

# SABERE **Y** SIENCIAS

abril 2015 · número 38 año 4 · Suplemento mensual

 **La Jornada**  
de Oriente

## robótica



## Editorial

**Censura presidencial**

La censura a los medios de comunicación de masas es consustancial al ejercicio del poder en México: si no se les puede cooptar con privilegios y prebendas, se les extermina, directa o indirectamente. La acuñada sentencia de José López Portillo de 1982, "no pago para que me peguen" tiene vigencia plena. No existe norma que regule el gasto publicitario de los tres poderes de la Unión y cuando existe algún ordenamiento menor sobre algún aspecto específico, se elude con tecnicismos, como en el caso de Monex en 2012. Tampoco hay transparencia sobre lo ejercido en publicidad, ni por campaña, medio de comunicación o dependencia pública.

El presunto gusto ético de Felipe Calderón Hinojosa fue llevado a la Cámara de Diputados el 4 de febrero de 2011; un día después, Carmen Aristegui fue de las pocas comunicadoras que dio testimonio de este hecho e hizo la pregunta sobre la necesidad de que la Presidencia aclarara sobre el supuesto alcoholismo de Calderón Hinojosa. Por esa trasmisión fue separada de la conducción del programa de radio de MVS en atención a una petición formulada por la Presidencia de la República. Fue recontractada por MVS, y el domingo 15 de marzo fue nuevamente retirada por presiones del Ejecutivo federal. En esta ocasión no fueron los excesos de Calderón, sino el conflicto de interés de Enrique Peña Nieto al no declarar la propiedad de un inmueble de su actual esposa, y no demostrar, con declaraciones patrimoniales y estados bancarios, que adquirió la propiedad del inmueble por medios legales.

Higa es una constructora que goza del favor de Enrique Peña Nieto, ya como gobernador del estado de México o como Presidente de la República, y fue precisamente esa constructora la propietaria de la llamada Casa Blanca y de la casa de campaña electoral (no reportada) ubicada en Las Lomas de la ciudad de México, y la que detenta el actual Secretario de Hacienda y Crédito Público en Malinalco, estado de México. Aristegui publicó el reportaje sobre tales hechos a pesar del exhorto de MVS de no hacerlo, la exhibición pública de esos actos de corrupción molestó a Enrique Peña Nieto y en represalia presionó al concesionario de MVS para que la cesara. No es la primera vez que despiden a Carmen Aristegui por el ejercicio crítico de su profesión, y cada vez retorna con más audiencia y credibilidad: trata temas que otros callan y dice lo que otros piensan pero no se atreven a mencionarlo públicamente.

La discusión pública de los asuntos políticos favorece la democracia, por lo menos así lo creen cuatro de cada cinco ciudadanos; Peña Nieto no piensa así: prefiere que sea la aristocracia política quien detente la soberanía y los mortales vean el partido amistoso de fútbol entre Brasil y México el próximo 7 de junio. Los que así piensan y actúan

fracasaron con Julio Scherer García en 1976 cuando fundó Proceso; volvieron a fracasar con Carlos Payán cuando fundó La Jornada en 1984 y fracasarán por sexta vez cuando Carmen Aristegui nos informe por internet radio. En todos esos casos hay dos activos no ponderados: la credibilidad del medio y la lealtad y estoicismo de sus seguidores.

## Contenido

## 3 Presentación

**Robótica: área clave y estratégica**  
FERNANDO REYES-CORTÉS Y ARTURO ZAVALA RÍO

## 4

**Robots con retroalimentación visual**  
JAIME CID MONJARAZ

## 5

**Nuestros mejores aliados: los robots**  
JOSÉ LUIS VÁZQUEZ GONZÁLEZ

## 6

**Un drone que entregue un paquete podría estar a la vuelta de la esquina**  
JOSÉ M. CARRANZA

## 7

**El valle misterioso**  
ENRIQUE SUCAR

## 8

**No enseñes robótica a los niños**  
DANIEL MOCENCAHUA MORA

## Directorio

SABERE SIENCIAS es un suplemento mensual auspiciado por La Jornada de Oriente

DIRECTORA GENERAL  
Carmen Lira Saade  
DIRECTOR  
Aurelio Fernández Fuentes

CONSEJO EDITORIAL  
Alberto Carramiñana  
Jaime Cid Monjaraz  
Alberto Cordero  
Sergio Cortés Sánchez  
José Espinosa  
Julio Glockner  
Mariana Morales López  
Raúl Mújica

COORDINACIÓN EDITORIAL  
Sergio Cortés Sánchez

REVISIÓN  
Aldo Bonanni  
EDICIÓN  
Denise S. Lucero Mosqueda  
DISEÑO ORIGINAL Y FORMACIÓN  
Elba Leticia Rojas Ruiz

Dirección postal:  
Manuel Lobato 2109, Col. Bella Vista.  
Puebla, Puebla. CP 72530  
Tels: (222) 243 48 21  
237 85 49 F: 2 37 83 00

[www.lajornadadeoriente.com.mx](http://www.lajornadadeoriente.com.mx)  
[www.saberesyciencias.com.mx](http://www.saberesyciencias.com.mx)

AÑO IV · No. 38 · abril 2015

## 9

**Reflexiones sobre las oportunidades de la robótica mexicana**  
JOSÉ EMILIO VARGAS SOTO Y FERNANDO REYES CORTÉS

## 10

**La mano robótica humanoide tan compleja y delicada como la humana**  
ALEJO MOSSO VÁZQUEZ

## 11

**Robots: de la automatización industrial a la realidad virtual**  
CÉSAR ALEJANDRO CHÁVEZ OLIVARES

## 12

**Robótica: la tecnología de la diversión**  
GUSTAVO TRINIDAD RUBÍN LINARES

## 13

**La interacción humano-robot**  
ISELA BONILLA GUTIÉRREZ

## 14

**El uso de robots como apoyo en terapia ocupacional**  
EMILIO J. GONZÁLEZ GALVÁN, UBALDO MARTÍNEZ DELGADO,  
JOEL ABAD PUENTES, FERNANDO REYES CORTÉS,  
DULCE ROCÍO FERNÁNDEZ PÉREZ

## 15

**La robótica y su aplicación en terapias de rehabilitación**  
MARCO OCTAVIO MENDOZA GUTIÉRREZ

**16 y 17 Homo sum**  
**Ilegitimidad presidencial y represión**  
SERGIO CORTÉS SÁNCHEZ

**18 Tekhne Iatriké**  
**Universo imperfecto**  
JOSÉ GABRIEL ÁVILA-RIVERA

**19 Reseña (incompleta) de libros**  
**Historia de las matemáticas en los últimos 10,000 años**  
ALBERTO CORDERO

**20 Tras las huellas de la naturaleza**  
**Sin agua, ¿qué sigue?**  
TANIA SALDAÑA Y CONSTANTINO VILLAR

**21 Año Internacional de la Luz**  
**La inauguración del Observatorio de Rayos Gamma HAWC**  
GUADALUPE RIVERA, MONTSERRAT FLORES, RAÚL MÚJICA

**22 Efemérides**  
**Calendario astronómico abril 2015**  
JOSÉ RAMÓN VALDÉS

**23 A ocho minutos luz**  
**Rosetta y Philae: descifrando jeroglíficos celestes**  
JOSÉ RAMÓN VALDÉS PARRA Y RAÚL MÚJICA GARCÍA

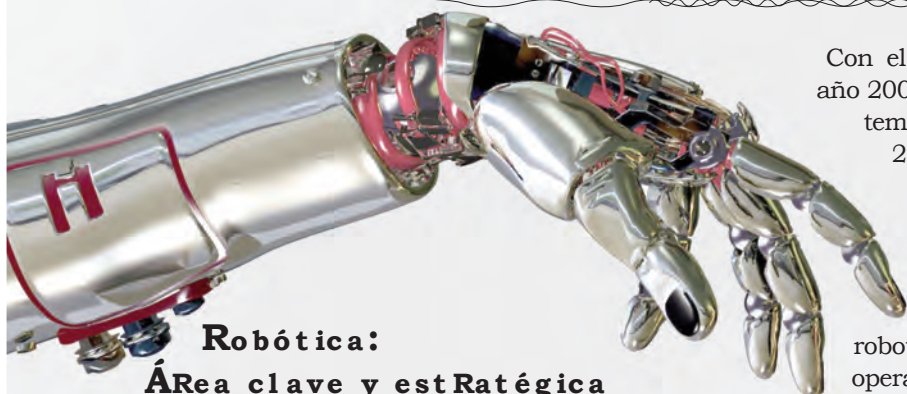
**24 Agenda**  
**Épsilon**

JAIME CID

• Nuestra portada ha sido tomada de <http://2.bp.blogspot.com/-miF6tWcKQ2A/U5UDReboSkI/AAAAAAAAALAI/ZJ8rNboPLQk/s1600/robot3.jpg>



Fernando Reyes-Cortés y Arturo Zavala Río



**Robótica:  
Área clave y estratégica**

Robótica representa un área del conocimiento multidisciplinaria científico-tecnológica que aborda la investigación y desarrollo de robots en todas sus variantes y aplicaciones. Hoy en día se ha posicionado como área clave y estratégica para México, con un amplio espectro de aplicaciones en la industria, ciencia y tecnología. En medicina tiene enormes repercusiones: fisioterapia asistida por robots, quirófanos robotizados, asistencia robotizada a personas con capacidades diferentes. Otras aplicaciones más se encuentran en aspectos de servicios comerciales y doméstico.

Durante los últimos 50 años, la robótica ha incursionado en la industria, centros de investigación, universidades y hospitales. Actualmente existen industrias completamente automatizadas a través de robots, ya que incrementan la productividad y mejoran la calidad. Podemos observar robots de soldadura y pintura para automóviles, robots móviles programados para transportar instrumental quirúrgico en hospitales, para reconocimiento y exploración del espacio y en mantos acuíferos, limpieza del hogar, etcétera. No obstante, el área de estudio y desarrollo de dispositivos robóticos es joven y en constante crecimiento.

La robótica es una disciplina científica multidisciplinaria que aborda la investigación y el desarrollo de una clase particular de sistemas mecánicos denominados robots, los cuales llevan a cabo una amplia variedad de aplicaciones industriales, científicas, domésticas y comerciales. Históricamente, el término robot proviene de la palabra checa *robota*, que significa trabajo; fue introducido en nuestro vocabulario por el dramaturgo Karel Capek en 1921 en su novela satírica *Rossum's Universal Robots*, donde describe al robot como una máquina con apariencia humana que sustituye a los seres humanos para ejecutar tareas sin descanso; sin embargo, los robots se vuelven contra sus creadores tratando de conquistar a la raza humana. Esta novela tuvo gran éxito y fue puesta en escena en las ciudades de Praga, París, Londres y Nueva York (la versión moderna de la obra de Capek es la película *Yo, robot*). Desde entonces, a los sistemas mecánicos que operan con algún grado de libertad se les conoce como robots.

Los robots representan nuevas fronteras para el desarrollo y bienestar de la sociedad. Son sinónimo de modernización tecnológica y han representado un factor clave en la economía mundial.

La naturaleza multidisciplinaria de la robótica permite involucrar áreas de las ciencias exactas (física y matemáticas) e ingenierías tales como electrónica, computación, control automático e inteligencia artificial, entre otras más (ver figura 1). Sin embargo, a pesar de que la robótica es de naturaleza experimental, sustenta sus resultados con estricto rigor científico.

Con el cambio de milenio, desde el año 2000 se ha tenido de manera sistemática un crecimiento anual de 25 mil robots. Los principales países usuarios de robots son Estados Unidos, Japón, Alemania, Italia, Francia y China. Tan solo en el año 2008, más de un millón de robots industriales se encontraban operando en todo el mundo.

El incremento de robots en las industrias fue de 20 por ciento año con año en el periodo de 2001 a 2005. Esta tasa de crecimiento se redujo a 3 por ciento en los años 2006 a 2007 y fue menor a 3 por ciento en 2008, donde prácticamente se detuvo la inversión en robótica; debido a la reciente crisis financiera internacional, la cual llevó a una crisis global económica. Sin embargo, desde 2010 inicia la recuperación económica mundial y con ello el incremento notable de los robots en todas las aplicaciones cotidianas.

Las principales empresas de productos y servicios del mundo tienen automatizadas sus líneas de producción a través de robots manipuladores; esto es por estrategia. Los robots como herramientas de automatización incrementan no sólo la productividad, también la calidad del servicio, haciendo que la empresa sea rentable, sustentable y competitiva en contraste con aquéllas que no tienen robots.

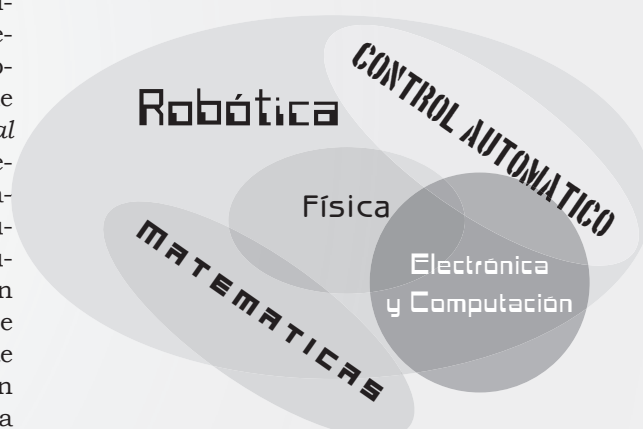
Las líneas de generación y aplicación de conocimiento sobre la robótica involucran: análisis y diseño de esquemas de control de movimiento, desarrollo de ambientes de programación, planificación de trayectorias, inteligencia artificial, sensores, *visual servoing*, coordinación, teleoperación, fuerza/impedancia, realidad virtual, medicina, juegos y simuladores, agricultura, operaciones espaciales, manufactura. Como parte de los resultados de los estudios teórico-prácticos de la robótica, su aplicación en medicina juega un papel destacado, ya que se convierte en una eficiente herramienta que permite incrementar la seguridad y exactitud en la ejecución de cirugías de alto riesgo. Por ejemplo, utilizando la técnica de terapia asistida por computadora (CAT), la robótica no solo permite mejorar la exactitud de cortes quirúrgicos, también aprovecha la experiencia y conocimiento de los cirujanos que, por razones de

la edad, han perdido la habilidad y destreza que requieren dichas operaciones quirúrgicas (ver figura 2). De esta forma, un especialista recupera sus aptitudes a través del uso de la tecnología robótica para salvar vidas humanas.

Desde hace varios años se han estado empleando robots manipuladores en cirugías de alto riesgo, como por ejemplo: operaciones de los ojos, cirugías a corazón abierto, o en situaciones mucho más complejas como retirar agua del cerebro (hidrocefalia). La robótica ha revolucionado la forma de realizar cirugías complicadas. La automatización de quirófanos a través de robots garantiza mayores posibilidades de éxito en las cirugías complicadas, evitando errores humanos por cansancio o fatiga, brindando al especialista un instrumental de alta precisión y esperanza de vida a los pacientes.

La robótica coadyuva a proporcionar bienestar a la sociedad. Los robots pueden realizar aplicaciones de alto impacto para los seres humanos; por ejemplo, la fisioterapia asistida por robótica donde el paciente recobra con mayor facilidad la movilidad de sus extremidades, con eficiencia y el tiempo de recuperación es menor. Particularmente, para un cierto sector de nuestra sociedad, los robots pueden ayudar a mejorar la calidad de vida de personas discapacitadas que no pueden valerse por sí mismas.

En otras palabras, los robots se han vuelto asistentes importantes que pueden ayudar a las personas a realizar sus actividades vitales, y por lo tanto, a mejor su calidad de vida.



• Figura 1: Robótica, área científica multidisciplinaria



• Figura 2: Quirófano robotizado (robot da Vinci)

Jaime Cid Monjaraz

# Robots con retroalimentación visual

Un subconjunto de la Mecatrónica es la Robótica, que es un área multidisciplinaria que aborda la investigación, análisis y diseño de una clase particular de sistemas mecánicos denominados robots, los cuales representan retos teóricos debido a su naturaleza multivariable, dinámica no lineal y acoplada.

