importancia al momento de trabajar con los vehículos no tripulados [8]-[10].

Investigación sobre control de vehículos no tripulados en el Citedi

El **Laboratorio de Control** del **Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital (Citedi)** del Instituto Politécnico

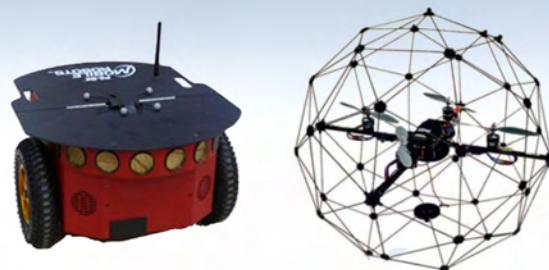


Figura 1. Vehículos no tripulados de tipo con ruedas y aéreo tipo quadrotor.

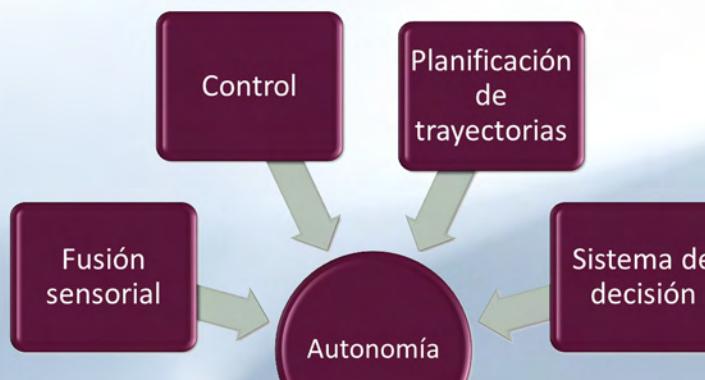


Figura 2. Para alcanzar la autonomía los vehículos fusionan distintas áreas de conocimiento.

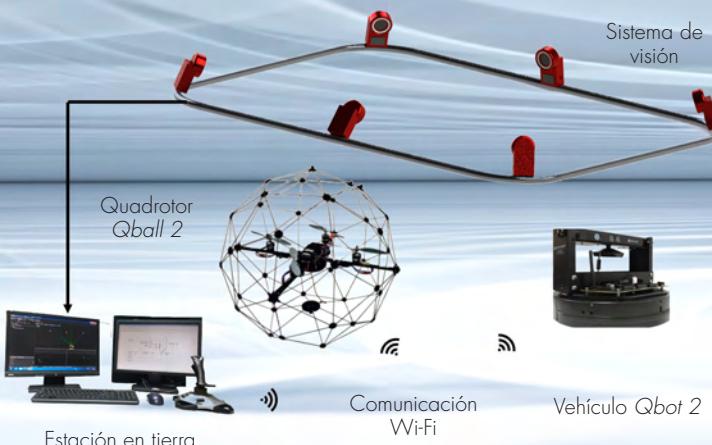


Figura 3. Ambiente experimental para la validación de los algoritmos de control en vehículos no tripulados.

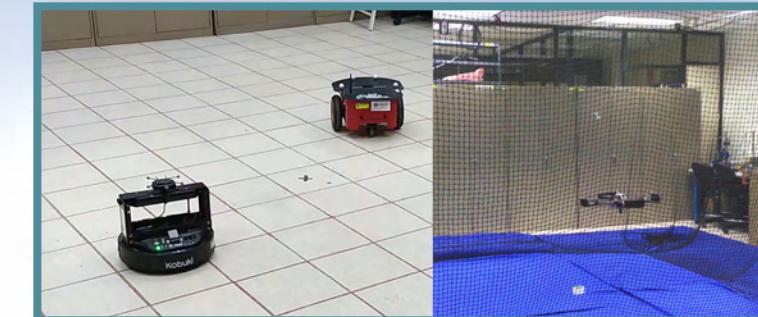


Figura 4. Ejemplos de validaciones experimentales de los algoritmos de control hechas en el Citedi.

Nacional (IPN), cuenta con un conjunto de vehículos no tripulados que incluye **vehículos aéreos de cuatro rotores** comúnmente llamados **quadrotores** o **drones** y **robots móviles con ruedas tipo uniciclo**. Como se observa en la Figura 3, se tienen disponibles ambientes de prueba con estos dispositivos para realizar investigación en el área de control y automatización.

En estas plataformas desarrollamos investigación relacionada con el control de posición y orientación, control en tareas coordinadas con vehículos del mismo tipo e incluso combinaciones de ellos. Estas investigaciones han dado lugar a distintos productos académicos que incluyen artículos científicos, tesis de maestría y doctorado y colaboraciones tanto nacionales como internacionales. Las imágenes de la Figura 4 presentan ejemplos de validaciones experimentales hechas en el laboratorio del Citedi.

Sin duda alguna, aún queda mucho por ver en el uso de los vehículos no tripulados. Cada vez tendrán más aplicaciones que impactarán en el bienestar de la sociedad, pero para ello es necesario que su autonomía sea cada vez mayor y sus sistemas sean más confiables. Del mismo modo, existen riesgos que deben ser considerados al usar los vehículos no tripulados, fallas en sus componentes, cambios en el ambiente de trabajo o errores de operación pueden causar desastres con pérdidas considerables. Por lo tanto, los sistemas de control jugarán un papel primordial en garantizar que la tarea se cumpla a pesar de que las condiciones de operación cambien de manera inesperada. □

Referencias

- [1] Wang, P., Zhang, D., y Lu, B. (2021). ESO based sliding mode control for the welding robot with backstepping. *International Journal of Control*, 94(12), 3322-3331.
- [2] Wang, Y., Pan, Z., Yuan, X., Yang, C., y Gui, W. (2020). A novel deep learning based fault diagnosis approach for chemical process with extended deep belief network. *ISA Transactions*, 96, 457-467.
- [3] Tchamna, R., Youn, E., y Youn, I. (2014). Combined control effects of brake and active suspension control on the global safety of a full-car nonlinear model. *Vehicle System Dynamics*, 52(sup1), 69-91.
- [4] Abbasi, W., Rehman, F. U., Shah, I., y Rauf, A. (2019). Stabilizing control algorithm for nonholonomic wheeled mobile robots using adaptive integral sliding mode. *International Journal of Robotics and Automation*, 34(2), 1-8.
- [5] Ferri, G., Munafó, A., y LePage, K. D. (2018). An autonomous underwater vehicle data-driven control strategy for target tracking. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 43(2), 323-343.
- [6] Foudeh, H. A., Luk, P. C. K., y Whidborne, J. F. (2021). An Advanced Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Approach via Learning-Based Control for Overhead Power Line Monitoring: A Comprehensive Review. *IEEE Access*.
- [7] Pérez-Alcocer, R., Moreno-Valenzuela, J., y Miranda-Colorado, R. (2016). A robust approach for trajectory tracking control of a quadrotor with experimental validation. *ISA Transactions*, 65, 262-274.
- [8] Büyükkabasakal, K., Fi dan, B., y Savran, A. (2017). Mixing adaptive fault tolerant control of quadrotor UAV. *Asian Journal of Control*, 19(4), 1441-1454.
- [9] Avram, R. C., Zhang, X., y Muse, J. (2017). Nonlinear adaptive fault-tolerant quadrotor altitude and attitude tracking with multiple actuator faults. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 26(2), 701-707.
- [10] Bisheban, M., y Lee, T. (2020). Geometric adaptive control with neural networks for a quadrotor in wind fields. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 29(4), 1533-1548.



La **tecnología digital** ha transformado nuestra vida diaria, nos ayuda a generar, almacenar y procesar enormes cantidades de información, brindándonos la posibilidad de intercambiar noticias y mantenernos en contacto de una manera rápida y eficiente. Existen una gran cantidad de plataformas de comunicación e información disponibles en línea, con sofisticados modelos y algoritmos computacionales cada vez más poderosos y especializados.

Como una forma de responder a la enfermedad de la COVID-19, considerada como la mayor crisis de salud pública mundial después de la pandemia de 1918, la **Organización Mundial de la Salud (OMS)** creó en 2019 el concepto “salud digital”, que se refiere al uso de tecnologías para mejorar la salud de las personas y brindar servicios básicos, es decir, el uso pleno de la informática y las tecnologías digitales para llevar a cabo nuevas exploraciones, investigaciones e innovadoras aplicaciones en el ámbito de la **medicina clínica**.

Cada vez es más frecuente que el gobierno, las instituciones de salud y científicos comparten en tiempo real información médica y su experiencia práctica en línea, como las últimas noticias de la pandemia y las medidas gubernamentales para mejorar las medidas de prevención y control de la enfermedad, para ralentizar la propagación de la epidemia y garantizar que las personas puedan tomar mejores decisiones individuales y colectivas. Muchos hospitales lanzaron citas para pacientes ambulatorios en línea, **diagnósticos en línea** y otros servicios, lo que no solo ahorra tiempo a pacientes y médicos, sino que también optimiza la adecuación de los recursos humanos, personalizando los recursos clínicos y minimizando la saturación de hospitales durante los picos de contagios. Otra ventaja tecnológica son los **robots médicos**,

pues en las clínicas que cuentan con estos recursos, se pueden atender a varios pacientes en el área de cuarentena y realizar tareas como la entrega de medicamentos sin comprometer la salud del personal de salud al no tener contacto con personas infectadas.

Algunos otros ejemplos de la aplicación de tecnologías digitales son, por ejemplo, como auxiliares en la recopilación e intercambio de datos sobre medicamentos e información médica, dar diagnósticos más certeros y personalizados por cada paciente, mejorar en gran medida las capacidades de investigación científica de los hospitales, aumentar la velocidad de la recopilación y el procesamiento de datos médicos, realizar el intercambio de información de investigación científica; y, esto puede ser la diferencia entre aplicar un tratamiento inadecuado, obsoleto o mejorado. El uso de aplicaciones de vigilancia y seguimiento basadas en datos se ha utilizado como medio para controlar los contagios por coronavirus, por ejemplo, el uso de tecnologías en el **reconocimiento facial**, instalación de termómetros en los aeropuertos y centros comerciales, aplicaciones que rastrean por dónde han caminado personas infectadas son algunas aplicaciones de la **vigilancia digital** para combatir la pandemia.

Artículos de uso común han contribuido a esta vigilancia digital. El uso de teléfonos inteligentes y aplicaciones relacionadas ayudan a identificar “fuentes

potenciales de infección” y a monitorear de manera efectiva el flujo y la distribución de la población. A través de celulares y computadoras de uso doméstico también ha sido posible monitorear vía remota a pacientes con la COVID-19, pudiendo realizar esta tarea de diversas formas para optimizar la atención de pacientes infectados al ser detectado en una etapa temprana, al tiempo que evita hospitalizaciones innecesarias y reduce las estadías hospitalarias. Puede utilizarse eficazmente cuando los recursos médicos son escasos y para reducir el riesgo de una mayor propagación del virus. Otro beneficio es la recopilación de datos de los pacientes (como presión arterial, temperatura corporal, etc.) para análisis de médicos en diferentes ubicaciones geográficas, sin la necesidad de desplazamientos.

Otra utilidad de gran importancia que tiene el uso de la tecnología digital, fundamental en la actualidad para el control de la pandemia, es la **investigación de fármacos y vacunas** que han proporcionado herramientas eficientes para la **predicción** de su eficacia y seguridad que, además de reducir el costo de su desarrollo, también favorecen el acortamiento del tiempo de diseño de nuevos medicamentos.

Los investigadores utilizan diferentes plataformas tecnológicas para el desarrollo de vacunas contra la COVID-19. Hay que tener en cuenta que estos procesos

requieren una gran cantidad de análisis de datos, selección de literatura a gran escala y trabajo de **supercomputación científica**. Los científicos utilizan la tecnología digital, entre otras herramientas, para mejorar la eficacia de la detección de virus y acelerar el desarrollo de fármacos y vacunas.

Con la ayuda de algoritmos de **inteligencia artificial**, una **plataforma automatizada** puede detectar y analizar genes completos para acortar el tiempo que lleva el **análisis genético** de casos sospechosos a tan solo media hora, puede además detectar con precisión mutaciones del virus brindándonos la oportunidad de conocer si hay nuevas variantes de una manera más rápida y actuar en consecuencia para su estudio y contención de ser necesario; también, favorecen la detección de proteínas específicas para el **desarrollo de nuevos fármacos**. Estas tecnologías digitales avanzadas han acelerado el proceso de **desarrollo de vacunas** y han proporcionado apoyo técnico para el cálculo de datos en la **investigación epidemiológica**, lo que se traduce en millones de vidas que se han salvado.

Es por todo lo anteriormente dicho, que la tecnología digital ha tenido un papel insustituible en la reducción de contagios y, en consecuencia, de muertes causadas por la COVID-19. Sin este conjunto de poderosas herramientas, pudo haber sido una tragedia mucho mayor.

La salud digital en época de pandemia





A lo largo de los últimos meses, el destino de uno de los grandes hitos en la astronomía moderna nos ha mantenido en constante tensión, una aventura que comenzó en 1996 al iniciarse el desarrollo del Telescopio Espacial de Nueva Generación o NGST (Next Generation Space Telescope, por sus siglas en inglés). Los números que pueden darnos una idea de la importancia del Telescopio Espacial James Webb van desde los abrumadores hasta la sencillez de un dígito que esconde un acalorado debate. Hagamos un recuento de algunos de estos números.

9660 millones de dólares

El presupuesto inicial del proyecto rondaba los 500 millones dólares, en una época en que la NASA pretendía realizar misiones con menor presupuesto y mayor efectividad. Después del éxito parcial del **Hubble** (el cual tuvo que ser reparado por un error en la manufactura de su sistema óptico) se pretendía construir un nuevo telescopio espacial con mayores capacidades. Pocos se imaginaban que al final, con todo el desarrollo tecnológico necesario, investigación y adecuaciones, el presupuesto sería casi veinte veces mayor.

6200 kg. de masa

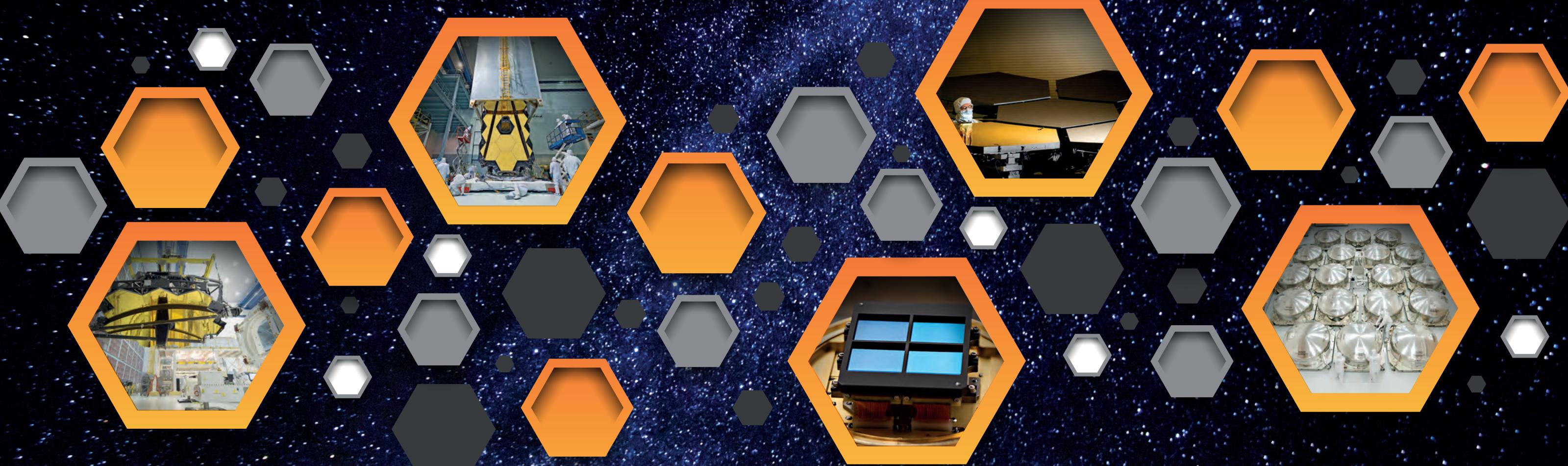
El **Telescopio Espacial James Webb** o JWST (*James Webb Space Telescope*, por sus siglas en inglés) no es un aparato ligero. Mientras que el tamaño es similar al de una cancha de tenis al ser desplegado completamente, su masa al ser lanzado llega a más de seis toneladas. El telescopio se construyó de tal manera que todo este material se pudiera lanzar comprimido en el carenado de un **cohete Ariane 5**, perteneciente a la **Agencia Espacial Europea** y lanzado desde el **puerto espacial Kourou** en la Guyana Francesa. Cada pieza móvil y estática del telescopio fue planeada y construida de tal forma que lleve lo estrictamente necesario para su funcionamiento.

26 años de desarrollo

Durante las más de dos décadas de desarrollo el proyecto del JWST estuvo en peligro de cancelarse varias veces. Las razones abarcan desde la reducción del presupuesto asignado por el Congreso de los Estados Unidos a la NASA a lo largo de cuatro administraciones del gobierno de EUA, hasta la necesidad de desarrollar tecnologías que no existían en su momento para poder hacer viable su funcionamiento. En este largo camino, hubo campañas de apoyo de parte de la comunidad científica para no abandonar el proyecto y para demostrar que era viable una vez lanzado.