De acuerdo con la definición ampliamente aceptada del Instituto de Robótica de América, un robot es un manipulador multifuncional reprogramable diseñado para mover materiales, partes, herramientas o dispositivos especializados a través de movimientos variables programados para el desempeño de una variedad de tareas.

Tal definición, que data de 1980, refleja en cierto modo el estado actual de la tecnología en robótica [1]. En nuestros días se cuenta con varias definiciones de robots manipuladores industriales, de acuerdo con la definición adoptada por la Federación Internacional de Robótica bajo la norma ISO/TR 8373, se define de la siguiente manera: "Un robot manipulador es una máquina manipuladora con varios grados de libertad controlada automáticamente, reprogramable y de múltiples usos, pudiendo estar en un lugar fijo o móvil para su empleo en aplicaciones industriales" [2].

El concepto robot fue introducido por el escritor checoslovaco Karel Capek en su novela satírica *Rossum's Universal Robots*, en 1921. Fue en la década de los 40's cuando el ruso Isaac Asimov introdujo el término robótica para designar a la ciencia dedicada al estudio de robots, la cual está basada en tres leyes fundamentales [1]:

1. Un robot no puede dañar a un ser humano o, por inacción, permitir que un ser humano resulte dañado.

2. Un robot deberá obedecer las órdenes dadas por seres humanos, excepto cuando tales órdenes entren en conflicto con la primera ley.

3. Un robot deberá proteger su propia existencia, en tanto dicha protección no entre en conflicto con la primera o segunda ley.

En su novela titulada *Robots e Imperio*, publicada en 1985, Isaac Asimov incorporó una cuarta ley, conocida como la ley cero: un robot no puede lastimar a la humanidad o, por falta de acción, permitir que la humanidad sufra daño. Esta ley de mayor prioridad que la primera, antepone el bien comunitario al individual.

La búsqueda de la autonomía ha sido un objetivo fundamental en la robótica.

Durante años se ha tratado de que los robots estén dotados de capacidades de percepción y actuación autónomas, sin la intervención de los humanos. Los robots industriales actuales son capaces de realizar autónomamente numerosas operaciones en procesos de fabricación, ejecutando programas que permiten realizar movimientos variados en operaciones repetitivas realizadas en entornos estructurados y acondicionados para su funcionamiento. Sin embargo, la actuación de robots en entornos naturales no acondicionados y con dinámicas no predecibles requiere funciones de interacción con el entorno y capacidades de deliberación mucho más complejas [3].



• Portada del libro *Robots and Empire*, de Isaac Asimov

Un componente importante de un sistema robótico es la adquisición, procesamiento e interpretación de la información provista por los sensores. Esta información es utilizada para derivar las señales de control para manejar un robot. La información acerca del sistema y su ambiente puede obtenerse a través de una gran variedad de sensores, tales como posición, velocidad, fuerza, tacto o visión.

El problema del posicionamiento de los robots manipuladores que usan la información visual ha sido un área de investigación en los últimos 30 años. En los años recientes la atención a este tópico tiene un interés creciente. La información con retroalimentación visual puede resolver muchos problemas que limitan aplicaciones de robots actuales: la exploración en alta profundidad, conducción automática, la robótica médica, los robots aéreos, etcétera,

*Visual servoing* hace referencia a un sistema en lazo cerrado para el control de posición del extremo final de un robot usando directamente la retroalimentación visual [4]. Este término se introdujo por Hill y Park [5] en 1979. Representa una solución atractiva para posicionar y mover robots manipuladores autónomos que evolucionan en los ambientes no estructurados.

En *visual servoing* de Weiss [6] y William [7] ha clasificado dos clases de control en base a visión para el robot: el de retroalimentación visual basada en posición y el de imagen. Dentro de las características de este último se extraen las características principales de la imagen y se estima la posición del blanco con respecto a la cámara. Usando estos valores se crea una señal de error entre la posición actual y la posición deseada del robot dentro del espacio de trabajo; mientras la última señal de error es definida directamente por los rasgos principales de la imagen para controlar el extremo final del robot. En ambas clases

de métodos se trazan los puntos del objeto hacia el plano de imagen de la cámara y de estos puntos, por ejemplo una clase particularmente útil de rasgos de la imagen es el centroide usado para el control del robot [8] [9] [10] [11].

En la configuración entre la cámara y robot, puede tenerse como cámara fija o cámara en mano. Los sistemas robóticos de cámara-fija tienen un sistema de visión fijo en el marco de las coordenadas general donde capturan imágenes del robot y su ambiente. El objetivo del control es mover el extremo final del robot de tal manera que alcance un punto deseado. En la configuración de la cámara-en-mano, a menudo llamada también ojo-en-mano, generalmente una cámara está montada en el extremo final del robot, proporcionando información visual del ambiente. En esta configuración, el objetivo del control es mover el efector-final del robot de tal manera que la proyección del blanco estático siempre esté en una situación deseada en la imagen dado por la cámara.

Al problema general de control se le denomina control de posición; este planteamiento es particularmente relevante cuando en el lazo de retroalimentación se incluye una señal de video o imágenes, al cual existen problemas abiertos y de interés en la comunidad científica. Desde que los primeros sistemas de *visual servoing* se reportaron éstos han ido en aumento y en los últimos años se incrementaron también los trabajos publicados. ❧

[jcid@ece.buap.mx](mailto:jcid@ece.buap.mx) ✉

## Bibliografía

- [1] Sciavicco L., Siciliano B., 2001, *Modelling and Control of Robot Manipulators*. 2nd ed., Springer-Verlag, London.
- [2] Kelly R. Santibáñez V., 2003, *Control de Movimiento de Robots Manipuladores*, Prentice Hall.
- [3] Gómez de Gabriel, Jesús Manuel, Aníbal Ollero Baturone, 2006, *Teleoperación y Telerrobótica*, Prentice Hall.
- [4] Hutchinson S., G. D. Hager and P. I. Corke, 1996, "A Tutorial on Visual Servo Control". *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, Vol. 12, No. 5, October, pp. 651-670.
- [5] Hill J. and W. T. Park, 1979, "Real Time Control of a Robot with a Mobile Camera". in Proc. 9th ISIR, Washington, D.C., Mar. pp. 233-246.
- [6] Weiss L. E., A. C. Sanderson, and C. P. Neuman, 1987, "Dynamic sensor-based control of robots with visual feedback" in *IEEE Journal of Robot. Automat.*, vol. RA-3, pp. 404-417, Oct.
- [7] Wilson W. J., C. C. Williams, and Graham S. B. 1996, "Relative End-Effector Control Using Cartesian Position Based Visual Servoing". *IEEE Transactions on Robotics and Automation*. vol. 12 No. 5, pp. 684-696. October.
- [8] Kelly R., P. Shirkey and M. W. Spong, 1996, "Fixed-Camera Visual Servo Control for Planar Robots". *IEEE International Conference on Robotics and Automation*. Minneapolis, Minnesota, April, pp. 2643-2649.
- [9] Reyes F. 2011, *Libro de Robótica Control de Robots Manipuladores*. Ed Alfaomega.
- [10] Reyes F., Cid J. Vargas E., 2013, *Libro de Mecatrónica Control y Automatización*, ISBN-10: 6077075485, ISBN-13: 978-607-707-548-6 Editado por Alfaomega. Mayo.
- [11] Reyes F., Cid J., 2015, *Libro de Arduino. Aplicaciones en Robótica y Mecatrónica*, ISBN: 978-607-622-193-8 Editado por Alfaomega Grupo Editor. Enero.

José Luis Vázquez González

## Nuestros mejores aliados: los robots

Al inicio del siglo XX los robots fueron concebidos, en el ámbito artístico, como parte de una obra de teatro del autor Karel Capek, donde estos personajes se encargaban de realizar el trabajo de forma perfecta, como siervos obedientes e incansables; justamente fue Capek quien utilizó la palabra *robota*, de origen checo, y que significa siervo. Más tarde, Isaac Asimov retoma el concepto, utilizando la palabra Robot, e incorpora estos personajes en sus novelas y más aún: formula las tres leyes de la robótica que establecen la obediencia de los robots y la importancia de que estos sistemas preserven la vida humana. La importancia y claridad de estas leyes es tal que, ahora que los robots se han vuelto una realidad, son las que rigen y seguirán rigiendo el comportamiento de los sistemas robóticos.

Por lo anterior, no es claro si fue la visión futurista de escritores como Asimov y Capek la que impulsó la creación y diseño de los robots o quizás fue la evolución tecnológica que demandaba una mayor productividad y mejor calidad, o probablemente fue una mezcla de ambas, pero lo que sí es claro es que los robots incursionaron en la industria a finales de 1960, y revolucionaron la forma de generar productos, caso específico de los vehículos, y su impacto fue notorio: en el número de productos, en la calidad de los productos, en el tiempo de desarrollo, en la minimización de fallas, etcétera. Los robots industriales surgieron como la herramienta apropiada para sustituir al trabajador humano en aquellas tareas donde el desempeño del hombre disminuía a lo largo de la jornada de trabajo, por cansancio, o en aquellos ambientes donde la seguridad del humano se veía comprometida.

En las últimas décadas del siglo XX la industria se benefició de la participación de los robots en sus procesos, y el uso de estos sistemas impulsó la creación y fabricación de nuevos productos, mismos que han

acelerado el desarrollo económico de los distintos sectores (comunicaciones, transporte, entretenimiento, etcétera) y los resultados han sido tan favorables que es por esa razón que los investigadores han enfocado sus esfuerzos en mejorar los primeros robots e incorporarles cada vez con más herramientas y estrategias que les permitan un mejor funcionamiento.

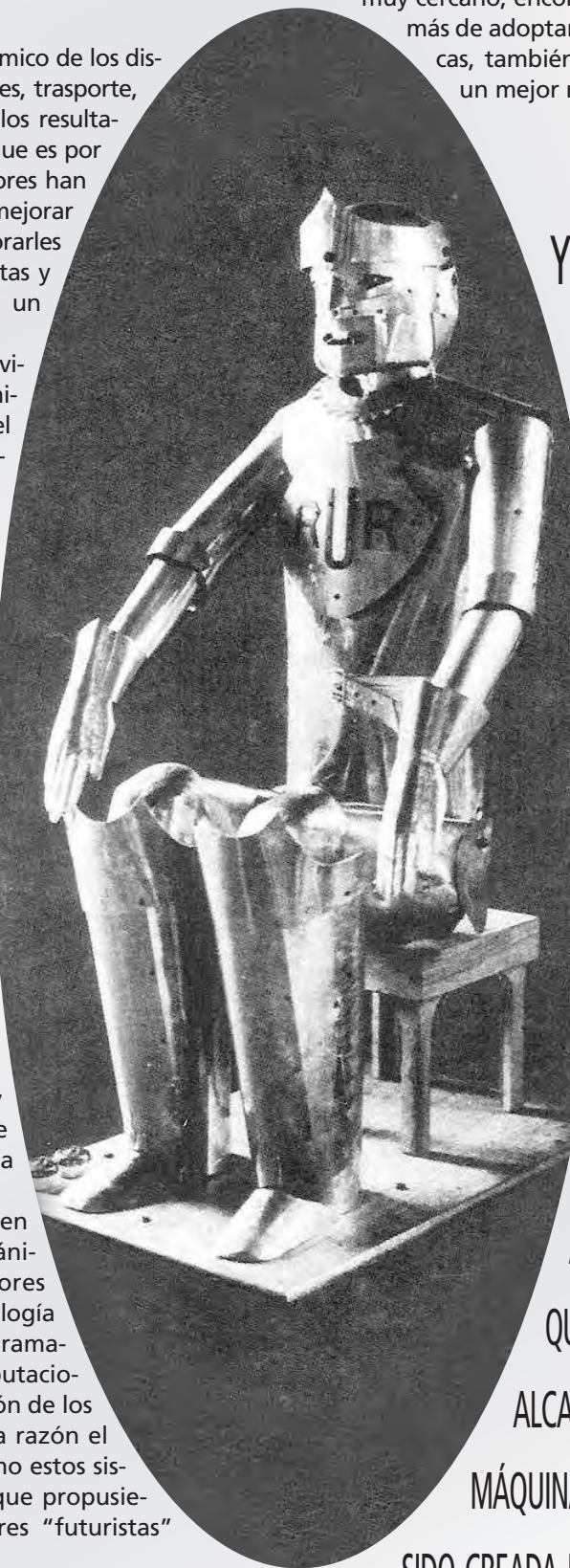
Del mismo modo, la creatividad de los ingenieros ha permitido que los robots salgan del ámbito industrial y que incurrieren en otros sectores, como lo son las oficinas, las calles, los hospitales, etcétera, donde un sistema robótico se convierte en un excelente aliado del ser humano para generar un mayor confort en la vida diaria (robots de servicio), mayor seguridad (robots exploradores), brindar cuidados y apoyar diagnósticos (robots médicos).

Las nuevas generaciones han crecido, y continuarán creciendo, rodeados por los sistemas robóticos, y para ellos es natural convivir y aprovecharlos al máximo; los robots han dejado de ser estáticos y han adquirido distintas formas y funcionalidades y por eso se han vuelto parte integral del desarrollo de la humanidad.

Los avances tecnológicos en las áreas de ingeniería mecánica, en sensores y actuadores electrónicos, en la nanotecnología de materiales y en la programación de los dispositivos computacionales potenciarán la evolución de los sistemas robóticos, y por esa razón el siglo XXI será testigo de cómo estos sistemas alcanzan los niveles que propusieron los directores y escritores "futuristas" del siglo XX.

Los robots, que por definición son sistemas programables que pueden manipular objetos y realizar operaciones, seguirán siendo parte de nuestro entorno, y su uso liberará al ser humano de aquellas tareas donde, por nuestra naturaleza, el desempeño es inversamente proporcional al tiempo dedicado o donde nuestra integridad corre riesgos. Y el uso de estos sistemas nos dará la oportunidad, como seres humanos, de enfocar nuestros esfuerzos en tareas donde nuestras capacidades de razonamiento alcanzan niveles que difícilmente serán alcanzados por una máquina que ha sido creada por nosotros mismos.

El reto ahora es diseñar la próxima generación de robots, aquellos que resuelvan las necesidades que enfrentamos y que surgen por nuestra propia evolución; no nos extrañemos de que, en un futuro muy cercano, encontremos robots que, además de adoptar distintas formas biológicas, también nos ayuden a construir un mejor mundo. *es*



Y EL USO DE ESTOS SISTEMAS NOS DARÁ LA OPORTUNIDAD, COMO SERES HUMANOS, DE ENFOCAR NUESTROS ESFUERZOS EN TAREAS DONDE NUESTRAS CAPACIDADES DE RAZONAMIENTO ALCANZAN NIVELES QUE DIFÍCILMENTE SERÁN ALCANZADOS POR UNA MÁQUINA QUE HA SIDO CREADA POR NOSOTROS MISMOS



• *RUR* (Robots Universales Rossum), obra teatral de Karel Capek. Imágenes tomadas de <https://dimartblog.files.wordpress.com/2013/12/rur-capek-1920.jpg> y <http://robotics.cs.tamu.edu/dshell/>

josel.vazquez@udlap.mx ✉

José M. Carranza

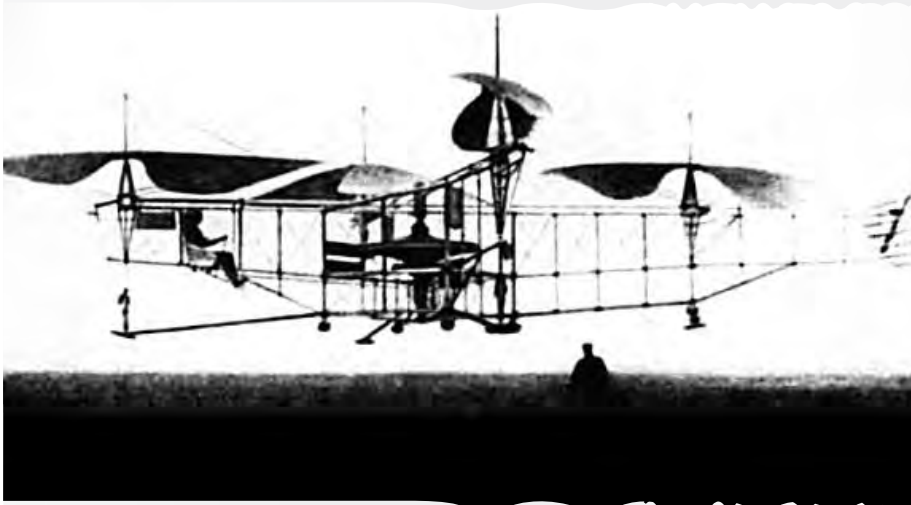
No se qué es lo que me sorprende más: encontrarme con personas que creen que algún día la compañía Amazon logrará hacer entregas a domicilio, a través de un pequeño vehículo aéreo no tripulado (UAV por sus siglas en inglés: Unmanned Aerial Vehicle), que vuele de manera autónoma y que haga una entrega en 30 minutos, o bien encontrarme con gente que no lo cree, que afirma que se trata únicamente de un truco publicitario y que falta todavía mucho para que podamos ver el primer UAV que pueda hacer alguna entrega a la puerta del hogar.