18 espejos de berilio

El JWST cuenta con 18 segmentos hexagonales hechos de un metal llamado **berilio**, necesario para la operación del telescopio. El Webb tendrá que someterse a temperaturas extremas: el lado que estará expuesto a la luz del Sol tendrá una temperatura alta, sin embargo, del lado contrario las piezas deberán soportar hasta 223 °C bajo cero. Es por ello que se escogió un material que aunque tenga variaciones de temperatura conserve su forma y estabilidad. Cada segmento del espejo primario pesa alrededor de veinte kilogramos y tiene detrás una serie de **actuadores mecánicos** que le permiten moverse de forma individual y precisa para enfocar la luz de las lejanas estrellas y galaxias.



10 años de operación

Por el excelente trabajo en la preparación del lanzamiento, los cálculos sobre la operación del JWST son muy halagüeños. Desde su construcción en la costa este de los Estados Unidos, recorriendo en barco el trayecto hacia el sur por el Canal de Panamá y el Mar Caribe hasta la Guyana Francesa, el preciso montaje y lanzamiento y la puesta en recorrido hicieron que el Webb tenga combustible para maniobrar en el **punto L2 de Lagrange** por lo menos por una década. En los siguientes años de operación veremos imágenes jamás obtenidas por ningún otro telescopio en la historia de la humanidad.

5 capas de protección

Para protegerse de la luz solar, el JWST cuenta con un "parasol" compuesto por cinco capas de un material recubierto de **aluminio y silicio**. Cada una de estas capas cumple la función de proteger el telescopio de la radiación solar al mismo tiempo que irradian el calor hacia el espacio. Al operar bajo la "sombra" de estas cinco capas de polímero, los instrumentos del Webb pueden trabajar a temperaturas cercanas al cero absoluto, esto es necesario dado que es un **telescopio infrarrojo**, es decir, detecta la luz en longitudes de onda más largas que el espectro visible.

2 nombres

En los meses previos al lanzamiento, el JWST estuvo envuelto en una última polémica que coronaba una historia llena de dificultades. El nombre del telescopio fue en un principio "Next Generation Space Telescope", sin embargo, se renombró en honor a **James Webb**, administrador de la NASA en la época de la carrera espacial y las **misiones Apollo**. Recientemente, salieron a la luz documentos que involucraban a Webb en una campaña de persecución de las personas homosexuales en la década de los 50 por parte del gobierno de Estados Unidos. A pesar de que hubo una fuerte campaña por parte de algunos científicos para renombrar al aparato, la NASA continuó con el nombre ya asignado y por el que lo conocemos hasta la fecha.

1.5 millones de kilómetros

El JWST será único en muchos aspectos, quizás uno de los más interesantes es la enorme distancia que nos separa de él. El telescopio se encuentra orbitando el Sol a un millón y medio de kilómetros de la Tierra, en un punto llamado **L2 de Lagrange** en honor al matemático **Joseph-Louis Lagrange**, quien calculó su existencia. En este lugar, la atracción gravitacional del Sol y la Tierra se equilibran dando como resultado un sitio ideal para la observación del Universo sin obstáculos. Sin embargo, estar a esta distancia implica que, en caso de fallo o necesidad de mantenimiento, será imposible alcanzarlo para realizar reparaciones (como sí ocurrió con el Hubble). Los científicos del **Centro de Vuelo Espacial Goddard** en la NASA deberán confiar en el enorme trabajo realizado en el Webb para que funcione de manera autónoma como la increíble máquina de relojería espacial que es, orbitando en un solitario lugar lejos de donde fue concebido. ▶



NASA's Goddard Space Flight Center
Conceptual Image Lab

<https://svs.gsfc.nasa.gov/20341>



#ElPolitécnicoDesdeAdentro



Tour por el Citedi

El Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital (Citedi) perteneciente al Instituto Politécnico Nacional (IPN), se ubica en la ciudad de Tijuana, Baja California y, como su nombre lo indica, está dedicado al desarrollo e innovación en el campo de las **tecnologías digitales**, así como a la formación de profesionales y científicos a través de sus programas de posgrado.

Áreas de investigación



Figura 1

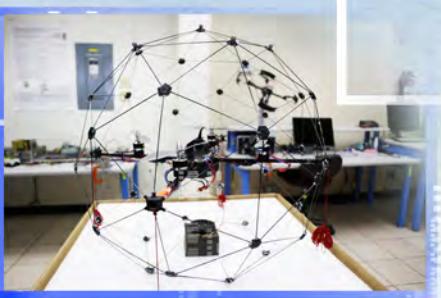


Figura 2

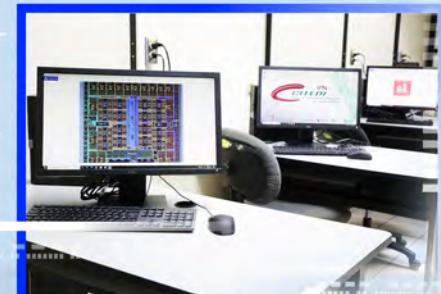


Figura 3

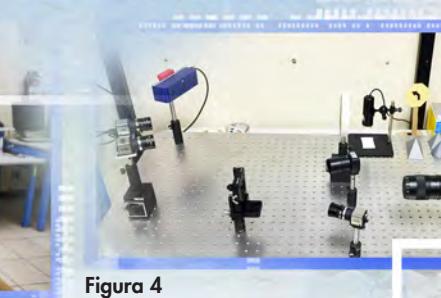


Figura 4



Figura 5



Figura 6



Figura 7

Por ello, el Citedi dispone de infraestructura para el óptimo desarrollo de ciencia y tecnología, pero también para realizar actividades académicas y administrativas en un entorno propicio y con una ubicación estratégica.

Los invitamos a dar un tour por las áreas de investigación, académicas y de esparcimiento del Citedi.

¡Comencemos el recorrido!

Áreas de investigación

Como parte esencial de la infraestructura del Citedi se encuentran sus ocho laboratorios:

- Sistemas de control robusto
- Sistemas de control
- Ciencia de datos
- Sistemas inteligentes
- Procesamiento de imágenes
- Análisis multimedia y aprendizaje profundo
- Telecomunicaciones
- Percepción remota

El Centro cuenta con infraestructura tecnológica única en la región y escasamente disponible en el país para el desarrollo de investigación de alto nivel en **vehículos autónomos y robots móviles terrestres** (Fig. 1), **drones del tipo cuadrotor instrumentados con servovisión** (Fig. 2), **servidores de ciencia de datos tipo AWS** y **clústeres de GPU propios** (Fig. 3), sistemas de captura de imágenes bidimensionales y tridimensionales (Fig. 4), sistemas digitales para el **encriptamiento de señales de telecomunicaciones** en tiempo real (Fig. 5), **robots subactuados** y **brazos robóticos manipuladores** (Fig. 6).

Destaca también el desarrollo de infraestructura propia con una **plataforma de vuelo para implementación de algoritmos de control para vehículo cuadrotor** (Fig. 7), el **péndulo invertido con rueda inercial**, el **péndulo de Furuta** y el **robot manipulador Pen-taxis** de cinco grados de libertad.

Áreas académicas

Para el adecuado desarrollo de las actividades de los programas de posgrado se cuenta con cuatro aulas, cada una equipada con el mobiliario necesario: mesas, sillas, pizarrón, proyector electrónico, pantalla de proyección y aire acondicionado. Estos espacios están disponibles permanentemente.

Los estudiantes del programa de **Maestría en Ciencias en Sistemas Digitales** disponen de una sala de estudio con capacidad para 16 estudiantes, misma que cuenta con escritorios, sillas, conexión Ethernet y acceso a la red inalámbrica.

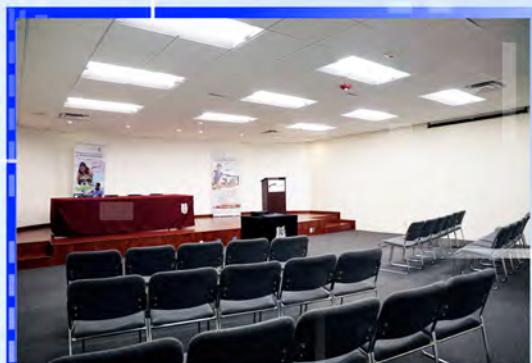
Las posiciones de la sala son individuales e independientes de las posiciones de trabajo dentro de los laboratorios de investigación.

En el caso de los estudiantes del **Doctorado en Ciencias en Sistemas Digitales**, disponen de tiempo completo de cubículos con equipos de cómputo, ubicados junto a los laboratorios para investigación del Centro.

Además de los cubículos para estudiantes, el Citedi cuenta con una biblioteca especializada integrada por un acervo impreso de más de 2600 volúmenes que abordan temáticas relativas a **sistemas dinámicos de control, tecnologías emergentes, cómputo inteligente de alto rendimiento y tecnologías de imagen y telecomunicaciones modernas**, además de otros tantos relacionados a áreas afines.