No intento unirme al equipo publicitario de Amazon, y puede que yo tenga cierto sesgo, dada mi

## Un drone que entregue un paquete podría estar a la vuelta de la esquina

inteligente o *smartphone*; la Internet y todos los productos y servicios impulsado por ésta, tales como el correo electrónico, las redes sociales, wikipedia, video llamadas y muchas más; el auto eléctrico de Tesla; el auto que se maneja solo de Google, y muchos otros productos y avances tecnológicos que tan solo 20 años atrás se consideraban posibles únicamente en la ciencia ficción.

Pero dejando de lado la ciencia ficción, lo cierto es que hoy, en 2015, y desde hace ya algunos años, existen diversas aplicaciones positivas y tangibles de UAVs, algunos piloteados remotamente y otros mediante vuelo autónomo. Por ejemplo: en arqueología, donde



formación académica/tecnológica, lo cual me motiva a unirme al grupo de creyentes del programa Amazon Primer Air. No obstante, dejando de lado mi experiencia profesional y mirando alrededor, Amazon no es la única compañía que está intentando acortar la distancia entre el futuro y nuestro presente. Ya desde 2011 la compañía Matternet, una empresa surgida de los parques de Silicon Valley, comenzó con la idea visionaria de utilizar UAVs para transportar bienes con peso de hasta 1 kilogramo, que puedan volar una distancia de hasta 20 kilómetros, y más aún, que puedan aterrizar en estaciones donde las baterías del vehículo puedan ser recargadas para así poder reiniciar el vuelo. Se espera que este año Matternet anuncie el lanzamiento oficial de su primer UAV bajo este esquema, mismo que está imponiendo la pauta en cuanto al desarrollo tecnológico y científico de UAVs para entrega de bienes.

Los gigantes comerciales no se han quedado atrás en cuanto al desarrollo de UAVs que vuelen de manera autónoma para entregar paquetes. Google se ha unido a la carrera con su programa "Wing Project". DHL lo ha hecho en Europa con su "DHL parcelcopter" y otras compañías como UPS o Fedex, aunque con un poco más de reserva, han declarado que también se encuentran analizando la posibilidad de utilizar UAVs para realizar entregas. Por supuesto, parodias del concepto han surgido, tales como el "DomiCopter" de Domino's Pizza para entregar Pizza, o el "TacoCopter" para entregar tacos, creado por un ex estudiante del Massachusetts Institute of Technology en Estados Unidos (EU).

Sin embargo, y en esto estoy especulando, tal vez el escepticismo surja como un mecanismo de defensa ante los sentimientos negativos que se provocan cuando uno escucha noticias sensacionalistas acerca del uso de los UAVs en la guerra. Sobre todo en los últimos años de gobierno del presidente Barack Obama, en EU, pues ahora se sabe que su gobierno ha autoriza-

do el uso de "Drones" (otro nombre para UAVs) para bombardeos en diferentes guerras en medio oriente, para la vigilancia de fronteras americanas y para espionaje. Y es que la imaginación de la población no solo se alimenta de este tipo de noticias negativas, también se recibe una buena dosis de ideas catastróficas por parte de Hollywood y sus películas, en las que constantemente se nos narra que las máquinas enloquecen e intentan dominar al mundo. No sorprendería, por tanto, que al recibir noticias del potencial militar de los UAVs, uno se torne fatalista y espere lo peor si dicha tecnología falla o cae en malas manos.

La realidad es que la opinión negativa o incrédula de la población no es el único reto al que se enfrentan aquellos que trabajan en el desarrollo de aplicaciones que utilicen UAVs. Existe también el reto de garantizar la seguridad física de los UAVs (podrían cazarlos como cazan a las aves), y como si tener que cuidar la integridad física de un drone no fuera suficiente problema, también existen serios retos legales. Por ejemplo, y hablando de aves por cierto, un estudio publicado este año en *Biology Letters* ha encontrado que 80 por ciento de las aves muestra desconcierto cuando descubren que son observadas mediante UAVs que merodean cerca; por ello, los autores del estudio invitan a crear regulaciones para el uso de UAVs en la observación de animales en su hábitat natural. Y en cuanto a regulaciones se refiere, y anticipándose al auge comercial de los UAVs en aplicaciones civiles, varios gobiernos y entidades privadas han gestionado y cabildeado la creación de regulaciones que restrinjan el uso de UAVs en áreas civiles. En algunos países incluso se ha prohibido que UAVs equipados con cámaras vuelen cerca de áreas residenciales con el fin de proteger la privacidad de los residentes.

Pese a lo anterior, yo soy optimista. Creo que a lo largo de nuestra historia hemos sido testigos una y otra vez de avances tecnológicos que se pensaban imposibles o lejanos en el tiempo: el teléfono móvil

se utilizan para exploración de ruinas; en agricultura, para la exploración e inspección de cultivos; en la industria, donde se utilizan para la inspección de torres, tuberías, plataformas, puentes, etcétera; en el cine y actos sociales, para la filmación y fotografía aérea; en las zonas de desastre, donde se utilizan UAVs para evaluación y reconocimiento visual del aérea, y recientemente se ha lanzado al mercado un pequeño UAV controlado con el *smartphone* para tomar *selfies*.

Como muchas de las cosas que han cambiando en este mundo, el temor a la tecnología o la incredulidad de su realización cambiará únicamente a través de informar y comunicar de manera positiva las virtudes y beneficios de la misma, y por esto mismo creo que lo que hace Amazon junto con otras empresas es valioso, ya que contribuye al debate que exige tener una opinión informada.

Justamente hablando de información, y como dato curioso, en la Wikipedia nos dejan saber que el concepto de UAV o drone es casi tan viejo como el primer cuadricóptero, el cual tuvo su concepción desde 1920. Casi un siglo después existen cuadricópteros no tripulados que llegan a medir menos de un metro, y que pueden volar de manera autónoma utilizando GPS.

Lo cierto es que con las varias aplicaciones de UAVs que existen hoy en día (y que continúan en aumento), con el entusiasmo de científicos y tecnólogos, y con la ayuda de las tecnologías emergentes, me inclino a creer que la entrega de paquetes al hogar por medio de UAVs autónomos no está muy lejos de ser realidad, tal vez, como dirían por ahí, podría estar a la vuelta de la esquina. ☺

**más información**

<http://ccc.inaoep.mx/~carranza/>



carranza@inaoep.mx ✉

Enrique Suar

## El valle misterioso

En general la apariencia de las máquinas no es tan relevante; lo que más nos importa es que realicen bien su función. Por ejemplo, si pensamos en un robot industrial en una planta de manufactura de automóviles, lo importante es que el robot realice su tarea, como soldar o pintar un carro, de la mejor manera y en forma eficiente. Pero hay otra clase de robots, conocidos como robots de servicio, donde la apariencia sí es importante, en particular para aquellos que interactúan con las personas.

Los robots de servicio son aquellos diseñados para ayudar a las personas en diversas actividades. Algunos robots de servicio que realizan actividades sencillas, como aspirar la casa o cortar el césped, ya son productos comerciales en la actualidad. Hay algunos más sofisticados que empiezan a aparecer en el mercado, como robots recepcionistas o robots guía en exhibiciones. Otros están aún en los laboratorios de diversas universidades y centros de investigación en el mundo, como robots que auxilien a personas discapacitadas o de la tercera edad, robots que ayuden en situaciones de desastre o robots ayudantes en hospitales. Algo que tienen en común muchos de los robots de servicio es que deben interactuar con las personas a las que apoyan.

Si un robot va a interactuar con una persona, su apariencia física empieza a ser relevante; por ejemplo, un brazo robótico industrial de gran tamaño puede ser intimidante para el usuario no experto. Al iniciarse el desarrollo de los robots de servicio se pensó que si su apariencia era parecida a la de una persona sería más atractivo y fácil para interactuar para la mayoría de la gente, en especial para personas no expertas en robótica. Sin embargo, una muy interesante investigación de un profesor japonés demostró que no necesariamente mayor parecido a una persona es mejor.

Masahiro Mori analizó qué tan atractivo es un robot a las personas mientras más se va pareciendo a un humano. A partir de sus estudios, obtuvo una relación entre el "parecido a una persona" de un robot, y su "atractivo" o respuesta emocional de las personas. Esta relación la podemos representar con una gráfica donde el eje horizontal representa qué tan parecido es el robot a una persona, y el eje vertical qué tan atractivo es (ver figura). Lo que observamos es que al principio mientras más se va apareciendo el robot a una persona, va aumentando su "atracción", pero llega un momento en que de repente cae fuertemente la percepción de atractivo, para finalmente volver a subir al final. A este fenómeno se le conoce en inglés como el "uncanny valley"; ¡que es una especie de valle de la muerte!

¿A qué se debe este fenómeno? Podemos imaginarnos que al inicio de la gráfica (del lado izquierdo) el robot tiene cierta forma humanoide, pero no tiene una cara como una persona; este tipo de robots no son muy atractivos pero tampoco nos disgustan. Mientras vamos avanzando en la gráfica hacia la derecha, podemos pensar en un robot con una cara en forma muy sencilla, como la de los personajes de caricatura y una "carita feliz". Estos robots empiezan a ser más atractivos, en forma análoga a como los personajes de caricatura son en general atractivos para todos, en particular a los niños. Si continuamos haciendo el robot más parecido a una persona, pero todavía no es exactamente igual, entonces caemos en el "valle misterioso". Lo que pasa en este caso es que el robot puede tener una apariencia parecida a un

monstruo, a un ente deforme como *Frankenstein*, y es por ello que causa repulsión.

Existen varias hipótesis científicas que tratan de explicar este fenómeno. Se piensa que en parte puede deberse a que este tipo de apariencias evocan a la muerte o situaciones de guerra, con personas heridas o desfiguradas. Otra explicación es que esto se deba a un proceso evolutivo que evita apariencias que indiquen fuentes de patógenos, generando este fenómeno de repulsión. El efecto se presenta tanto al ver al robot estático, como en una foto, o al robot en movimiento.

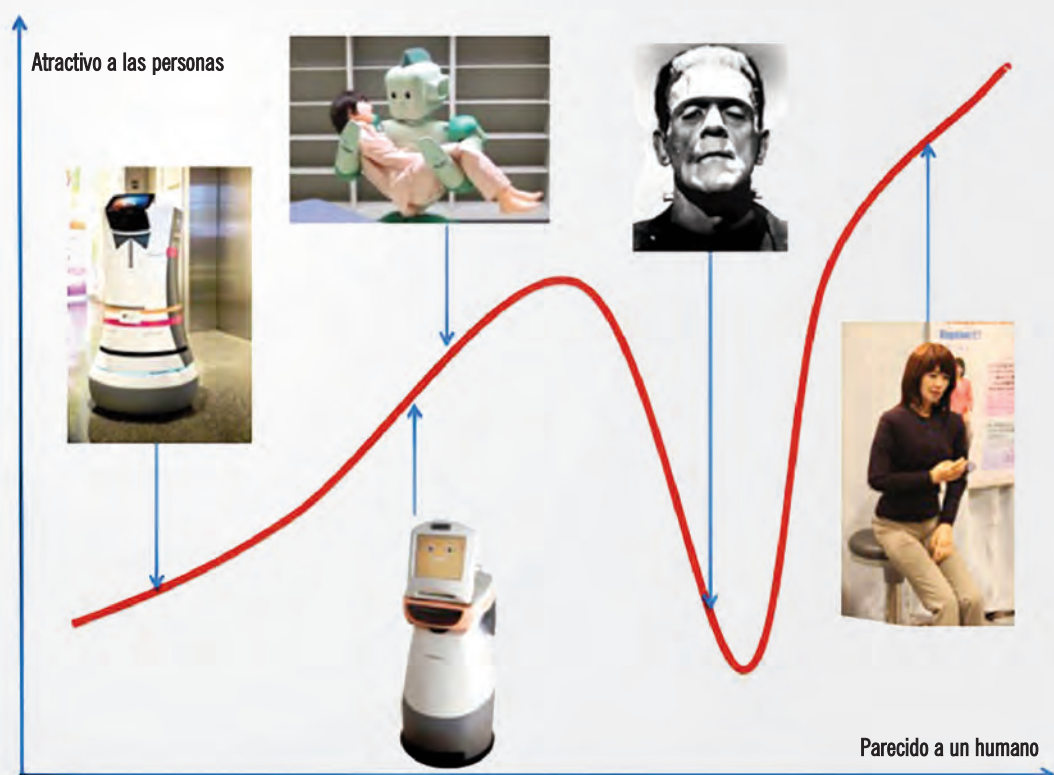
Una vez que el robot se parece suficientemente a una persona, se supera el valle misterioso y su apariencia deja de ser repulsiva, incluso con una mayor atracción que los robots no tan parecidos a un humano que están antes del valle.

Este estudio nos deja un mensaje importante a los diseñadores de robots de servicio. A menos de que logremos que el robot tenga una apariencia muy cercana a la de una persona, es mejor un diseño caricaturesco, con ciertas características humanoideas, pero sin parecerse mucho a una persona. En general la mayoría de los robots de servicio actuales siguen este principio, teniendo una apariencia más "robótica" que humana. Hay algunas contadas

Los ademanes sirven como un complemento a la voz, en particular para ambientes ruidosos donde puede ser difícil entender lo que dice la persona para el robot. También son útiles para comunicar cierta información, como por ejemplo apuntando con la mano: "ve para allá", "tráeme ese objeto".

Finalmente, se ha visto que considerar ciertos aspectos emotivos o afectivos es también importante para una mejor comunicación humano-robot. Por ejemplo, el robot puede tratar de reconocer el estado afectivo de la persona con que interactúa y modular su respuesta de acuerdo a dicho estado. También se puede hacer en sentido inverso, que el robot simule ciertas emociones para hacer más efectiva la comunicación. Por ejemplo, un robot que sirva de guía en un museo y detecta que está rodeado por personas y no puede moverse para seguir el recorrido podría simular una cara de tristeza, dando el mensaje a las personas de alejarse para que pueda continuar su tarea.

En el futuro los robots de servicio van a ser tan comunes como las computadoras actualmente; seguramente tendremos varios robots en la casa, ayudándonos en diversas tareas. Así que cuando te encuentres con un robot en tu camino, obsérvalo con cuidado para ver si no ha caído en el valle misterioso! ☺



excepciones, como la de un robot japonés muy parecido a su diseñador.

La apariencia física es uno de los factores relevantes para la interacción humano-robot, pero no es el único. Otro aspecto de interés es que el robot logre comunicarse con las personas en forma natural, tanto para recibir comandos como para dar información. Esto implica utilizar las formas de comunicación más comunes entre nosotros, como son la voz y los ademanes. Actualmente muchos de los robots de servicio en desarrollo integran capacidades de entender comandos por voz en "lenguaje natural" (español, inglés, etcétera) y también de responder en forma similar utilizando lo que se conoce como síntesis de voz.

La comunicación mediante ademanes también es relevante para la interacción con robots de servicio.

• La gráfica muestra la relación entre el nivel de parecido a un humano (eje horizontal) vs qué tan atractivo es una persona (eje vertical) de un robot de servicio. Observamos cómo va aumentando el "atractivo" con el parecido al humano, hasta que de pronto cae en un valle; este es el "valle misterioso" (*uncanny valley*). Se muestran varios robots representativos en diferentes partes de la gráfica, y una imagen "repulsiva" en el valle.

### Bibliografía

Mori, M. 1970/2012. The uncanny valley (K. F. MacDorman & N. Kageki, Trans.). *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 19(2), 98–100. Ver también: <http://spectrum.ieee.org/automation/robotics/humanoids/an-uncanny-mind-masahiro-mori-on-the-uncanny-valley>

Daniel Mocenchua Mora

## No enseñes robótica a los niños



Actualmente está de moda en las escuelas y con los padres de familia que los niños tomen cursos de robótica. Se les enseña cómo se construye un robot, las partes del mismo e inclusive se resalta la importancia de las ciencias en esta disciplina. No en vano se dice que el lenguaje de los robots son las matemáticas, y que sin física no se pueden calcular sus movimientos, y así se va entendiendo cómo esta disciplina es multidisciplinar. Pero lo que no he visto en ninguno de estos talleres es una reflexión acerca de las relaciones de los humanos con los robots y los futuros posibles a partir de la forma en cómo actuemos con ellos.

En la película de Olivier Peyon, *Comment j'ai détesté les maths* (Cómo odiaba las matemáticas, 2014), se describe cómo los matemáticos empezaron a descomponer en pasos más simples los procesos complicados de las matemáticas, tan simples que hasta una máquina pudiera hacerlos. Y esa fue la idea germinal de la computadora, el cerebro de los robots.

Más adelante en el filme, Rocco Servedio, de la Universidad de Columbia, pregunta: "¿Crees que somos la última generación de matemáticos?" y menciona cómo Watson, un programa de inteligencia artificial desarrollado por IBM, ha leído todos los libros de la biblioteca, y es capaz de responder preguntas de todo tipo. Rocco imagina que tal vez en un futuro nada lejano las computadoras puedan demostrar teoremas, dejando a los matemáticos poco trabajo, tal vez siendo el último trabajo hecho por los humanos.

El temor a que las máquinas hagan mejor el trabajo del hombre o que inclusive lo reemplacen definitivamente ha sido bautizado por Isaac Asimov como "Síndrome de Frankenstein Industrializado". Esto significa que la creación científica se vuelve contra su creador, como es el caso de la novela de Mary Shelley. Asimov todavía pudo ver la película en 2001, donde este elemento es fundamental en la trama y que este 2015 se reestrena.

Otra serie de películas que está presente en la memoria de esta generación es la de *Terminator*, donde la inteligencia artificial se vuelve contra los humanos y les declara la guerra. Y no olvidemos *The Matrix*, donde además somos convertidos en energía para las máquinas. Ambas son ejemplos extremos del temor de Rocco en cuanto a lo que pronto podría pasar, dado el avance de la inteligencia artificial y su expresión física, o más bien de *hardware*, los robots.

Y digo ejemplos extremos porque un maestro de la ciencia ficción, y de Asimov, Jack Williamson, trabaja esta idea de modo un poco menos violenta en su

obra *Los Humanoides*. En estas historias algún sabio decide que la humanidad no tiene por qué sufrir, así que pasa años inventando una tecnología que permite hacer robots perfectos. Robots capaces de detectar las necesidades de los humanos y que tienen como único medio el bienestar y seguridad de las personas.

Esto les gustaría a las señoras que en las pláticas sobre robótica preguntan si les podemos hacer un robot que haga las tareas del hogar. En esta obra existen esos robots y se adelantan a tus deseos, y cuidan de que no te hagas ni un rasguño.

Como dicen por ahí: "Ten cuidado con lo que pides porque se te puede cumplir".

Así que la humanidad empieza a tener estos seres a su lado y creen que están muy bien porque los trabajos pesados los hacen los robots. Pero poco a poco empiezan a darse cuenta de que en realidad ya no pueden hacer ninguna cosa interesante. No pueden tener algún *hobby* que implique usar herramientas porque podrían lastimarse. Tampoco pueden hacer deportes porque podrían sufrir una lesión. Los niños solo pueden jugar con muñecos especiales porque la pelota o la cuerda son peligros potenciales. Así entonces, los humanos empiezan a sentirse como en una celda acolchonada, y no falta el que quiera suicidarse sin conseguirlo.

En la vida real se ha hecho un estudio que ha resultado interesante. Se va presentando a las personas un robot y se va midiendo su reacción hacia el objeto. Se ha descubierto que mientras más realista sea la cara, mientras más natural y "humano" sea el robot, más rechazo sufre. Al principio la curva sube, a la gente le gustan los robots, pero en el momento en que se parecen demasiado a nosotros la curva desciende abruptamente. Después de este parecido la cara del robot se empieza a exagerar y la persona deja de rechazarlo. A esa parte donde la curva desciende se le llama valle inexplicable. Algunas teorías apuntan a que este rechazo es una respuesta natural por el miedo a ser desplazado.

Conclusión lógica: no hagas robots porque pueden desplazarnos. ¡No enseñes robótica a los niños! Pero esto es darse por vencido antes de la batalla.

La compañera de Rocco, Tal Malkin, al oír sobre su idea de que los robots nos desplazarán, le menciona que las máquinas carecen de características humanas: curiosidad, necesidad de resolver problemas, creatividad. "Siempre habrá quien resuelva un problema por el simple hecho de saber el resultado, por curiosidad". Estoy con ella. Creo que evitar pasar por un río no evita que éste se desborde, por lo que la mejor

manera de protegernos es estudiándolo y comprendiendo sus mecanismos.

Lo mismo pasa con los robots. En todo el mundo se están construyendo más y más robots, y cada vez más sofisticados. Pronto tendremos robots que convivan en nuestras casas y nos acompañen a todos lados. Pero dependerá de nosotros que su inteligencia artificial comprenda que somos especies que pueden convivir, y dependerá de nosotros también valorar a esta nueva especie como compañeros y no solo como esclavos.

En la película *The Mighty* (Peter Chelson, 1998), dos niños, ambos con problemas para adaptarse a la sociedad, logran sobreponerse al unir sus capacidades. Habilidad mental de uno, potencia física del otro, logran complementarse y convertirse en un ser poderoso que puede luchar y vencer los obstáculos que les impone la sociedad y la vida. Así creo que debemos hacer nosotros con los robots. Debemos conocerlos y convivir con ellos para compartir habilidades y lograr un mejor mundo para ambos.

Y para conocerlos debemos entender lo que tienen dentro. Saber que tienen mecanismos que los hacen moverse, como nosotros, que tenemos músculos. Que tienen sensores que les permiten captar al mundo, y nosotros lo hacemos con nuestros sentidos. Que tienen una fuente de poder que les da energía al igual que nosotros cuando comemos sano. Y que, como nosotros, tienen un cerebro donde guardan recuerdos, y rutinas y donde está esa inteligencia artificial que pronto nos reconocerá como amigos de juegos. Y debemos ser buenos compañeros de juegos porque pronto ellos serán más rápidos y fuertes. Pero nos necesitarán todavía para soñar, para inventar historias, para pintar cuadros, para llorar tragedias.

Nuestros niños deben estar preparados para tratar con estos nuevos jugadores y ser sus aliados, no sus enemigos.

Hay un ejemplo de esta búsqueda en *Astroboy* mi robot favorito. En el anime de 2003 se puede ver su lucha para que los humanos y los robots coexistan pacíficamente y logren construir una sociedad que sea adecuada para ambas inteligencias.

Es bueno enseñar robótica a los niños. Pero no solo la parte técnica, sino, como en todas las disciplinas, los valores, que harán de nuestros futuros ingenieros seres pensantes que pueden trabajar al lado de una inteligencia artificial sin temerle ni abusar de ella. ☺



José Emilio Vargas Soto y Fernando Reyes Cortés

## Reflexiones sobre las oportunidades de la robótica mexicana



• Imagen tomada de [http://www.agenciasinc.es/var/ezwebin\\_site/storage/images/multimedia/galerias/contenidos/los-humanos-y-los-robots-cara-a-cara/3431822-1-esl-MX/Los-humanos-y-los-robots-cara-a-cara.jpg](http://www.agenciasinc.es/var/ezwebin_site/storage/images/multimedia/galerias/contenidos/los-humanos-y-los-robots-cara-a-cara/3431822-1-esl-MX/Los-humanos-y-los-robots-cara-a-cara.jpg)

Para la mayoría de las personas el término robot se asocia con seres artificiales de forma humanoide, esto por la fuerte influencia de las películas y de los libros de ciencia ficción. Dicha asociación es correcta tomando en cuenta que precisamente el término robot nace a partir de la inspiración del dramaturgo checo Karel Capek, en 1921. Muchos avances tecnológicos han acontecido como consecuencia del estudio y las investigaciones que sobre los robots han realizado las principales instituciones educativas de nuestro planeta. Es importante resaltar que algunos países, como los Estados Unidos de América, Alemania, Francia, Inglaterra y Japón, consideran el conocimiento de los robots como un elemento estratégico para su desarrollo.

En este sentido, el panorama que muestra la robótica en México es sumamente amplio, dadas las carencias que existen en diversos sectores de la sociedad. Por ejemplo, para el tomador de decisiones en una empresa en donde se fabrican productos y se realizan procesos de forma automática es fundamental conocer las posibilidades que le brindan las tecnologías de los robots, a fin de mejorar la productividad, la calidad de los productos y su competitividad. El robot industrial, no necesariamente de forma humanoide, es capaz de mover grandes objetos con precisión milimétrica, realizando operaciones diversas en el menor tiempo posible y con bajos niveles de contaminación. Por otra parte, para las personas que ocupan un puesto de decisión en el sector salud resulta conveniente el conocimiento las tecnologías afines a la robótica, en virtud de que valoren y conozcan máquinas capaces de sustituir parcialmente alguna extremidad u órgano de forma artificial, así como servicios médicos que facilitan cirugías especializadas y autómatas extremadamente complejos para conocer y estabilizar condiciones de vida humana. Asimismo, en los sectores de la construcción, transporte, agricultura y pesca avanzada, conservación de alimentos, entretenimiento, militar, vigilancia, exploración e inspección de instalaciones petroleras, por mencionar solo algunos sectores de especial interés en la sociedad, las tecnologías de los robots y la Ingeniería Mecatrónica facilitan la realización de tareas y servicios especializados, en donde algunas de estas tareas se realizan bajo condiciones de alto riesgo para las personas.

Esto no significa que los robots remplazarán la participación de las personas en los puestos de trabajo; esta es una idea errónea que estanca los alcances que se pueden lograr con los estudios y las investigaciones de los robots. La oportunidad se presenta en mostrar cómo los seres humanos y los robots se complementan para realizar de una forma más eficaz una tarea específica. El robot es una herramienta tecnológica que facilita la realización de actividades dentro de parámetros establecidos de calidad, pero que depende de la intervención humana para mantenerse en condiciones adecuadas a fin de poder realizar las tareas encomendadas.

A pesar de que han pasado poco menos de 100 años desde que apareció la concepción moderna de robot, aún es necesaria una mayor educación de la robótica y de la Ingeniería Mecatrónica bajo una perspectiva y estrategia mexicana adecuada a nuestras necesidades y características muy particulares. Los esfuerzos aislados de nuestras instituciones educativas y de investigación por desarrollar capital humano o proyectos específicos de innovación tecnológica, por una parte muestran una fortaleza en capacidades, pero al mismo tiempo una carencia de un plan

CON SEGURIDAD NO SEREMOS  
LOS MEJORES EN HACER ROBOTS,  
PERO APROVECHANDO NUESTRA  
DEDICACIÓN, NUESTRA CREATIVIDAD Y  
NUESTRAS VENTAJAS COMPETITIVAS  
ESTAMOS A TIEMPO PARA APRENDER  
EL MERCADO DE LOS ROBOTS

mayor de desarrollo tecnológico regional o nacional. En este sentido, la oportunidad de desarrollo se presenta en ordenar esfuerzos aislados, así como en generar elementos de difusión de los avances tecnológicos y en propiciar planes educativos y de investigación pertinentes y relevantes a mediano y largo plazo que favorezcan la innovación de productos, procesos y servicios con valor tecnológico. De otra manera, seguiremos comprando tecnología y herramientas modernas a un alto precio, provocando con ello una carencia en conocimientos y una mayor dependencia tecnológica.

A pesar de los grandes esfuerzos educativos que se han realizado en la última década sobre la enseñanza de la robótica y la mecatrónica, aún no se logra satisfacer el mercado laboral interno. Todo indica que por varios años más seguiremos observando amplias oportunidades de trabajo para quienes decidan profesionalizarse en robótica, mecatrónica y áreas afines. La oportunidad se presenta en mejorar la educación, tal como se enuncia en el Plan Nacional de Desarrollo,

así como en ampliar las capacidades actuales de formación técnica, profesional y de postgrado para aprovechar dichas condiciones de trabajo. Está claro que la educación en dichas áreas es una forma de favorecer e incentivar solo una pequeña parte de la enorme y compleja economía interna del país.

Por otra parte, es importante resaltar que recientes inversiones millonarias de grandes empresas en México indican que dichos consorcios han puesto sus ojos en nuestro país como un lugar de extraordinarias condiciones para desarrollar sus negocios. Se presenta entonces una nueva oportunidad para favorecer el desarrollo económico, social e intelectual en función de las inercias que presenten intereses del sector privado, el gobierno y las instituciones educativas.

De acuerdo a la Federación Internacional de Robótica en su reporte estadístico de 2014, para el año 2017 habrá más robots industriales operando en las plantas productivas de China que en las de la Unión Europea o de Estados Unidos de América. Las unidades robóticas se duplicarán en número, de los 200 mil robots industriales que tenemos actualmente a poco más de 400 mil unidades. La oportunidad se presenta en saber crear una industria mexicana alrededor de los robots, de forma que su diseño, simulación, control, operación y mantenimiento favorezca el desarrollo de pequeñas y medianas empresas mexicanas con valor tecnológico. Sin duda estamos reconociendo tardíamente esta oportunidad, y con seguridad no seremos los mejores en hacer robots, pero aprovechando nuestra dedicación, nuestra creatividad y nuestras ventajas competitivas estamos a tiempo para aprender el mercado de los robots y la aplicación de los mismos en otros mercados que los aprovechen. ☺

Revista especializada *La mecatrónica en México*.