Adicionalmente, la biblioteca dispone de 20 posiciones de trabajo y una colección de títulos literarios que se encuentra en crecimiento constante.

Para la celebración de eventos académicos y reuniones administrativas, el Citedi cuenta con un auditorio con capacidad para 60 personas, la sala de dirección y la sala de usos múltiples con capacidad para 22 y 30 personas, respectivamente.



Auditorio



Biblioteca



Aulas



Sala de usos múltiples



Sala dirección



Activación física



Explanada



Jardín

Áreas de esparcimiento

Para el Citedi es esencial contar con espacios donde la comunidad pueda hacer una pausa a sus labores y dedicar unos minutos a la relajación, la contemplación o a consumir alimentos. Para ello el Centro dispone de dos jardines, canchas deportivas y comedor.

Estas son áreas comunes tanto para investigadores y personal administrativo como para los estudiantes de los posgrados, lo que permite que toda la comunidad del Citedi se integre y conviva como parte de la dinámica cotidiana.

Esperamos que este recorrido haya sido de su agrado y que pronto puedan visitarnos en las instalaciones. 

El mundo de los sistemas y las tecnologías digitales



Instituto Politécnico Nacional (IPN)

Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital (Citedi)

- Maestría y doctorado en Ciencias en Sistemas Digitales

Av. Instituto Politécnico Nacional No. 1310, Colonia Nueva Tijuana, Tijuana, Baja California. México, C.P. 22435

<https://maestria.citedi.mx/portal/>
<https://doctorado.citedi.mx/portal/>



Centro de Investigación en Computación (CIC)

- Maestría en Ciencias en Ingeniería de Cómputo
- Maestría y doctorado en Ciencias de la Computación

Av. Juan de Dios Bátiz, Esq. Miguel Othón de Mendizábal. Col. Nueva Industrial Vallejo, Alcaldía Gustavo A. Madero. Ciudad de México, México, C.P. 07700

<https://www.cic.ipn.mx/>



En un contexto desafiante como el que vivimos actualmente, los sistemas y las tecnologías digitales son imprescindibles, por lo que, la demanda de expertas y expertos en esta área del conocimiento es enorme. Es por ello que, en este espacio te damos algunas sugerencias de posgrados dentro de nuestro Instituto Politécnico Nacional, así como en otras universidades nacionales e internacionales; puedes consultar el plan de estudios de estas propuestas y compararlos para que, si ya tienes pensado estudiar un posgrado, lo hagas en el lugar que mejor se adapte a tus necesidades e intereses.

Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico en Cómputo (CIDETEC)

- Maestría en Tecnología de Cómputo
- Doctorado en Ingeniería de Sistemas Robóticos y Mecatrónicos

Av. Juan de Dios Bátiz s/n esq. Miguel Othón de Mendizábal. Col. Nueva Industrial Vallejo, Alcaldía Gustavo A. Madero. Ciudad de México, México, C.P. 07700

<https://www.cidetec.ipn.mx/>



Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC)

- Licenciatura en Tecnología
- Maestría y doctorado en Ciencia e Ingeniería de la Computación

Edificio de la Unidad de Investigación Multidisciplinaria (UIM), planta alta. Carretera Cuautitlán-Teoloyucan Km. 2.5, San Sebastián Xhala. Cuautitlán Izcalli, Estado de México. México, C.P. 54714

<https://www.cuautitlan.unam.mx/>



Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE)

- Maestría y doctorado en Ciencias Computacionales

Luis Enrique Erro # 1, Tonantzintla, Puebla. México, C.P. 72840

<https://posgrados.inaoep.mx/>



TROTAMUNDOS

Formación sin fronteras

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP)

- Maestría en Ciencias de la Computación

4 sur 104, Centro Histórico. Puebla, Puebla. México, C.P. 72000

<https://www.buap.mx/>



Universidad Nacional de Colombia (UNAL)

- Maestría en Ingeniería de Sistemas y Computación

Av. NQS (Carrera 30) No. 45-03 Ciudad Universitaria. Edificio 453 (Aulas de Ingeniería), segundo piso, oficina 209. Bogotá, Colombia

<https://unal.edu.co/>



University of Oxford

Department of Computer Science

- MSc in Advanced Computer Science
- MSc in Mathematics and Foundations of Computer Science

- PhD in Computer Science

Oxford OX1 2JD, Reino Unido.

<http://www.cs.ox.ac.uk/>



TECNOLOGÍA DIGITAL

#TuCuriosidadAlDespegue

Guadalupe Zapata Castro
Estudiante de Ingeniería Aeronáutica,
divulgadora y tallerista Eureek'a



¿Cómo nos benefician?

Las tecnologías pueden ayudar a que nuestro mundo sea más justo, más pacífico y más equitativo.

Los avances digitales pueden apoyar y acelerar el logro de cada uno de los **17 Objetivos de Desarrollo Sostenible**, desde el fin de la pobreza extrema hasta la reducción de la mortalidad materna e infantil, la promoción de la agricultura sostenible y el trabajo decente, y el logro de la alfabetización universal. Sin embargo, las tecnologías también pueden amenazar la privacidad, comprometer la seguridad y alimentar la desigualdad. Tienen implicaciones para los derechos humanos y la actividad humana.

Por lo cual, es deber nuestro trabajar en conjunto con gobiernos, empresas e individuos para decidir, gestionar y aprovechar las nuevas tecnologías.



Si quieras conocer más sobre la opinión de la ONU respecto a las tecnologías, te recomendamos el artículo de este QR.

Diferencias entre tecnología analógica y digital

A diferencia de los medios y dispositivos analógicos, los aparatos digitales no realizan simulaciones continuas de procesos o hechos, si no que funcionan con representaciones discretas, es decir, en vez de emplear algún medio físico/mecánico lo hacen mediante la **configuración binaria**.



Te recomendamos leer el siguiente artículo: "Entre lo analógico y lo digital" de Zamudio, F. DGSCA UNAM

De lo analógico a lo digital

A continuación, te presentamos dos de los objetos tecnológicos más comunes y sus antepasados analógicos.



En este QR encontrarás más ejemplos de aparatos tecnológicos que pasaron de ser analógicos a digitales.

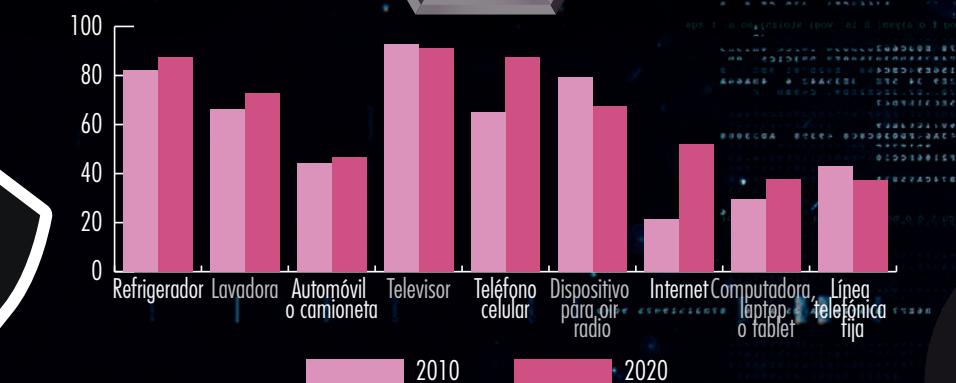
Tecnología... ¿Para todos?

A pesar de las enormes ventajas que implica el uso de la tecnología, los que no están "conectados" siguen aislados de sus beneficios y quedan aún más rezagados.

La proporción de mujeres que utilizan Internet es un 12 % inferior a la de los hombres.

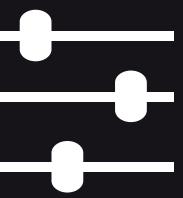
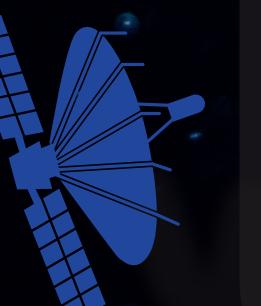
- Mujeres
- Ancianos
- Personas con discapacidad
- Minorías étnicas
- Indígenas

Mexicanos cambian la TV y la radio por la computadora e internet



¿En dónde encontramos la tecnología digital en el espacio?

- **Sistemas de telecomunicaciones** por satélite, incluyendo comunicaciones cuánticas en el espacio.
- **Sistemas de observación** de la Tierra, incluyendo inteligencia artificial y big data.
- **Sistemas con servicios en órbita**.
- **Robótica y tecnologías de propulsión eléctrica**.
- **Acceso al espacio**: lanzadores reutilizables, propulsión de alto empuje, nuevos sistemas de transporte espacial, infraestructuras terrenas.
- **Aplicaciones de navegación** y de telecomunicaciones por satélite seguras.
- **Ciencia y exploración espacial**, gravimetría cuántica y estudio del clima espacial.



Conoce más en Horizonte Europa: Programa Marco de Investigación e Innovación.



Tecnologías y artes digitales

Las tecnologías para comunicarnos producidas a lo largo de la historia conforman distintas maneras de ser de la humanidad. Desde la invención del lenguaje hace miles de años y hasta la informática, estas tecnologías generan formas de interactuar entre las personas y de vincularnos con otros seres vivos y las cosas en general. Las tecnologías influyen en la imagen que tenemos de nosotros, de los demás y del resto del universo. También influyen en nuestros comportamientos, cómo realizamos nuestras actividades cotidianas y cómo nos organizamos socialmente.

Un ejemplo reciente de este tipo de tecnologías es el proyecto llamado por Mark Zuckerberg como el "último sueño de la tecnología social". En una carta publicada en octubre de 2021, el fundador de Facebook anunció la creación del **Metaverso** o **Metauniverso**. De acuerdo con el mensaje, el objetivo de su proyecto es que las personas experimenten una forma nueva de comunicación en las plataformas digitales.

El documento señala que cada persona será representada por un holograma y tendrá una experiencia de **teletransportación** a través de dispositivos integrados de realidad aumentada, realidad virtual, computadoras y teléfonos móviles conectados a Internet, estimulando la sensación de estar interactuando con otras personas en otros lugares.

Además, dice que la nueva "**tecnología social**" busca expandir un modo de producción y comercio de cosas que no serán producidas físicamente en fábricas, pues cada cosa del Metaverso será un holograma diseñado en cualquier parte del mundo (Zuckerberg, 2021).



Desde las últimas décadas del siglo XX se ha escrito mucho sobre el impacto de estas tecnologías en las relaciones humanas. Cuatro décadas antes del anuncio de Zuckerberg, la bióloga y filósofa Donna Haraway observó cómo las nuevas **tecnologías de la comunicación** establecen vínculos íntimos y fructíferos entre las máquinas y los seres vivos y diluyen la frontera entre lo físico (la realidad corporal de las personas) y lo no físico (la imaginación). También veía cómo las ciencias de la comunicación lograron traducir las cosas en códigos de la misma manera que lo hace la biotecnología con los organismos, dispersándolos y conectándolos de otras maneras (Haraway, 1985).

En aquella época, la humanidad comenzaba a experimentar la transformación estructural del mundo debido a las tecnologías informáticas. De acuerdo con el politólogo Langdon Winner, estas tecnologías generaban nuevas formas de modelar y organizar a la sociedad (Winner, 1986).

En 1998, el artista y teórico del diseño Tomás Maldonado recomendó examinar y reexaminar las relaciones de las nuevas tecnologías con la evolución de la sociedad, sin ver en éstas "una caja de pandora rebosante de desgracias" ni "una cornucopia desbordante de frutos milagrosos" (Maldonado, 1998).

Desde entonces, artistas digitales de todo el planeta experimentan con las tecnologías informáticas y estimulan a través de sus obras el análisis y la reflexión acerca de los fundamentos, objetivos, usos y significados de las nuevas tecnologías en el arte, la literatura y las distintas formas de ser de la humanidad.

En el ámbito de la **literatura electrónica** y **narrativa transmedia** existen proyectos como **Puerto 80 DB**, el cual consiste en una base de datos que incluye las obras de veinticinco artistas mayoritariamente de Iberoamérica. Entre las obras se encuentra una serie de poemas animados del brasileño Eduardo Kac, quien en 1986 utilizó la tecnología de **Videotextos** desarrollada por Minitel en la década de 1970 para transmitir información digitalizada mediante el teléfono. También encontramos el proyecto de poesía electrónica **MIDIpoet**, diseñado por el mexicano Eugenio Tisselli en 1999, y **Anipoemas**, de la argentina Ana María Uribe quien juega con las letras, los números y los signos de puntuación para crear figuras en movimiento que hacen malabares e interactúan en un espacio virtual.

Poetrónica.net es un proyecto de poesía multimedia de la escritora mexicana Karen Villeda, quien recurre a los medios electrónicos para explorar nuevas posibilidades en la escritura de un poema. A partir de **Tesauro**, su primer poemario publicado en 2010, desarrolló un laboratorio de **ciberpoesía** en donde experimenta con la reconstrucción y recreación de sus poemas a través de diversas tecnologías informáticas.

Otra obra de Karen Villeda en donde vemos el resultado de sus experimentos ciberpoéticos es: **SorJuanízate, poema en reescritura** elaborado en 2016, en donde los versos de Sor Juana Inés de la Cruz adquieren nuevos significados a partir de las formas de expresión actuales. Otra de sus propuestas, desarrollada con Denise Audirac



en 2014 es: **Poetuitéame, instalación virtual de poesía y twitter**, un espacio virtual en donde diversos mensajes de twitter son retomados para formar una narrativa multimedia a partir de palabras clave, etiquetas o tags de metadatos.

Pared es una galería de arte visual que busca generar un diálogo entre los espectadores y los artistas acerca del contenido y las características de sus obras. Por ejemplo, en **Identidad/Mentira**, David Enríquez y Melissa Paredes nos invitan a reflexionar sobre el papel de la identidad en la aceptación de discursos que expresan prejuicios en conversaciones que circulan por las redes sociales en Internet.

El tema de la identidad también está presente en **Hueyotenco**, una obra de exploración multimedia de Daniel Bravo, quien nos cuenta fragmentos de su historia a partir de **postales interactivas** que representan distintos momentos de su vida. Los rostros son distorsionados en las imágenes fotográficas con la intención de comunicar al espectador que las emociones y el recuerdo es lo que les da sentido.