Disponible gratuitamente en [www.mecamex.net/revistas/LMEM](http://www.mecamex.net/revistas/LMEM)

[emilio@mecatronica.net](mailto:emilio@mecatronica.net) · [recf62@gmail.com](mailto:recf62@gmail.com) ✉

Alejo Mosso Vázquez

## La mano robótica humanoide tan compleja y delicada como la humana

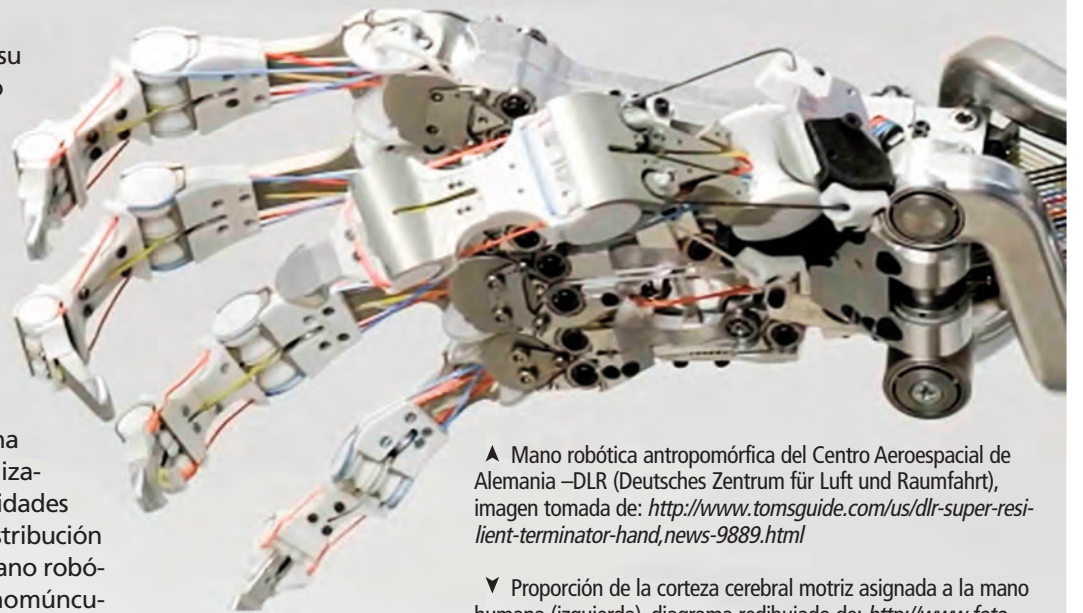
La mano humana es la interfase del hombre, transformadora de su hábitat, cuya propiedad de manipulación autónoma no ha sido alcanzada aún por la mano robótica humanoide. De entre todas las criaturas que habitan nuestro planeta, el ser humano es el que ha sido dotado de manos con habilidad motriz para materializar sus deseos. Su inteligencia se manifiesta por el uso de sus manos. Por medio de las manos se han construido naves espaciales, vehículos terrestres y marinos, edificaciones para una amplia gama de actividades humanas, entre otras obras. Con la mano se estrechan otras para mostrar afecto, respeto o admiración. Con las manos se ofrecen caricias y se manifiesta amor. Con la mano es posible restaurar nuestro hábitat natural que en otro tiempo ella misma depredó.

Con el fin de interactuar con el ambiente natural, la naturaleza ha dotado al ser humano con programas computacionales biológicos localizados en lo que se conoce como la corteza cerebral motriz. Estas capacidades están asignadas a las diferentes partes del cuerpo de acuerdo con la distribución mostrada en el homúnculo de la figura, la cual muestra también una mano robótica antropomórfica del Centro Aeroespacial de Alemania. El término homúnculo se usa comúnmente para describir una figura humana distorsionada, dibujada para reflejar la proporción de la corteza cerebral asignada a nuestras partes corporales. Las manos y labios son considerablemente más hábiles y sensibles que otras partes del cuerpo, por lo que en la figura se muestran extremadamente grandes.

Se ha reportado en la literatura de manos robóticas que a la mano humana se le dedica entre 30 y 40 por ciento de corteza cerebral motriz, como se ilustra en la figura, mientras que en el mono se dedica entre 20 y 30 por ciento. El relativo alto porcentaje de corteza asignado a la mano natural puede servir de inspiración al diseñador de *software* para fijar metas de desempeño de la mano artificial.

La figura sugiere que la distribución de recursos que existe de la corteza cerebral hacia la mano humana también deberá existir entre un *software* de computadora y la mano artificial. La mano robótica antropomórfica DLR de la figura tiene el tamaño de la mano humana, con cinco dedos articulados movidos por 38 tendones de cuerdas, cada uno conectado a un motor individual alojado en el antebrazo. La principal capacidad que hace a la mano DLR diferente de otras manos robóticas es que puede controlar su rigidez. Los motores pueden tensar los tendones, permitiendo a la mano absorber choques violentos. La mano tiene un total de 19 grados de libertad, un grado menos que la mano natural, y puede mover los dedos independientemente para sujetar objetos variados. Los dedos pueden ejercer una fuerza de hasta 5 Newtons, lo que también hace a esta mano una de las más fuertes entre las construidas hasta hoy. En resumen, la cualidad sobresaliente de esta mano es su robustez. Los diseñadores aseguran que en términos de capacidades de sujeción y destreza, la mano DLR está cerca de la mano humana. Sin embargo, la manipulación autónoma aún es una meta pendiente en esta mano y en todas las manos robóticas construidas en los diferentes laboratorios del mundo. Es decir, se requiere incrementar la calidad del *software* dedicado a las manos artificiales.

Un desafío científico y tecnológico de nuestro tiempo es dotar al robot de manos robóticas humanoide con habilidades motrices y sensoriales equivalentes a la humana. La mano humana manipula una amplia forma de objetos en forma autónoma apoyándose en recursos como los sentidos, la memoria, la inteligencia y la conciencia, entre otros. Por su parte, la mano robótica dispone actualmente de una combinación de métodos y tecnologías como las siguientes: visión robusta, retroalimentación táctil, estabilidad de la sujeción, modelado bajo



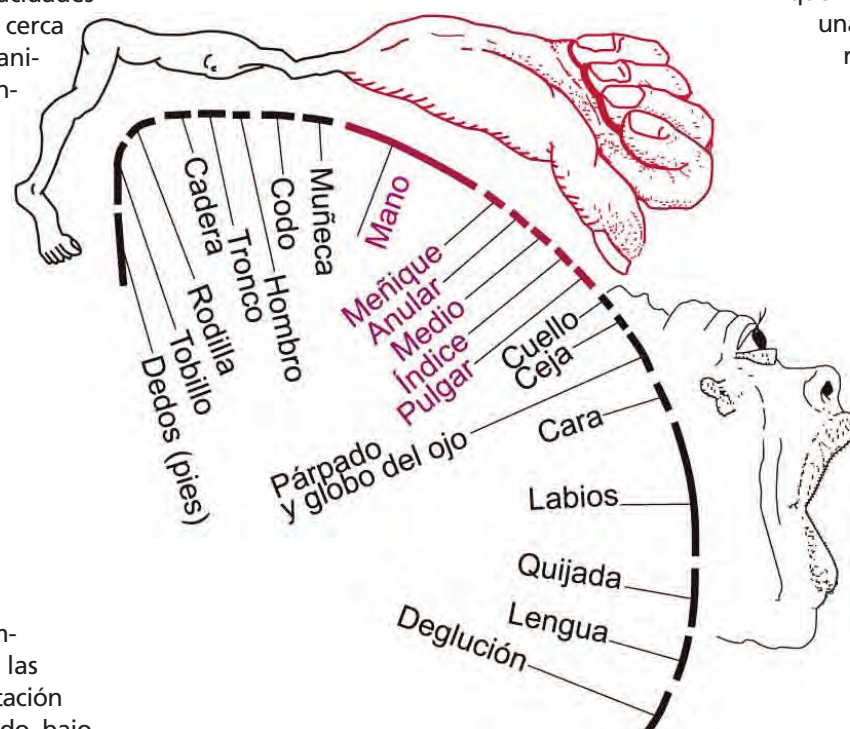
▲ Mano robótica antropomórfica del Centro Aeroespacial de Alemania –DLR (Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt), imagen tomada de: <http://www.tomsguide.com/us/dlr-super-resilient-terminator-hand,news-9889.html>

▼ Proporción de la corteza cerebral motriz asignada a la mano humana (izquierda), diagrama redibujado de: [http://www.fotolog.com/rebra\\_sl27141658/](http://www.fotolog.com/rebra_sl27141658/).

incertidumbre, aprendizaje y planeación del movimiento. El área de aplicación de las manos robóticas más desarrollada actualmente es la manipulación teleoperada de objetos regulares. Es decir, el robot con manos robóticas es todavía un asistente del ser humano. Se prevé que será de utilidad en aplicaciones importantes como telecirugía y operaciones de mantenimiento en plataformas espaciales.

La manipulación autónoma de objetos irregulares por medio de manos robóticas antropomórficas es actualmente una meta pendiente de realizar. Se tiene la esperanza de que esta clase de manipulación se alcance cuando se desarrolle la conciencia artificial. Ray Kurzweil, en *The Age of Spiritual Machines: When Computers Exceed Human Intelligence* (New York: Viking, 1999), defiende la teoría de la convergencia máquina-hombre, la cual argumenta que cualquier proceso computacional suficientemente capaz de alterarse a sí mismo y de auto organizarse puede producir conciencia. Con base en esta teoría, Kurzweil predice que es cuestión de décadas para dotar al robot de conciencia y por tanto de inteligencia similar o superior a la humana. Kurzweil tiene cierto grado de credibilidad porque predijo correctamente el año en que una computadora derrotaría a un maestro ajedrecista. Como se sabe, la computadora Deep Blue de la IBM abatió a Gary Kasparov justo siete años antes de haber negado que tal habilidad era posible.

El ser humano pretende ser un Dios cuando sueña con crear un ser artificial que funcione como su siervo, aunque si se le dota de conciencia, puede suceder que los papeles se inviertan. La mano robótica es una parte clave que permite actualmente al robot humanoide interactuar con su ambiente, como sucede, en forma incipiente, en el ASIMO de la compañía Honda y en el Robonaut de la NASA (National Aeronautic and Space Administration). Se espera que con la mano robótica el robot humanoide podrá, igual que su compañero el humano, construir naves espaciales, vehículos terrestres y marinos, entre otras cosas. Podrá estrechar otras manos para mostrar afecto, respeto, o admiración. Y posiblemente, podrá restaurar nuestro hábitat natural. Si Kurzweil tiene razón, solo tenemos que sobrevivir unas cuantas décadas más para ser testigos de la mano robótica, tan compleja y delicada como la humana.



César Alejandro Chávez Olivares

# robots: de la automatización industrial a la realidad virtual

Escuchar la palabra robot en nuestros días resulta muy familiar, y lo primero que se viene a la mente, en la mayoría de los casos, es la figura de un humanoide mecánico-electrónico que habla, camina, corre y resuelve tareas de forma semejante a un ser humano lo haría, incluso con una destreza mayor en cuanto a precisión y rapidez. Esta figura de robot ha sido muy difundida en novelas, dibujos animados y películas de ciencia ficción futuristas; sin embargo, lograr tales capacidades para un robot humanoide es un tema de estudio y reto actual para científicos e ingenieros tanto de la iniciativa privada como de diferentes universidades y centros de investigación de todos los continentes.

La robótica es una ciencia multidisciplinaria y su desarrollo está impulsado y limitado por el avance en otros campos de estudio de las ciencias e ingenierías, como la física de sensores, la electrónica, la mecánica, ciencias del control, comunicaciones, matemáticas, computación e inteligencia artificial, entre otros. Para promover el avance de la robótica, sociedades de ingenieros en conjunto con universidades nacionales e internacionales, organizan eventos y concursos para el diseño de diferentes tipos de robots: brazos, humanoides, móviles terrestres y acuáticos. Por ejemplo, existen concursos de humanoides y robots con ruedas que juegan fútbol, vehículos autónomos con capacidad de navegación en todo terreno y de rescate de personas en ambientes de desastres naturales, vehículos submarinos autónomos para exploración, así como brazos capaces de realizar una tarea de manufactura de forma autónoma.

Precisamente, el brazo robot manipulador o simplemente robot manipulador, es el tipo de robot que más avances tiene y que ha impulsado la economía mundial por su importancia en la industria de manufactura. La mayoría de las empresas que realizan producción en serie emplean este tipo de dispositivos cuando se requiere de precisión milimétrica y velocidad para ejecutar una tarea, y en consecuencia, aumentar su volumen de producción. La industria automotriz es la que tiene mayor inversión económica en la adquisición y empleo de robots manipuladores. ¡Tal eficiencia tienen estos dispositivos que algunas armadoras de autos llegan a fabricar un automóvil completo por cada minuto de trabajo!

Aunque en 1920 Karel Capek introdujo el término robot en su novela *Russum's Universal Robots* para denominar a unos humanoides mecánicos esclavos (*robota*, trabajo forzado en checo), el Robot Institute of America (RIA) en 1980 estableció una definición para el robot industrial: un robot es un manipulador multifuncional reprogramable diseñado para mover materiales, partes, herramientas o dispositivos especializados a través de movimientos programados para la ejecución de una variedad de tareas. Esta definición reflejaba (y aún lo hace) el estado actual de la robótica, ya



que para esa fecha existían grandes avances en robótica industrial: el robot Unimate de General Motors, el robot Stanford de la Universidad de Stanford, el robot IRB6 de ABB, el robot Famulus de KUKA Robotics y el robot PUMA de Unimation, entre otros. En nuestros días, algunas de estas empresas fabricantes de robots manipuladores fueron absorbidas por otras empresas, algunas se mantienen vigentes y otras nuevas han surgido, por ejemplo Fanuc Robotics y Adept Technology Inc, entre otras.

Además de la producción en serie, fueron concebidas otras aplicaciones para el empleo de los manipuladores industriales como la telemanipulación, también conocida como teleoperación. Esta consiste en manipular un robot industrial a distancia para evitar la presencia de una persona en ambientes hostiles o de peligro para su salud, como en el manejo de sustancias tóxicas, materiales a altas temperaturas o entornos inaccesibles para un humano, como puede ser una zona de derrumbe o radiactiva. En el campo de la teleoperación se dice que el humano realiza la función del maestro mediante alguna herramienta de control y el robot industrial es un dispositivo esclavo, ya que ejecuta los movimientos que determina el maestro.

En las investigaciones realizadas en el campo de la teleoperación se determinó que para lograr un mejor desempeño en la tarea de manipulación a distancia era necesario que el humano tuviese retroalimentación de información táctil, en otras palabras, que sienta lo que sucede en el entorno remoto al momento de realizar la tarea a distancia. Para lograr esto era necesario que la operación no fuera controlada con palancas y botones, sino con un dispositivo que permitiera generar la sensación de fuerzas en la mano maestra. En la década de los 50 surgió el primer dispositivo que cumplía con este propósito: el manipulador háptico. Sin embargo, es hasta las décadas de los 90's y 00's cuando se desarrollan los manipuladores hápticos de carácter comercial y con ello su difusión masiva, por ejemplo, el dispositivo Geomagic Touch (antes conocido como Phantom Omni).

El término háptico está relacionado con el concepto de sentir o tocar (*haptēthai*, en griego). Este término es usado en diferentes tecnologías, por ejemplo, en telefonía celular se refiere a la sensación de vibración al tocar un botón en la pantalla táctil. En el caso de los manipuladores hápticos se refiere a la capacidad de sentir lo que sucede en un entorno remoto, como en la telemanipulación: cuando el robot esclavo realiza contacto con el entorno, el robot háptico permite la sensación de límites virtuales en el espacio tridimensional del robot maestro. Sin embargo, ésta no es la única aplicación que se le ha dado al manipulador háptico, ya que no necesariamente el entorno que puede sentirse tiene que ser el físicamente remoto, sino que puede ser totalmente virtual, es decir, un entorno programado en computadora que tiene propiedades físicas como por ejemplo rigidez o viscosidad y una figura geométrica bien definida. En este caso representa la parte táctil de una simulación por realidad virtual y sus aplicaciones son muy diversas.