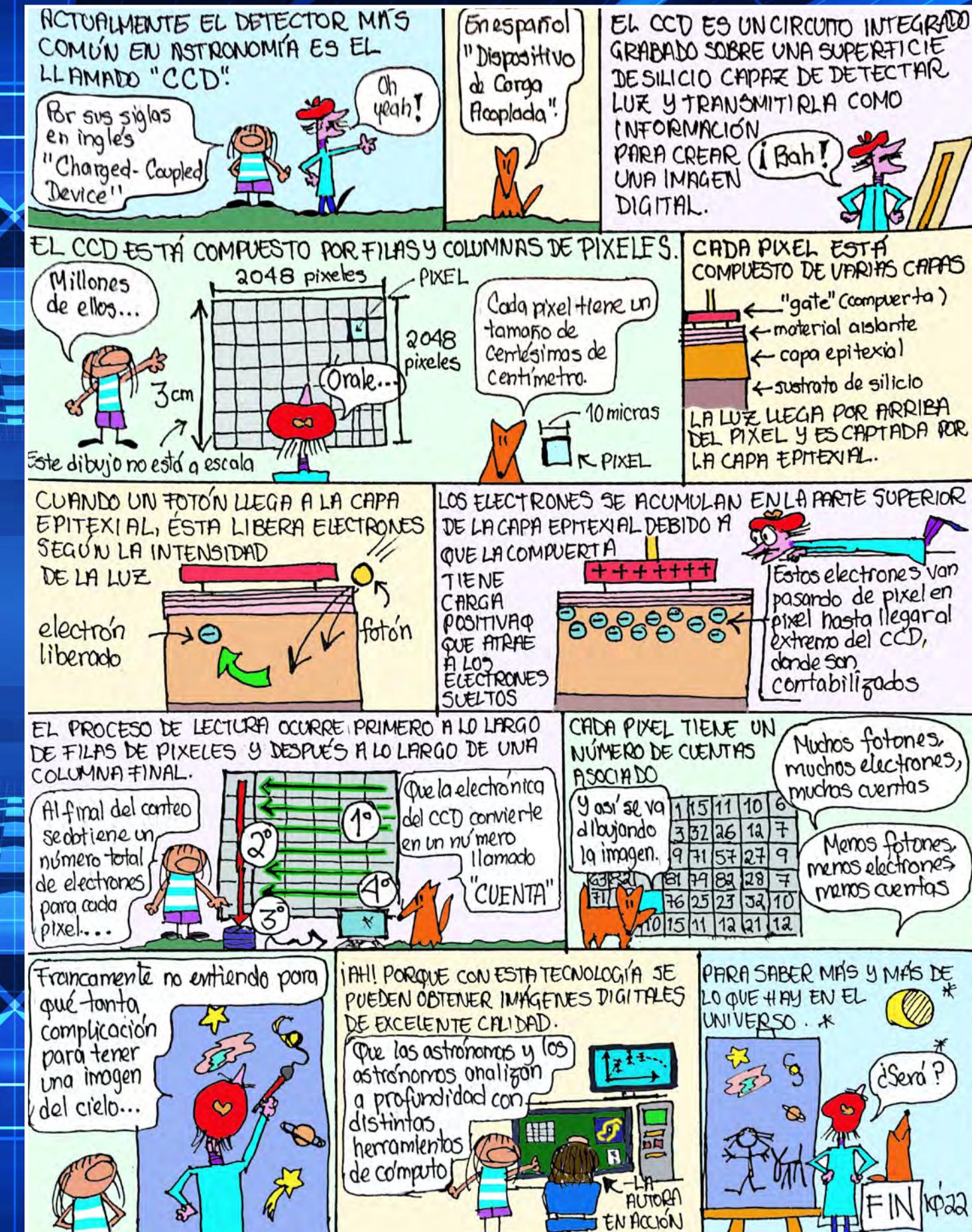
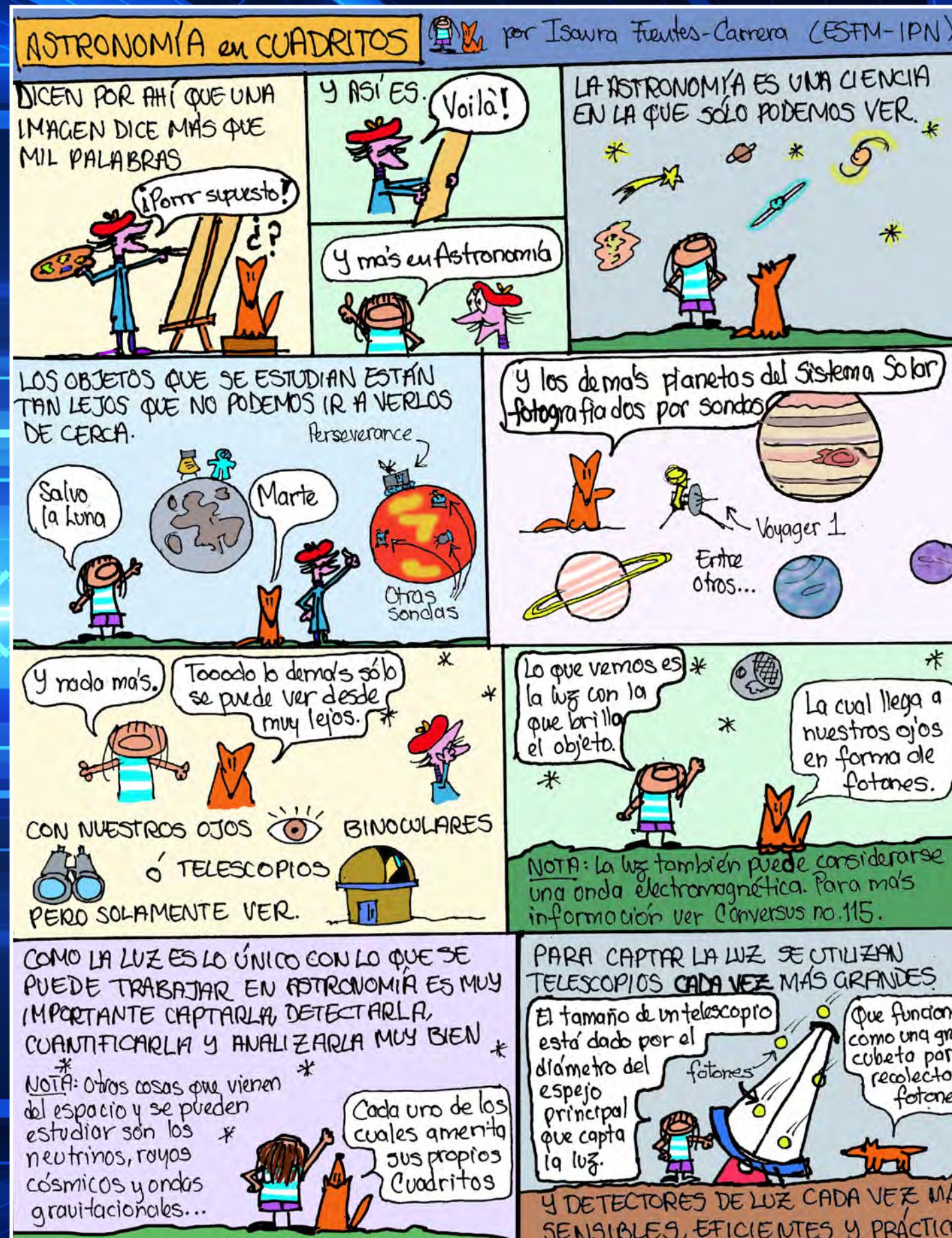
Recientemente, la Galería Virtual de la Facultad de Artes y Diseño de la UNAM expuso la obra del artista visual Miguel Casco, **Send Nudes**. Las pinturas, realizadas a partir de **selfies** compartidas voluntariamente con él, nos llevan a preguntarnos sobre la comprensión del cuerpo humano y la desnudez capturadas por los usuarios de las tecnologías digitales y dispositivos móviles.

Por último, el **Centro de Cultura Digital** es un espacio dedicado a la investigación de las manifestaciones culturales, sociales y económicas surgidas a partir de la producción y uso cotidiano de las tecnologías digitales. Su programa incluye: desarrollo de **tecnologías libres**, **literatura electrónica**, y **laboratorio de inmersión y realidades mixtas**.

Estas iniciativas literarias y artísticas son una muestra que nos permite constatar que las **tecnologías informáticas o digitales** pueden ofrecernos distintas posibilidades de ser de la humanidad más allá del sueño corporativo de Zuckerberg. □

Referencias

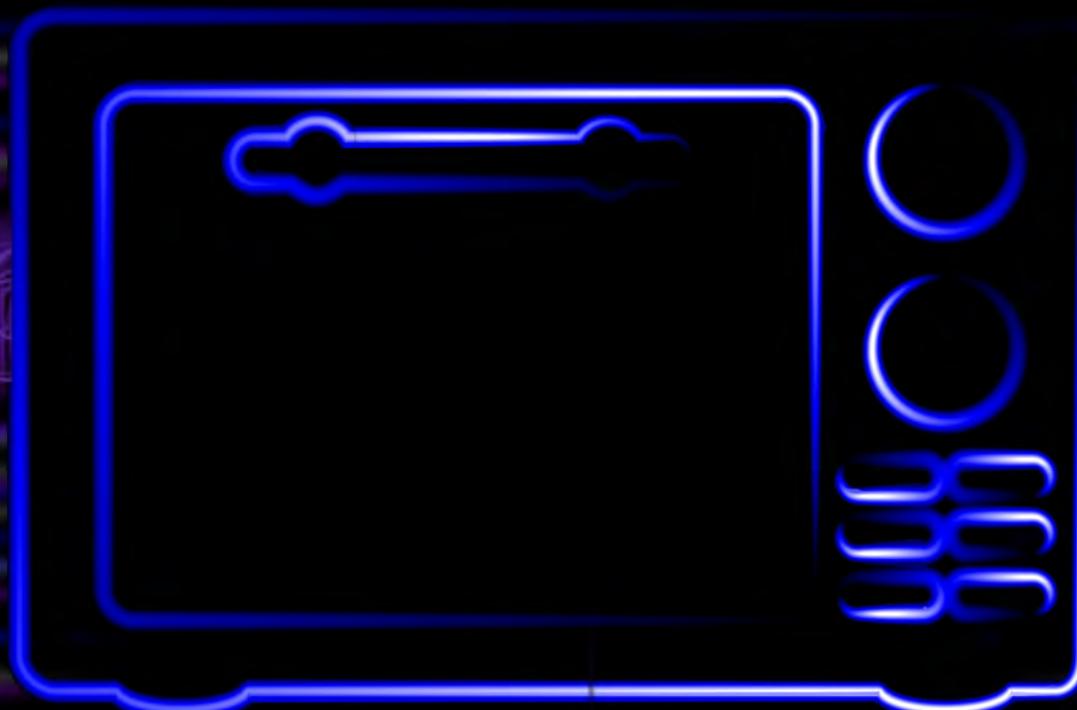
- Haraway, Donna (1985). Manifiesto Cyborg. Ciencia, tecnología y feminismo socialista a finales del siglo XX. Disponible en: http://blogs.fad.unam.mx/asignatura/adriana_raggi/wp-content/uploads/2013/12/manifiesto-cyborg.pdf
- Maldonado, Tomás (1998). Crítica de la razón informática. Fragmento disponible en: <https://bit.ly/3IP40gQ>
- Winner, Langdon (1986). La ballena y el reactor. Una búsqueda de los límites en la era de la alta tecnología. Fragmento disponible en: <https://bit.ly/3trhrx8>
- Zuckerberg, Marx (2021). Carta del fundador. Disponible en: <https://about.fb.com/news/2021/10/founders-letter/>





Continuando con el tema de las ondas electromagnéticas que presentamos en el número anterior, ahora te proponemos realizar una experiencia empleando un horno de microondas doméstico (si eres menor de edad busca la supervisión de un adulto). Haremos primero el experimento y posteriormente daremos la explicación a lo que sucedió.

Medición aproximada de la velocidad de la luz por medio de un horno de microondas



Se requiere un horno de los que tienen un plato giratorio, los que tienen un plato fijo no son adecuados para la experiencia que vamos a realizar; por otra parte, requerimos tablillas de chocolate cuya parte inferior sea completamente plana y de un espesor de 3 milímetros o más delgadas. Seguiremos el procedimiento que a continuación incluimos con la guía de apoyo mostrada en las figuras 1, 2 y 3:

1. Quitar el plato giratorio para tener acceso al dispositivo que tiene 3 rueditas y que hace girar al plato.
2. Retirar la pieza impulsora del plato simplemente levantándola de su posición.
3. Cubrir el centro del plato con las tablillas de chocolate, colocándolas una junto a la otra de tal manera que se cubra un área de 15 por 15 centímetros aproximadamente.
4. Colocar el plato en el interior del horno sin el mecanismo de rotación, es importante que el plato se mantenga quieto.
5. Cerrar la puerta del horno y activarlo por un período de 30 a 40 segundos.
6. Sacar el plato con el chocolate, si observamos con cuidado veremos áreas que están casi fundidas y si las tocamos están calientes, mientras que el chocolate entre las áreas calientes está frío y sólido.
7. Con una regla medimos la distancia que hay entre los centros de las áreas licuadas, encontraremos que la separación es de aproximadamente 6 centímetros; esta distancia corresponde a la mitad de la longitud de la onda electromagnética que produce el horno.
8. El fabricante del horno nos dice que su frecuencia de operación es de 2450 megahertz, es decir $2\ 450\ 000\ 000$ hertz o ciclos por segundo; y, acabamos de medir que las ondas tienen alrededor de 6 centímetros a la mitad de la onda, luego entonces la longitud de una onda completa estará cerca de los 12 centímetros. Para facilitar las operaciones vamos a escribir esta longitud en metros, es decir: 0.12 metros.

Determinado lo anterior, ahora veamos la relación que hay entre la frecuencia y su longitud de onda; resulta que:

$$\text{LONGITUD DE ONDA} = \frac{\text{VELOCIDAD DE LA ONDA}}{\text{FRECUENCIA DE LA ONDA}}$$

Si de esta relación despejamos la velocidad de la onda tendremos que:

$$\text{VELOCIDAD DE ONDA} = \text{LONGITUD DE ONDA} \times \text{FRECUENCIA DE LA ONDA}$$

Si sustituimos los valores determinados anteriormente, entonces se tiene:

$$\text{VELOCIDAD DE ONDA} = 0.12 \times 2\,450\,000\,000 = 294\,000\,000 \text{ m/s}$$

Como puede observarse, el valor obtenido es cercano a 300 000 000 m/s que se tiene medido con instrumentos de alta precisión, lo cual es sorprendente dada la simplicidad del método empleado.

Este experimento también puede realizarse sustituyendo las tablillas de chocolate por unas rebanadas delgadas de queso, tal como las del popular queso amarillo.

Trataremos ahora de explicar cómo se produce el fenómeno a partir del funcionamiento del horno de microondas. Este aparato que usamos comúnmente hoy en día en nuestras casas tiene su origen a inicios del siglo XX, cuando se inventaron las válvulas electrónicas en las que se descubrió que los electrones podían ser acelerados por medio de campos eléctricos. Algunos investigadores experimentaron con lo que sucedía cuando a los electrones se les sometía a campos magnéticos muy intensos en el interior de un bulbo, además de acelerarlos con un campo eléctrico, lo que dio como resultado oscilaciones de frecuencias del orden de las microondas que los electrones generaban en el rango de los 1000 a los 3000 megahertz.

Al dispositivo que generaba estas oscilaciones, constituido por una válvula electrónica y dos poderosos imanes, se le dio el nombre de "magnetrón"; un modelo de los que actualmente se emplean en los hornos de microondas se muestra en la Figura 4.

En los años cuarenta, durante la Segunda Guerra Mundial, se volvió prioritario el desarrollo de los radares para la defensa y fueron especialmente útiles los de pequeñas dimensiones que pudieran ser transportados en los aviones. Esto impulsó la investigación de la fabricación de magnetrones que podían generar potencias cercanas a los 1000 watts y que eran aplicables en los radares, si bien también se fabricaron de altas potencias y en frecuencias del orden de los 10 gigahertz para cubrir las aplicaciones de radares fijos de largo alcance.

Durante el ensayo de un equipo para un radar, uno de los ingenieros se dio cuenta que unas tablillas de chocolate que estaban cercanas al experimento se habían calentado y reblanecido, lo que dio inicio a una serie de experiencias para entender lo que sucedía; de estas pruebas se derivó el concepto "hornos de microondas", con potencias comprendidas entre 400 y 1000 watts que operan en la frecuencia de 2450 megahertz.

Ya con la fuente de energía en microondas, lo siguiente es enviar la energía hacia la "cavidad" en donde se colocan los alimentos a



Figura 1. Dispositivo de arrastre para girar el plato que debe retirarse.



Figura 2. Tablillas de chocolate cubriendo 15 x 15 cm con espesor de 3 mm.



Figura 3. Chocolate parcialmente quemado por una exposición de 60 segundos.

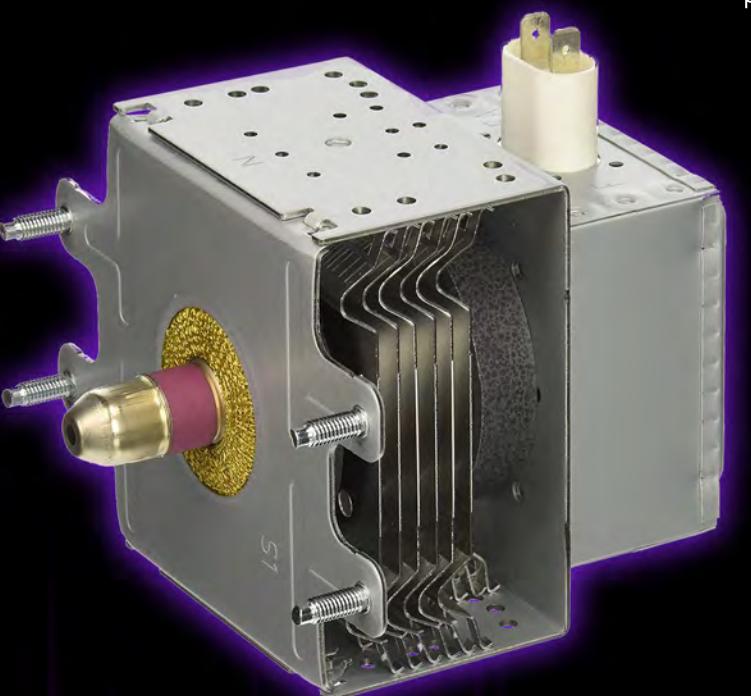


Figura 4. Válvula electrónica magnetrón de 500 watts oscilando a 2450 MHz.

calentar por medio de un tubo rectangular denominado "guía de ondas", esta denominada "cavidad" tiene la propiedad de que sus dimensiones están calculadas para que las ondas que entran, vía la guía de onda, se reflejen en su interior sumándose y restándose y con ello producir las denominadas "ondas estacionarias", lo cual genera áreas de máxima energía y áreas de mínima energía espaciadas un cuarto de longitud de onda.

Justamente la distribución de estas áreas de máxima y mínima intensidad de energía es lo que se detecta con los puntos de chocolate fundido y con los que permanecen fríos y sólidos. Así que esto explica el que se pueda determinar la longitud de onda producida por el magnetrón.

Para que la energía se distribuya uniformemente en el alimento a calentar se utiliza el plato rotador de tal manera que, si bien las ondas estacionarias desarrollan calor en ciertos puntos específicos de la cavidad, al mover los alimentos éste se distribuye. Algunos hornos no tienen este mecanismo, en cambio cuentan con un rotor metálico que funciona como un espejo que, al rotar frente a la guía de onda, hace que las ondas estacionarias giren dentro de la cavidad distribuyendo los puntos calientes en forma continua.

El calentamiento de los alimentos se produce debido a que las moléculas particularmente líquidas son puestas a oscilar violentamente provocando calor por fricción. A diferencia del calentamiento de una estufa, este mecanismo solo se produce en la superficie ya que las ondas electromagnéticas tienen cierta capacidad de penetración, en la frecuencia de 2450 Mhz es del orden de 2 a 3 centímetros, lo cual provoca que el calentamiento se produzca simultáneamente desde la superficie hasta la profundidad mencionada.

Frecuentemente este tipo de hornos se usan con cierta desconfianza por el hecho de que se asocian al término "radiación"; si bien es cierto que se aplica un tipo de radiación electromagnética, por la frecuencia que se emplea no es capaz de producir los daños efectos de la radiación nuclear.