En la industria de la manufactura, el manipulador háptico se utiliza como un tipo de *mouse* tridimensional para interactuar con entornos de diseño CAD, donde es posible manipularlos y sentirlos, aunque también es utilizado en sistemas de entrenamiento para ensamble de piezas. La medicina es otro campo que se ha beneficiado de esta tecnología, ya que se desarrollan sistemas de simulación por realidad virtual para el entrenamiento en cirugías o para la rehabilitación asistida por robots, así como también quirófanos robotizados (robot DaVinci). Además de los avances en materias de ciencia e ingeniería, el manipulador háptico ha llegado a los hogares a través de la industria del entretenimiento. Por ejemplo, se puede mencionar el manipulador Falcon de Novint, el cual se utiliza principalmente como un control tridimensional con capacidad de retorno de fuerza en los videojuegos, y se puede percibir por ejemplo, la "patada" al disparar un arma de fuego en un simulador tipo *shooter*.

iescd.chavez@gmail.com ✉

▲ Robot KR AGILUS de KUKA Robotics, imagen tomada de [http://mms.businesswire.com/media/20150320005019/en/458295/5/KR\\_Agilus\\_R\\_700\\_sixx\\_rechts\\_29298f2.jpg](http://mms.businesswire.com/media/20150320005019/en/458295/5/KR_Agilus_R_700_sixx_rechts_29298f2.jpg)

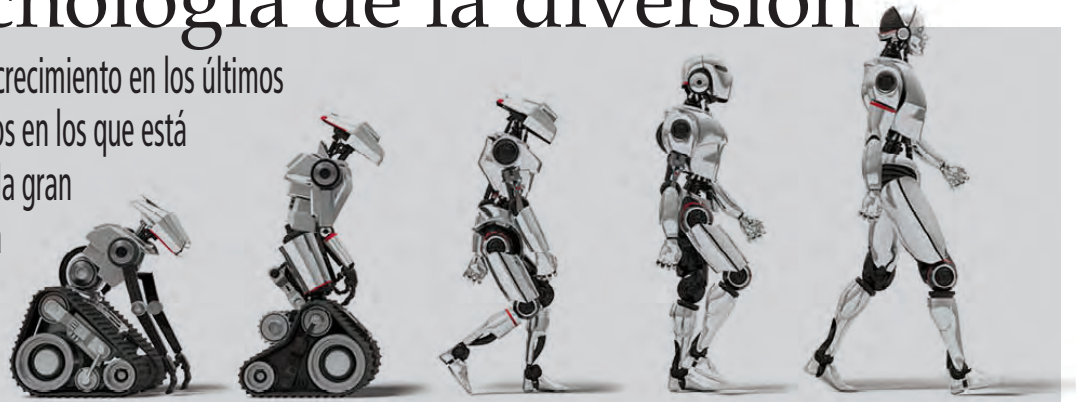
◀ Realidad virtual, imagen tomada de <http://s.libertaddigital.com/fotos/noticias/samsung-gear-vr.jpg>



Gustavo Trinidad Rubín Linares

## Robótica: la tecnología de la diversión

La robótica es una rama de la tecnología que ha tenido un acelerado crecimiento en los últimos años y ha mejorado nuestra vida diaria por la gran cantidad de servicios en los que está presente, pero lo más asombroso es que es un área muy compleja por la gran cantidad de disciplinas de las que se sirve; sin embargo, en esa misma diversidad muchas actividades que empiezan como un juego armando pequeños mecanismos o mejorando la potencia de un móvil y hasta realizar videojuegos, son la parte medular de la robótica.



• Imagen tomada de <http://news.vanderbilt.edu/vanderbiltmagazine/wp-content/uploads/RobotEvolution.jpg>

Como se ha mencionado, la robótica es una disciplina muy compleja, lo cual no es un secreto, pero esta característica se la ha ganado debido a que busca resolver una problemática real de algún servicio que incluso puede ser de alta precisión y riesgo mediante un sistema electromecánico autónomo que es diseñado utilizando modelos matemáticos y que debe interactuar con el entorno, incluyendo al hombre, que es su principal usuario. Es esta actividad de servicio del robot la que le dio incluso su nombre, pues la primera vez que se utilizó la palabra robot fue en 1920, en la obra *Robots Universales Rossum*, del escritor checo Karel Capek, donde se utiliza el término *robot*, cuya traducción al inglés es robot y que significa trabajos forzados o servidumbre. Pero aunque parece que la robótica ha surgido en los últimos años, no es así, ya que si revisamos en la historia de la humanidad, siempre el hombre ha buscado mejorar sus condiciones de vida ya sea fabricando herramientas que le ayuden a modificar su entorno o incluso superar sus limitaciones físicas o ha diseñado y construido mecanismos que puedan realizar algunas tareas incluso de riesgo; muchas de ellas constituyen lo que se conoce como automatización, porque realizan una actividad de forma automática. Se tienen innumerables acontecimientos cronológicos de sistemas automáticos y muchísimos otros que no se sabe quién y cuándo se construyeron, es sorprendente que en el siglo 1 a. C. ya se tenía la descripción de más de 100 máquinas y autómatas como órganos de viento, máquinas de vapor, etcétera. Otro dato histórico muy notable y sorprendente es que el primer robot humanoide del que se tiene referencia fue diseñado por Leonardo da Vinci en 1495. Esperando hasta este punto motivar y comprometiendo al lector para que revise una buena colección de eventos tecnológicos realizados a lo largo de la historia a fin de situarse en un entorno real de nuestra rama y de conocer el fascinante camino tecnológico de la humanidad concluimos esta introducción histórica citando a Isaac Asimov y sus tres leyes de la robótica que rigen la filosofía de servicio y el diseño de estos sistemas.

La robótica está presente en nuestra vida diaria desde simples mecanismos que realizan actividades repetitivas hasta sofisticados equipos controlados por un sistema de control que incluso aprende y toma decisiones casi de forma instantánea. Para comprender cómo sucede esto es importante saber que la robótica descansa sobre la electrónica, el *software*, la mecatrónica, la biología, la física y las matemáticas, entre otras, lo que nos conduce a dilucidar que el diseño y construcción de robots utiliza los adelantos de estas disciplinas; por ejemplo, muchos robots poseen sensores o transductores, que son dispositivos que convierten un parámetro físico como temperatura, humedad, luz, etcétera, en un parámetro eléctrico como voltaje, corriente, resistencia, etcétera, el cual se utiliza para que un sistema electrónico de decisiones determine el compor-

tamiento de motores, sistemas de calentamiento o algún otro a fin de que modifique el entorno físico, dicho sistema constituye lo que en el hombre es el cerebro y que para el robot se denomina sistema de control. Pues resulta que la tecnología en fabricación de dispositivos de estado sólido nos ha llevado a tener sensores cada vez más pequeños y con muy alta precisión, así como motores que pueden aumentar su velocidad y potencia de forma considerable y también aquellos que pueden lograr movimientos muy precisos a gran velocidad; pero tener este tipo de sensores y actuadores nos lleva a requerir un sistema de control que pueda generar estas señales también sofisticadas; inicialmente se dejaba esta actividad de control a una máquina de estados construida con sistemas discretos secuenciales; posteriormente se utilizaron micro controladores que se programan para una solución específica, pero en ese camino se diseñaron y construyeron sistemas programables muy sofisticados como FPGA's (Field Programmable Gate Array) y que básicamente es un dispositivo de estado sólido con un gran número de arreglos lógicos que se programan para implementar incluso un procesador "convencional"; esto nos permite pensar en sistemas de control que puedan procesar una gran cantidad de información y a una gran velocidad, pero esto aunque parece que es mundo extremadamente complejo y sofisticado; afortunadamente, mi estimado lector, el diseño de estos sistemas de control se realiza en lenguajes de descripción de *hardware* y lenguajes de programación de alto nivel; sí, así es, los programas en C, C++, java y otros para no entrar en detalles con los cuales se puede calcular una ecuación de segundo grado, ecuaciones diferenciales y gráficas en 3D, son justamente los que se utilizan para implementar estos sofisticados sistemas de control. Así que estamos en un punto en que nuestras herramientas de programación y que solo podíamos saber que resuelven un sistema matemático o simulan en 3D un entorno, pueden resolver el sistema de control y determinar el movimiento y comportamiento de un robot real, es decir la animación se lleva al mundo real. Y aquí es donde nuestra exposición apunta hacia la programación y al *software* observando que estamos viviendo un tiempo dominado por las tecnologías de la información y los dispositivos móviles, algunos de ellos con hasta cuatro núcleos. Y así es, nuestros equipos móviles tienen una gran capacidad de procesamiento que nos permite desarrollar programas denominados "aplicaciones" para interactuar de forma más eficiente con nosotros y el entorno, así que lógicamente podemos y debemos utilizar esta tecnología para controlar nuestros robots, lo cual parecerá que es algo complejo, pues nuestros robots son en general complejos, pero, lo que no hemos visualizado es que el dispositivo móvil es de por sí un sistema complejo, y por lo tanto desarrollar estas aplicaciones de control es como desarrollar un sistema de gráficas, un sistema 3D o una animación como

un videojuego. Por esta razón es que podemos iniciar jugando, porque así se realizan los videojuegos, y en el camino darnos cuenta que el sistema desarrollado resuelve el problema de movimiento y monitoreo de un robot. Concretamente en el Laboratorio de Robótica Móvil Dr. Manuel Rubín Falfán, de la Facultad de Ciencias de la Computación de la BUAP, tenemos proyectos de robótica de diversos niveles, desde pequeños *kits* para armar con algunos sensores y motores para nuestros estudiantes de nuevo ingreso en robótica, hasta robots humanoides diseñados y construidos en el laboratorio con los que se pretende realizar el diseño de prótesis y sistemas de control a mucho menor precio que los comerciales actualmente disponibles; los estudios realizados en estos robots en el sistema de control nos han llevado a niveles como la microcirugía, que se rige por la espectacular precisión de los sistemas mecánicos y electrónicos, así como la gran capacidad de procesamiento nos permitirá desarrollar robots que puedan asistir a un médico e incluso sustituirlo, como ya sucede en algunos países tecnológicamente desarrollados. En este tránsito hemos pasando por el diseño de sistemas de control, reconocimiento de patrones, procesamiento de imagen y video basados en FPGA's obtenidas por donaciones de las principales compañías líderes en el mercado y que nos permiten estar a la vanguardia tecnológica en materia de aplicación del conocimiento. Y hablando de diversión, por supuesto estamos trabajando en programación de dispositivos móviles desarrollando aplicaciones para robótica y apoyo a otras facultades de nuestra universidad, como Administración, Electrónica e Ingeniería Química. Pero nuestra querida disciplina llega incluso a la tecnología de construcción y control de satélites en donde también estamos trabajando, pues la metodología utilizada es similar, excepto que el nivel de precisión y tolerancia a fallos es extremo; por ejemplo, en el control del sistema de energía, el posicionamiento óptimo de los paneles solares, etcétera, así como el sistema de seguimiento de las estaciones terrenas donde se requiere procesar la información de diversos sensores tanto del satélite como aquellos en tierra y entonces llevar a cabo un procesamiento en tiempo real e interactuar con el satélite mismo, para poder determinar con precisión la posición del satélite e incluso visualizarlo, pero toda esta información es muy parecida a la que se utiliza en un videojuego.

Como hemos visto de lo expuesto anteriormente, la robótica es una disciplina muy compleja e incluso de alto riesgo y compromiso, pero este grado de especialización nos lleva a este nivel realizando etapas que pueden iniciar como un juego y que nos brindan el conocimiento necesario para desarrollar robots sofisticados.✉

Isela Bonilla Gutiérrez

## La interacción humano-robot

Los seres humanos tienen la capacidad de realizar una infinidad de tareas que requieren manipulación de objetos, sin la necesidad de conocer perfectamente su entorno, debido a que sus sistemas sensoriales les permiten adaptarse a las características físicas de la tarea a realizar. Esto sugiere que no es necesario un conocimiento preciso de la dinámica del manipulador (ser humano) ni del objeto a manipular (entorno), cuando se cuenta con un sistema de procesamiento y control con cierto grado de inteligencia. Desde sus inicios, la robótica ha sido una ciencia que ha intentado "imitar" el comportamiento de los seres vivos y en especial el de los seres humanos. Por esta razón, la capacidad de raciocinio e inteligencia del ser humano ha representado, desde siempre, un gran reto para los investigadores dedicados a la robótica y el control automático.

La robótica ha experimentado un crecimiento vertiginoso, impulsado por los avances en computación, el desarrollo de sensores, la electrónica y la tecnología en comunicaciones. Los robots están revolucionando una infinidad de procedimientos que se emplean en agricultura, minería, industria, medicina, etcétera. La creciente complejidad de las tareas que requieren contacto de un robot manipulador con su entorno, la interacción física entre los robots, con seres humanos y el medio ambiente en general ya no es una situación poco frecuente que debe evitarse, sino una condición de funcionamiento. En consecuencia, los enfoques de control que se ocupan de estas situaciones son esenciales para lograr con seguridad

los objetivos deseados. Por lo tanto, al considerar dicha interacción, surge la problemática denominada control de interacción. Durante la interacción, el entorno puede establecer limitaciones geométricas en las trayectorias que pueden ser seguidas por el extremo final del robot, las cuales se conocen como restricciones cinemáticas. Esta situación, que corresponde al contacto con una superficie rígida, se refiere generalmente a un movimiento restringido. En otros casos, la tarea de contacto se caracteriza por una interacción dinámica entre el robot y su entorno, que pueden ser de tipo inercial (como empujar un bloque), disipativa (como el deslizamiento sobre una superficie con fricción) o elástica (como empujar contra una pared elástica). En todos estos casos, el uso de una estrategia de control de movimiento del robot para regular la interacción con su entorno es propensa al fracaso. Por lo tanto, si el movimiento que realiza el robot manipulador involucra la interacción física o contacto con su entorno, se deben diseñar esquemas de control por retroalimentación que actualicen, además de la información de posición y velocidad, las fuerzas de contacto generadas en respuesta a desviaciones de la trayectoria deseada.

El control de dicha interacción es crucial para la ejecución exitosa de tareas donde el efector final del robot debe manipular objetos o desempeñar alguna operación sobre una superficie. Algunos ejemplos de tareas de interacción industriales son perforación, pulido, maquinado o ensamblado. Por otra parte, cuando el manipulador interactúa con seres humanos, como en el caso de terapias de rehabilitación, cirugías robotizadas o prótesis robóticas, el sistema de control debe garantizar un alto nivel de seguridad y estabilidad para el paciente. La fuerza de contacto es importante para la descripción del estado de interacción; sin embargo, cuando dicha interacción es con seres humanos es imposible describirla en términos de una cantidad de fuerza en específico, sino que se requiere de una interpretación más subjetiva en términos de cómo debe reaccionar el robot en función de las características del usuario para evitar dañarlo o dañarse a sí mismo. Un ejemplo de esto es cómo se da la interacción entre dos seres humanos: el saludo entre un hombre y una mujer desconocidos generalmente se da de una manera suave y respetuosa, mientras que entre dos amigos hombres suele ser más "brusca" y con mayor confianza y familiaridad. La relación entre fuerza y movimiento está dada por una cantidad física denominada impedancia. El control de la impedancia está basado en la respuesta dinámica del sistema robótico ante la presencia de fuerzas de contacto, de acuerdo con esto la respuesta está caracterizada por tres parámetros la rigidez, el amortiguamiento y la inercia. La sintonía de dichos parámetros puede llevar al sistema a tres tipos de comportamientos: sub-amortiguado, críticamente amortiguado y sobre-amortiguado, y en función de esto el robot puede comportarse, tal como se describió el saludo entre seres humanos, de una manera dócil o brusca.

La seguridad y fiabilidad son importantes para una inserción exitosa de los robots en aplicaciones de contacto con seres humanos. Debido a la naturaleza no estructurada de las tareas de interacción, un robot debe estar equipado con un conjunto completo de sensores, que le permitan contar con suficiente información para la toma de decisiones y la generación de señales de control adecuadas. Para garantizar un nivel de seguridad adecuado durante la ejecución de tareas de interacción es importante tener en cuenta que puede haber ocurrencia de eventos inesperados, como fallos o cambios bruscos del escenario operativo. Así que el



Imágenes tomadas de <http://miled.com/wp-content/uploads/2015/02/robots.jpg> y <http://d212dsb2sdisoj.cloudfront.net/wp-content/uploads/2013/07/11792.jpg>

deben diseñar esquemas de control por retroalimentación que actualicen, además de la información de posición y velocidad, las fuerzas de contacto generadas en respuesta a desviaciones de la trayectoria deseada.

El control de dicha interacción es crucial para la ejecución exitosa de tareas donde el efector final del robot debe manipular objetos o desempeñar alguna operación sobre una superficie. Algunos ejemplos de tareas de interacción industriales son perforación, pulido, maquinado o ensamblado. Por otra parte, cuando el manipulador interactúa con seres humanos, como en el caso de terapias de rehabilitación, cirugías robotizadas o prótesis robóticas, el sistema de control debe garantizar un alto nivel de seguridad y estabilidad para el paciente. La fuerza de contacto es importante para la descripción del estado de interacción; sin embargo, cuando dicha interacción es con seres humanos es imposible describirla en términos de una cantidad de fuerza en específico, sino que se requiere de una interpretación más subjetiva en términos de cómo debe reaccionar el robot en función de las características del usuario para evitar dañarlo o dañarse a sí mismo.

Un ejemplo de esto es cómo se da la interacción entre dos seres humanos: el saludo entre un hombre y una mujer desconocidos generalmente se da de una manera suave y respetuosa, mientras que entre dos amigos hombres suele ser más "brusca" y con mayor confianza y familiaridad. La relación entre fuerza y movimiento está dada por una cantidad física denominada impedancia. El control de la impedancia está basado en la respuesta dinámica del sistema robótico ante la presencia de fuerzas de contacto, de acuerdo con esto la respuesta está caracterizada por tres parámetros la rigidez, el amortiguamiento y la inercia. La sintonía de dichos parámetros puede llevar al sistema a tres tipos de comportamientos: sub-amortiguado, críticamente amortiguado y sobre-amortiguado, y en función de esto el robot puede comportarse, tal como se describió el saludo entre seres humanos, de una manera dócil o brusca.

La seguridad y fiabilidad son importantes para una inserción exitosa de los robots en aplicaciones de contacto con seres humanos. Debido a la naturaleza no estructurada de las tareas de interacción, un robot debe estar equipado con un conjunto completo de sensores, que le permitan contar con suficiente información para la toma de decisiones y la generación de señales de control adecuadas. Para garantizar un nivel de seguridad adecuado durante la ejecución de tareas de interacción es importante tener en cuenta que puede haber ocurrencia de eventos inesperados, como fallos o cambios bruscos del escenario operativo. Así que el

deben diseñar herramientas para el análisis y la reconfiguración de los sistemas robóticos bajo condiciones de falla, pueden dar lugar a operaciones más seguras. A pesar de los avances que se han alcanzado dentro del control automático de sistemas robóticos, aún existen muchos retos para lograr una interacción humano-robot completamente armónica y con altos estándares de seguridad, así que diversos grupos de investigación a nivel nacional e internacional continúan teniendo como prioridad el desarrollo de nuevas técnicas de control que permitan alcanzar un mayor nivel de autonomía de los robots y tratar de lograr algún día el nivel de evolución de los seres humanos. ☺

isela.bonilla@uaslp.mx ✉

### Referencias

- I. Bonilla, M. Mendoza, D.U. Campos-Delgado & A. Valdez-Fernández, 2014, "Robust Fault Diagnosis and Accommodation for a Robotic Manipulator under Human Interaction". Memorias del XVI Congreso Latinoamericano de Control Automático. Cancún, Quintana Roo, México.
- I. Bonilla, M. Mendoza, E. González-Galván, C. Chávez-Olivares, A. Loredó-Flores & F. Reyes, 2012, "Path-tracking Maneuvers with Industrial Robot Manipulators Using Uncalibrated Vision and Impedance Control". IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, Vol. 42, No. 6, pp. 1716-1729.
- I. Bonilla, F. Reyes, M. Mendoza & E. González-Galván, 2011, "A Dynamic-Compensation Approach to Impedance Control of Robot Manipulators". Journal of Intelligent and Robotic Systems, Vol. 63, No. 1, pp. 51-73.
- M. Mendoza, F. Reyes, I. Bonilla & E. González-Galván, "Proportional-Derivative Impedance Control of Robot Manipulators for Interaction Tasks". Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering, Vol. 225, No. 3, pp. 315-329, 2011.
- N. Hogan, 1985, Impedance Control: An Approach to Manipulation: Part I-Theory, Part II-Implementation and Part III-Applications, ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Vol. 107, pp. 1-24.

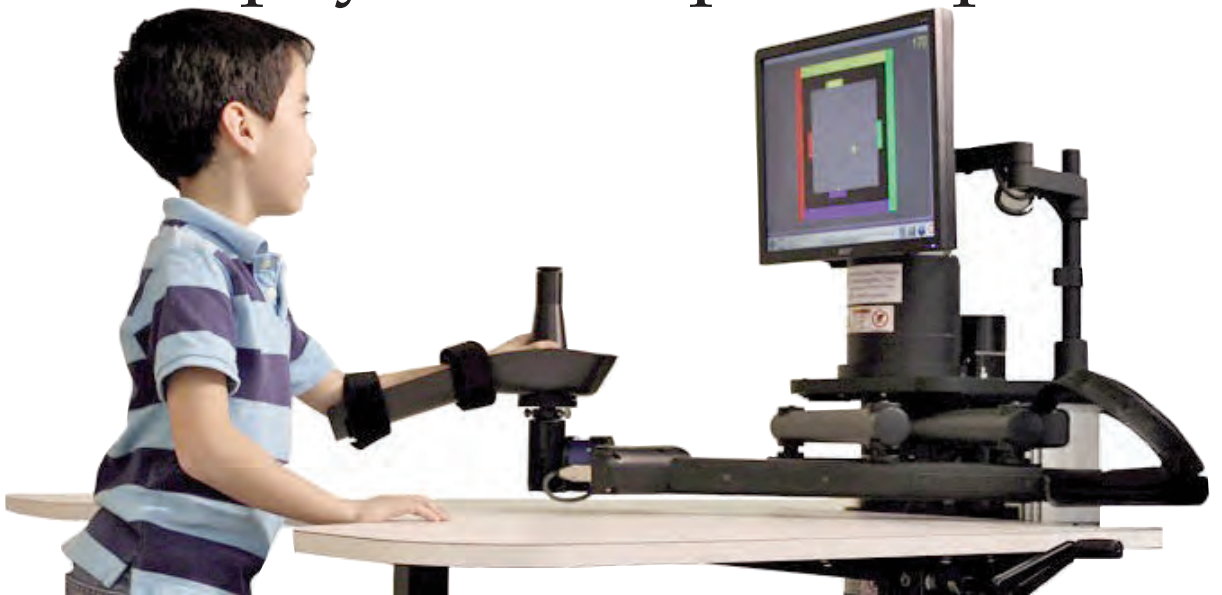
Emilio J. González Galván, Ubaldo Martínez Delgado, Joel Abad Puentes, Fernando Reyes Cortés, Dulce Rocío Fernández Pérez

# El uso de robots como apoyo en terapia ocupacional

La Organización Mundial de la Salud define a la terapia ocupacional como “el conjunto de técnicas, métodos y actuaciones que, a través de actividades aplicadas con fines terapéuticos, previene y mantiene la salud, favorece la restauración de la función, suple los déficit invalidantes y valora los supuestos comportamentales y su significación profunda para conseguir la mayor independencia y reinserción posible del individuo en todos sus aspectos: laboral, mental, físico y social”. El alcance de esta definición impone al terapeuta un grado de dedicación y preparación que le permita apoyar al cliente —que es el término aceptado para referirse a la persona que recibe este tipo de terapia— con algún tipo de limitación, ya sea física, cognitiva, conductual o una variedad de ellas, a recobrar la máxima funcionalidad en términos de independencia y autonomía personal. En este sentido, el experto en terapia ocupacional debe ser capaz de lograr, entre otros, los objetivos de entrenar, reeducar y reajustar las actividades básicas y hábitos de la vida diaria del cliente. Además, cuando sea necesario, debe confeccionar, prescribir o instruir en el uso de ayudas técnicas o el empleo de órtesis o prótesis, que le permitan superar sus limitaciones. Finalmente, se espera que pueda capacitar al individuo para lograr el mayor grado de reinserción socio-laboral posible, como miembro activo dentro de su comunidad y en su entorno cotidiano, en las mejores condiciones posibles.

Concebidos como una herramienta de apoyo a la labor del terapeuta, los dispositivos robóticos se ubican de manera preponderante dentro de la categoría de ayudas técnicas, con el potencial de coadyuvar en el logro de los objetivos de la terapia ocupacional. Tal y como se realizan actualmente, las prácticas de rehabilitación buscan reducir el grado de limitación física de una persona; por ejemplo, acelerando el proceso de recuperación en el uso de alguna extremidad afectada, incrementando su funcionalidad. La terapia generalmente involucra la interacción personal del paciente con el terapeuta, quien lo asiste y motiva a realizar un cierto número de ejercicios repetitivos. Es esta naturaleza repetitiva de la terapia la que la hace especialmente adecuada para ser administrada por robots especialmente diseñados para este propósito. Además, con el apoyo de un robot en la terapia puede lograrse una reducción en los esfuerzos del terapeuta, permitiendo evaluar cuantitativamente el avance, adaptando continuamente los ejercicios al paciente y permitiendo una planeación eficaz del programa de terapia. Otra ventaja de la rehabilitación asistida con robots es que permite una oportunidad única de probar si la terapia de movimiento puede tener influencia en la reducción de las limitaciones físicas del cliente.

Varios enfoques del uso de robots para rehabilitación han sido usados con el objeto de superar discapacidades motoras. Algunos de estos enfoques, por ejemplo, confían en el uso de un esqueleto externo, con el propósito de proporcionar apoyo y conducir el movimiento de una persona [1]. Un objetivo de este enfoque, conocido como tecnología de apoyo, es el de desarrollar robots que ayuden y operen junto con personas con capacidades diferentes. En contraste con este enfoque, existe otra tendencia de aplicación de la robótica para rehabilitación, cuyo objetivo es ayudar a los terapeutas a restaurar los movimientos propios de la persona e incrementar su productividad



• El robot MIT-Manus, imagen tomada de [https://www.lifetecinc.com/images/products/Company\\_177/Image\\_8637.jpg](https://www.lifetecinc.com/images/products/Company_177/Image_8637.jpg)

[2]. Basándose en este enfoque, en el año 1991 un robot llamado MIT-Manus fue introducido como una plataforma de prueba para evaluar el potencial de usar robots para ayudar y cuantificar la rehabilitación neurológica de las funciones motoras [3]. El sistema, ilustrado en la figura funciona de tal manera que una persona sentada en una mesa coloca su brazo y muñeca en una abrazadera sujeta al robot. Una pantalla de video induce al paciente a realizar un ejercicio como la unión de puntos o el dibujo de las manecillas de un reloj. Si el movimiento no ocurre, MIT-Manus mueve al brazo de la persona. Si la persona comienza a moverse por cuenta propia, el robot ajusta automáticamente el grado de asistencia y restricciones en la dirección de movimiento de la extremidad. El uso de este dispositivo ayudó a demostrar que la manipulación de una extremidad con limitada capacidad motora influye positivamente en la recuperación del uso de esa extremidad.

Las necesidades propias de la terapia ocupacional, que busca como fin último la inserción exitosa de un adulto en un ambiente laboral o de un menor en su entorno escolar y familiar, impone restricciones adicionales por parte de los dispositivos robóticos de apoyo a la terapia. Estos requerimientos están asociados no solo con la estabilidad y el funcionamiento seguro y confiable, regulado por las normas a las que deben sujetarse estos dispositivos, sino con la amplitud en los rangos de movimiento del robot, compatible con la dinámica que una tarea cotidiana o laboral demanda, como peinarse o enroscar un tornillo. En este contexto, puede argumentarse que un dispositivo robótico utilizado para apoyar la terapia ocupacional, tendrá un mayor impacto en el logro de los objetivos de este tipo de terapia, en la medida que pueda apoyar al cliente a reeducar sus movimientos para mover herramientas, como lo puede ser un cepillo o un desarmador, de la manera más natural posible, en forma efectiva y en cualquier posición y orientación. Para lograr este objetivo, un robot necesita de un mínimo de seis grados de libertad, que es un término que puede asociarse con el número de ejes o motores con los que cuenta para realizar sus movimientos.

El diseño de los robots y la exitosa integración de los algoritmos de control que permitan la interacción de estos dispositivos con un humano se complica en la medida en que este número de grados de libertad se incrementa. Por otro lado, aumenta también el costo de los equipos, lo que se convierte en un

obstáculo importante que permita su uso generalizado. Por ejemplo el robot MIT-Manus, que cuenta con solamente dos grados de libertad, tiene un costo de varios millones de pesos. De este modo, se justifica la investigación en esta importante rama de la robótica, considerando especialmente el número de personas con necesidad de terapia ocupacional. Este número ronda los 150 mil casos anuales en México, provenientes solo de personas que sobreviven a un evento vascular cerebral (EVC) [4], más aquellas afectadas por enfermedades de origen genético o crónico-degenerativas. Al incrementarse la edad, la probabilidad de incidencia de un EVC se duplica por cada década después de los 55 años de edad.

Distintos grupos de investigación y algunas empresas en México y en el extranjero han afrontado la importante labor de desarrollar sistemas que apoyen en la recuperación de personas con discapacidades motoras. Algunos de estos grupos han seguido la tendencia de desarrollo de tecnologías de apoyo, con éxito, por ejemplo, en la fabricación de prótesis inteligentes. Otros grupos, entre los que se encuentran investigadores de la UASLP y la BUAP, han incurrido en temas relacionados con el desarrollo de algoritmos de control de interacción y teleoperación. También han propiciado el uso de robots industriales adaptados para terapia ocupacional, con el fin de lograr una reducción en los costos asociados a su uso y desarrollo. La investigación de este tipo de tecnologías debe promoverse ya que, después de todo, no es posible garantizar que una persona no se verá afectada por problemas en su sistema neuromotor. ☞

freyes@ece.buap.mx ✉

## Referencias

- O'Malley M.K., Gupta A., 2006, "Design of a Haptic Arm Exoskeleton for Training and Rehabilitation". *IEEE/ASME Trans. on Mechatronics*. Vol. 11, No. 3, June, pp. 280-289.
- Krebs, H.I., Volpe B.Y., Lynch D., Hogan N., 2005, "Stroke Rehabilitation: An argument in favor of a Robotic Gym. Proceedings of the 2005". *IEEE 9th International Conference on Rehabilitation Robotics*. June 28-July 1, Chicago, IL., pp. 219-222.
- Krebs H.I., Hogan N., Aisen M.L., Volpe B.T., 1998, "Robot Aided Neuro-rehabilitation", *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering* 6:75-87.
- <http://www.worldlifeexpectancy.com/cause-of-death/stroke/by-country/> (consultada el 14 de Marzo de 2015).
- Bullis K., 2006, "A Helping Arm". *Technology review*. Dec. 2005/Jan 2006; 108(11); ABI/INFORM Global. Pp. 29.

Marco Octavio Mendoza Gutiérrez

La medicina representa un área de gran aplicación para los sistemas de control debido a la interacción, que en la actualidad ocurre, entre sistemas robóticos y el ser humano. Los robots médicos asocian fundamentalmente información de acción física que permita el mejoramiento significativo de la habilidad humana para desempeñar tareas importantes, como en intervenciones quirúrgicas, terapias de rehabilitación o simplemente ayudar a personas con discapacidad en las tareas de la vida diaria.

Una Enfermedad Vasculare Cerebral (EVC) se define como el conjunto de trastornos cerebrales originados por la afección temporal o permanente a causa de una hemorragia o ausencia del riego sanguíneo, y que a su vez puede provocar un infarto cerebral. Los efectos de una EVC pueden variar desde leves hasta severos y pueden incluir parálisis, problemas de raciocinio, del habla, de visión y de la coordinación motora. Las EVC son un grave problema de salud, ya que representan la

inferiores, para rodilla y tobillo. No obstante, pese al rápido crecimiento del sector, todavía se necesita trabajar intensamente para identificar nuevas soluciones de *hardware* y *software*, nuevos sistemas de control e instrumentos de validación de los resultados motores y funcionales. Por lo tanto, el desarrollo de dispositivos y esquemas de control de interacción, así como la integración de diversos sistemas sensoriales, resultan de gran importancia para garantizar terapias más personalizadas que permitan lograr una correcta rehabilitación y la reintegración de los pacientes a su vida cotidiana.