De hecho, las ondas electromagnéticas de frecuencias que están dentro del rango de las microondas y de más bajas frecuencias, solo producen efectos de calentamiento sin que alteren las estructuras de los organismos y de la materia, es por esta razón que se les denomina "radiaciones no ionizantes".

Desde luego hay que tener precauciones para no sufrir quemaduras, por ello los hornos están diseñados para operar únicamente con la puerta cerrada, sin embargo, no falta quien viole los seguros y entonces pueden causar quemaduras graves y profundas. Entre los tejidos que componen al cuerpo humano, los que integran el ojo son muy delicados y las microondas pueden dañar la córnea produciendo cataratas y quemaduras en la retina.

El tema de las ondas electromagnéticas es vasto y fascinante con ramificaciones de la más diversa índole, digno de ser estudiado toda una vida, ojalá algunos de nuestros lectores se entusiasmen lo suficiente y puedan dedicarse al estudio de la materia.

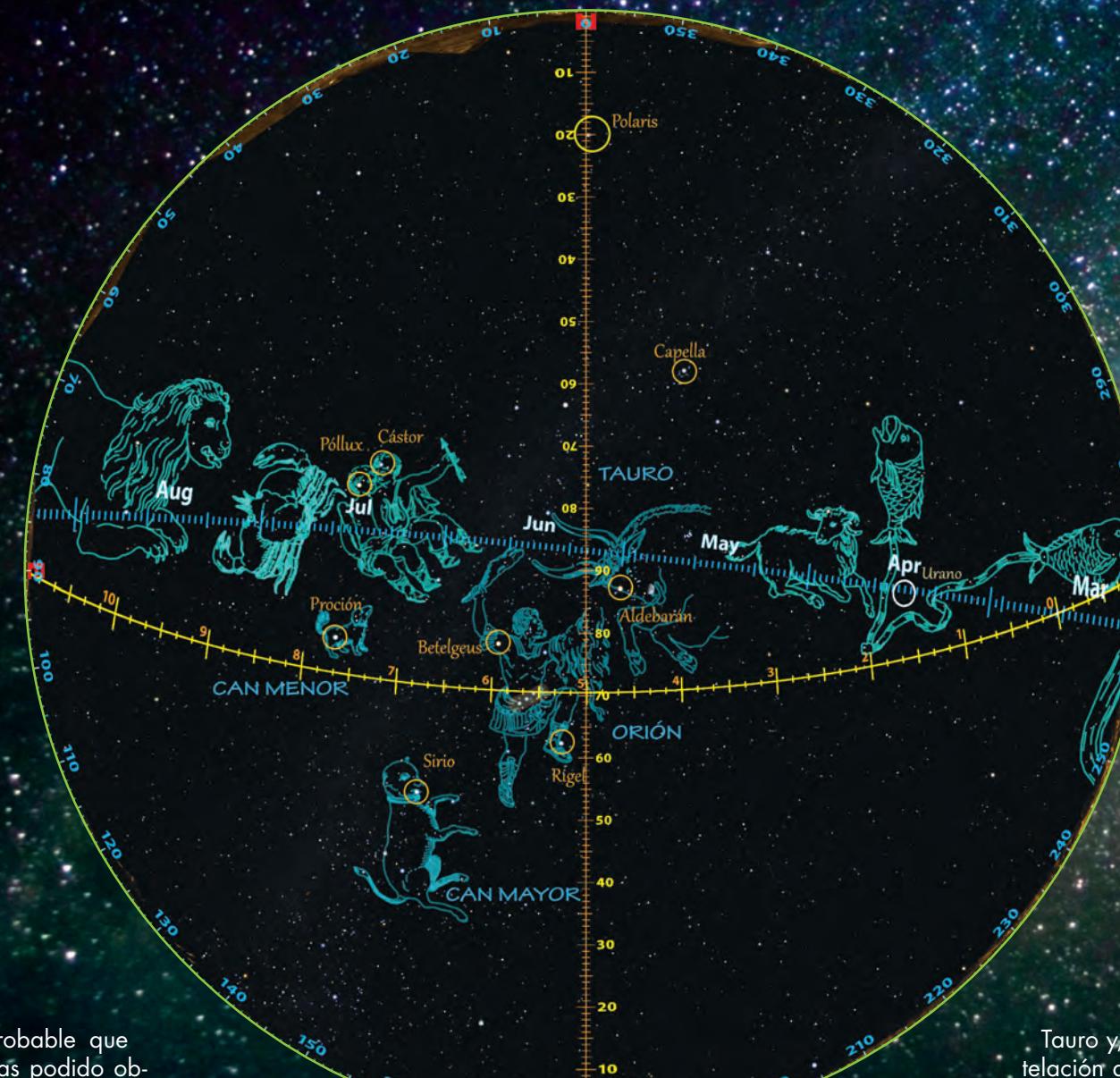
El Museo Tezozómoc está en proceso de reabrir sus puertas, tan pronto como sea posible te invitaremos a visitarnos para que puedas experimentar con nuestras exhibiciones y puedas pedir una demostración de alguno de los efectos de las microondas.

Para cualquier duda, comentario o aclaración, comunicate al correo cantonioli@ipn.mx



Zona PLEE

Yuritzen Solache Ruiz.
Especialista del Planetario
Luis Enrique Erro,
Dirección de Difusión de Ciencia y
Tecnología (DDiCyT),
Instituto Politécnico Nacional (IPN).



Es probable que hayas podido observar las estrellas brillantes del cielo nocturno. En este nuevo año te recomendamos reconocer las estrellas: **Capella**, al norte; en la zona más alta del cielo podrás ver a **Cástor** y **Pólux**, éstas corresponden a la constelación de Géminis; **Proción** de la constelación del Can Menor; **Aldebarán** de la constelación de

Tauro y, de la constelación de Orión, se verán **Betelgeus** y **Rigel** muy brillantes en el cielo nocturno y un poco más al Sur se verá **Sirio**, de la constelación del Can Mayor. Este es un periodo de estrellas vibrantes en las cuales despediremos al invierno y en la próxima emisión conoceremos las estrellas brillantes que darán la bienvenida a la primavera. ▶



Zona PLEE

Ignacio Vega Acevedo
Jefe de Operación del Planetario
Luis Enrique Erro de la Dirección de
Difusión de Ciencia y Tecnología (DDiCyT),
Instituto Politécnico Nacional (IPN).



Para los amantes de Urânia*
Este bimestre tendremos los siguientes eventos:

El cielo de marzo y abril de 2022

Marzo

Día	Hora	Objeto celeste	Evento
2	11:36	Luna	Fase de Luna nueva (novilunio)
3		Venus	Venus alcanza su punto más alto en el cielo matutino
10	4:46	Luna	Fase de cuarto creciente
10	17:03	Luna	Luna en apogeo
12	7:13	Venus y Marte	Conjunción de Venus y Marte
14	5:00	Lluvia de meteoros	Lluvia de meteoros y Nómadas
18	1:17	Luna	Luna llena
20	09:33	Tierra	Equinoccio de primavera
24	23:37	Luna	Luna en cuarto menguante
27	20:54	Luna y Marte	Conjunción de la Luna y Marte
28	5:42	Luna y Saturno	Conjunción de la Luna y Saturno
30	8:36	Luna y Júpiter	Conjunción de la Luna y Júpiter

(Horario para la Ciudad de México)

Abril

Día	Hora	Objeto celeste	Evento
01	00:25	Luna	Luna nueva
04	17:05	Saturno y Marte	Conjunción de Saturno y Marte
09	01:48	Luna	Luna cuarto creciente
16	13:54	Luna	Luna llena
22	01:00	Lluvia de meteoros	Lluvia de meteoros Líridas
23	6:56	Luna	Luna cuarto menguante
24	15:55	Luna y Saturno	Conjunción de la Luna y Saturno
25	17:05	Luna y Marte	Conjunción de la Luna y Marte
27	3:26	Luna y Júpiter	Conjunción de la Luna y Júpiter
29	2:34	Mercurio	Mercurio en su mayor elongación al este
30	15:29	Luna nueva	Luna nueva
30	13:47 a 17:37	Sol	Eclipse parcial de Sol. No visible en la República Mexicana

(*) Según la mitología griega, musa de la astronomía hija de Zeus y de Mnemosine, la memoria.



Secretaría de Investigación y Posgrado



MUSEO
TEZOZÓMOC

conversus



ipn.mx/ddicyt



ESTE PROGRAMA ES PÚBLICO, AJENO A CUALQUIER PARTIDO POLÍTICO. QUEDÁ PROHIBIDO EL USO PARA FINES DISTINTOS A LOS ESTABLECIDOS EN EL PROGRAMA.



GOBIERNO DE
MÉXICO

EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



Instituto Politécnico Nacional
"La Técnica al Servicio de la Patria"