Recientemente, la comunidad de investigadores mexicanos que se dedican a la robótica ha mostrado un interés creciente en el desarrollo de aplicaciones enfocadas a procesos de terapia de rehabilitación. Se han presentado nuevos y mejorados diseños de sistemas robóticos para este fin, buscando con ello mejorar aspectos como un bajo costo, facilidad de uso,

profesores-investigadores de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) y que incluyen la colaboración de algunos investigadores de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) y el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT). Entre los proyectos que han surgido de esta colaboración se pueden mencionar el desarrollo de un sistema robótico para rehabilitación de hombro-codo, así como un sistema de terapia ocupacional basado en realidad aumentada. En el caso del sistema de terapia ocupacional ya se encuentra en una etapa inicial de evaluación y validación, en las instalaciones de la UASLP con la participación de especialistas del Instituto de Terapia Ocupacional (ITO). Para el financiamiento de estos proyectos se ha contado con el apoyo de las instituciones educativas en cooperación con la Secretaría de Educación Pública y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Las colaboraciones entre los profesores participantes han generado la publicación

## La robótica y su aplicación en terapias de rehabilitación

• Imagen tomada de [http://img.medicaexpo.es/images\\_me/photo-g/sistema-rehabilitacion-brazo-mano-configurado-ordenador-68750-110677.jpg](http://img.medicaexpo.es/images_me/photo-g/sistema-rehabilitacion-brazo-mano-configurado-ordenador-68750-110677.jpg)



segunda causa de muerte y primera de discapacidad a nivel mundial, según datos de la Asociación Mexicana de Enfermedad Vasculare Cerebral.

En la actualidad, gran parte de la actividad en terapia física y robótica de rehabilitación se ha centrado en la capacidad de rehabilitar el movimiento de las personas que han sufrido un evento de EVC o lesiones de la médula espinal. Las principales razones de este énfasis son (a) un número relativamente grande de pacientes en estas condiciones, (b) los altos costos asociados a la rehabilitación, y (c) el alto grado de avance que los pacientes pueden experimentar con una rehabilitación intensiva. De forma tradicional, la neuro-rehabilitación suele ser suministrada por terapeutas profesionales, incluyendo terapia física, ocupacional y terapia del habla. Este proceso lleva mucho tiempo, en donde el paciente aprende todos los días y realiza movimientos intensivos durante muchas semanas. Estudios realizados presentan evidencia científica de que la neuro-rehabilitación es un objetivo lógico para la automatización, debido a la naturaleza repetitiva de las tareas, la naturaleza mecánica, y porque el avance en la recuperación del paciente está vinculada con la cantidad de repeticiones que realice en su terapia. Además, un terapeuta robot puede evaluar cuantitativamente el avance, adaptando la terapia al paciente, permitiendo una planeación congruente de un programa de terapia.

En los últimos años se han diseñado diversos sistemas robóticos para rehabilitación, cuya eficiencia ha sido probada mediante diversos estudios clínicos. La gran mayoría de los avances logrados tienen que ver con la recuperación de la movilidad en extremidades superiores, para hombro y codo, y extremidades

seguridad, capacidad, portabilidad, etcétera. Otra característica muy importante es que un sistema robótico logre estimular a los pacientes, con la finalidad de que la terapia no sea vista como un ejercicio fastidioso, aburrido o rutinario; para ello se ha buscado mejorar las interfaces para hacerlas atractivas, incluyendo juegos o dinámicas que permitan una evolución más placentera para el paciente. Por ejemplo, una terapia asistida por robots consiste en mover el efector final del robot de acuerdo con una serie de metas definidas en una interfaz gráfica de usuario (típicamente a través de juegos de video). Si durante el desarrollo de la terapia el paciente no pudiera desempeñar la tarea en respuesta a los estímulos visuales, el robot debe ser capaz de asistir y guiar al paciente para completar el ejercicio requerido por la terapia. De manera particular, el campo de la realidad virtual ha sido utilizado como complemento a las terapias de rehabilitación convencionales de pacientes que han sufrido una EVC. Dadas las ventajas de este tipo de sistemas, en algunos proyectos se plantea el uso de objetos de realidad virtual mezclados con escenarios del mundo real, generando con esto lo que se conoce como realidad aumentada, donde se pretende diseñar tareas de terapia más atractivas y estimulantes para el usuario.

Las aportaciones de la comunidad científica en esta área se han incrementado día con día y esto se ha visto reflejado en el creciente número de trabajos de investigación que se han presentado en la ediciones más recientes de congresos de la Asociación Mexicana de Robótica e Industria, la Sociedad Mexicana de Ingeniería Biomédica y la Asociación Mexicana de Control Automático, entre otras. Algunos de estos trabajos han surgido del trabajo interdisciplinario que realizan

de artículos en revistas indexadas, congresos nacionales e internacionales, y la codirección de trabajos de tesis de licenciatura y posgrado.

Evidentemente un investigador no puede ser ajeno a las problemáticas sociales del país. Así, en situaciones adecuadas, resulta apropiado proponer soluciones tecnológicas a estos problemas tomando en cuenta sus consecuencias éticas y sus efectos sociales. La problemática en salud que representa la discapacidad ha motivado la aplicación de diversas herramientas tecnológicas, entre las cuales, la robótica se ha desarrollado en este campo a gran velocidad y aún representa un gran reto para investigaciones futuras. ☺

marco.mendoza@uaslp.mx ✉

### Referencias

- D. Hernández-Alfaro, I. Bonilla, D. Campos-Delgado & M. Mendoza, 2014, Esquema de Control de Impedancia Adaptable para Tareas de Interacción Humano-Robot. *AMRob Journal, Robotics: Theory and Applications*. Vol. 2, pp. 7-14.
- M. Mendoza, I. Bonilla, F. Reyes & E. González-Galván, 2012, "A Lyapunov-based Design Tool of Impedance Controllers for Robot Manipulators". *Kybernetika*, Vol. 48, pp. 1136-1155.
- H.I. Krebs, J.J. Palazzolo, L. Dipietro, M. Ferraro, J. Krol, K. Ranekleiv, B.T. Volpe, N. Hogan, 2003, Rehabilitation Robotics: Performance-Based Progressive Robot-Assisted Therapy. *Autonomous Robots*. Vol. 15, pp. 7-20.
- H.I. Krebs, N. Hogan, M.L. Aisen, B.T. Volpe, 1998, Robot-aided Neurorehabilitation, *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*. Vol 6, p.p. 75-87.
- G. Kwakkel, B.J. Kollen, H.I. Krebs, 2007, Effects of Robot-assisted Therapy on Upper Limb Recovery after Stroke: A Systematic Review, *Neurorehabilitation and Neural Repair*. Vol. 22, p.p. 111-121.

Sergio Cortés Sánchez

# Ilegitimidad presidencial y represión

Producto de una masiva compra de votos de financiamiento desconocido, y excediendo los gastos de campaña permitidos por la norma electoral, Enrique Peña Nieto fue ungido presidente de México en 2012; desde entonces, el abuso de poder y represión a la libre manifestación y expresión han sido directamente proporcional a la corrupción y deslegitimación de su gestión. El deterioro de la investidura presidencial se agudizó con los magros resultados de sus 28 meses de gestión (crecimiento económico menor al 4 por ciento, crecimiento del empleo de 1.5 por ciento y una devaluación del peso de 17.8 por ciento); con la muerte y desapariciones forzadas de Ayotzinapa y Tlatlaya; la reforma energética y la probable complicidad del Ejército en hechos represivos y lesivos a los derechos humanos.

Las múltiples y obsequiosas concesiones federales de territorios, subsuelo, agua, flora y fauna a favor del capital transnacional han generado multifacéticos movimientos sociales por la defensa de la vida, el patrimonio biocultural y el territorio; a esas expresiones sociales se les criminaliza y reprime y, a quienes intentan darle voz a estos despojados o simplemente informar y opinar al respecto, el Ejecutivo federal los margina, excluye y coarta su libertad de opinión: los excluye del presupuesto público, les limita y condiciona las concesiones para transmitir por el espectro radioeléctrico o les niega el indulto fiscal. Si además, esas voces críticas dan cuenta de conflictos de intereses, corrupciones, enriquecimientos ilícitos y abusos de poder, el secuestro de la libertad de expresión es fulminante, tal es el caso de la periodista Carmen Aristegui Flores (CAF), separada de la conducción del programa MVS *Primera Emisión* el pasado 15 de marzo.

CAF es la conductora de mayor penetración y credibilidad en la radio, ya sea en escucha directa o a través de redes sociales. En una encuesta nacional aplicada en febrero del año en curso, Parametría registró que a la mencionada periodista la conoce 46 por ciento de los ciudadanos y opinan bien de ella uno de cada tres personas de 18 años o más (<http://www.parametria.com.mx/>). En encuesta telefónica propia aplicada en el municipio de Puebla (20-22/09/2013), a CAF la conoce 63 por ciento de los ciudadanos y uno de cada dos le tiene confianza. La información actual de Facebook indica que CAF tiene 4.8 millones de seguidores; la revista *Proceso*, 3.0 millones; *El Universal*, 2.3 millones y *La Jornada*, 1.6 millones. En Twitter, CAF registró 3.7 millones de seguidores; Joaquín López Dóriga, 4.7 millones; Adela Micha, 3.5 millones; *El Universal*, 2.9 millones; Pedro Ferriz de Con, 1.4 millones, y *La Jornada*, un millón. No sólo por radio es escuchada CAF, sino también por computadores de escritorio, portátiles (*laptop*, *notebook* y *tablet*) y móviles, lo que aumenta su audiencia y credibilidad.

Los ciudadanos suelen informarse de política a través de la televisión en primer lugar; del internet, en segundo lugar y, en tercero, por la radio. En encuestas telefónicas de *La Jornada de Oriente* aplicadas a ciudadanos residentes en el municipio de Puebla, en 2007 la televisión era el medio por el que 65 por ciento se enteraba de política, en 2010 fue 57 por ciento y en 2013 era 37 por ciento; en cambio, los que se enteraron por el internet, para esos años fueron 5, 15 y 26 por ciento respectivamente; la radio, en esos años, fue el medio por el que se enteró 14 por ciento de los ciudadanos acerca de lo acontecido en política. Los puntos perdidos por la televisión aparecen en el internet, esa situación disminuye la influencia del duopolio televisivo y genera liderazgos en redes sociales al margen del control del espectro radioeléctrico y de la publicidad gubernamental; la masificación de las tecnologías de la información y comunicación permite conocer informaciones no alienadas al poder, entre otras voces críticas documentadas del México profundo (el de las inequidades y abusos de poder), lo es la de CAF, cinco veces corrida de medios masivos de comunicación (Imevisión de TV Azteca, Imagen Informativa, Círculo Rojo y W radio de Televisa y de MVS en 2011 y 2015).

En el municipio de Puebla, según fuentes propias, 53 por ciento de los ciudadanos que disponían de teléfono fijo en casa tenían computadoras de escritorio y portátiles en 2007; en 2013 fue de 72 por ciento; uno de cada tres hogares (que disponían de línea fija de teléfono) tenían acceso a internet en 2007, en 2013 fueron dos de cada tres. Si la fuente es el Módulo sobre Disponibilidad y Uso de las Tecnologías de la Información en los Hogares generado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), los hogares que disponían de computadoras en el estado de Puebla pasaron de 12 a 36 por ciento entre 2001 y 2014 y los hogares que tenían acceso a internet, en esos años, subieron de 6 a 31 por ciento. Esa misma intensidad se observó en los teléfonos celulares: en 2007 los hogares con móviles fueron 21 por ciento y en 2014 eran 44 por ciento.

Con base en el módulo del INEGI mencionado del año pasado, 41 por ciento de las personas de seis años o más de edad que residían en el estado de Puebla tenían una computadora de escritorio o portátil en el hogar; 38 por ciento eran internautas y 55 por ciento tenía un teléfono móvil o celular. Del equipo utilizado para conectarse a internet, 34 por ciento de las personas de seis años o más de edad accedieron a través de computadoras portátiles (*laptop*, *notebook* o *tablet*) o telefonía móvil (blackberry o iPhone o similar) y en cuanto al uso principal de

% de ciudadanos que...

	Municipio de Puebla Encuesta telefónica. 20-22 septiembre 2013		Parametría. Encuesta Nacional del 7-12 febrero 2015. Vivienda.	
	Sí han visto o escuchado a	Sí le tienen confianza a	Conoce a	Opina bien de
Adela Micha	92	50.9	83	73
Carlos Loret de Mora	85	41.6	76	57
Carmen Aristegui	<b>63</b>	<b>49</b>	<b>46</b>	<b>33</b>
Ciro Gómez Leyva	40	23.8	32	20
Javier Alatorre	90	57.2	82	66
Joaquín López Dóriga	90	50.3	91	73
Víctor Trujillo	68	35.3	50	30

Tratándose de política, ¿qué tanto le cree a...? % ciudadanos del municipio de Puebla

	Sí cree	No cree	Efectiva (Sí - No)
A la familia y amigos	50	43	6
En las noticias en la televisión	34	64	-30
En las noticias en la radio	38	58	-20
En los periódicos	40	55	-15
En las revistas políticas	40	54	-14
En los ministros de culto de su iglesia	30	64	-34
En los sacerdotes	32	64	-32
Al presidente de la República	22	77	-55
Los gobernadores	25	73	-49
Los presidentes municipales	24	74	-49
Los militares	35	60	-25
Los policías	22	75	-53
Los jueces	24	73	-48
Los diputados	16	82	-66
Los senadores	16	81	-65
Los de derechos humanos	40	56	-16
Los consejeros del IFE	34	62	-28
Los líderes de los campesinos	35	61	-25
Los líderes de los sindicatos	28	67	-39
Los líderes de los maestros	25	70	-45
Los de las cámaras empresariales	25	67	-42
Los banqueros	26	67	-41
Los candidatos independiente	32	61	-29
Al dirigente de su partido favorito	33	55	-23

Fuente: La Jornada de Oriente, Encuesta telefónica a ciudadanos residentes en el municipio de Puebla. 11-12 octubre 2013

Población de seis o más años residente en el estado de Puebla. 2014 % \*

Intervalo en años	Total	Usó computadora de escritorio o portátil	Usó internet	Usó celular o teléfono móvil en los últimos 12 meses
6 a 11	100	43	31	<b>16</b>
12 a 14	100	<b>84</b>	<b>77</b>	<b>44</b>
15 a 17	100	<b>81</b>	<b>78</b>	<b>63</b>
18 a 24	100	63	62	77
25 a 29	100	44	44	77
30 a 44	100	30	29	72
45 a 59	100	21	20	59
60 años o más	100	6	6	28
Total	100	41	38	55



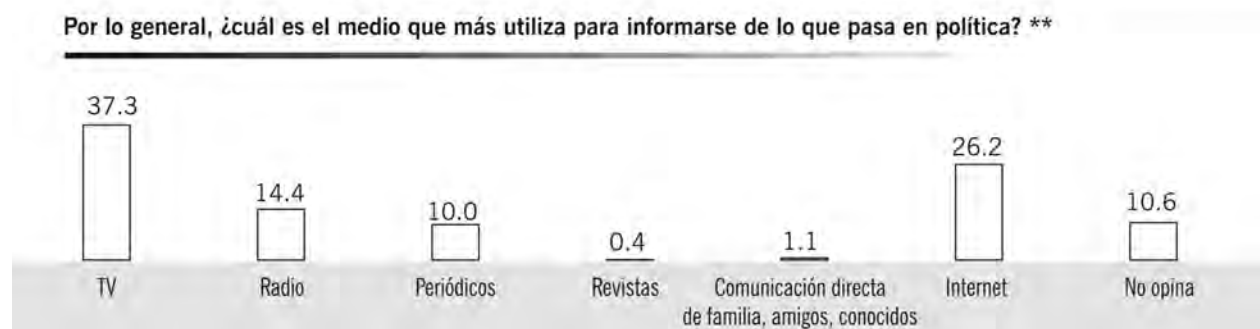
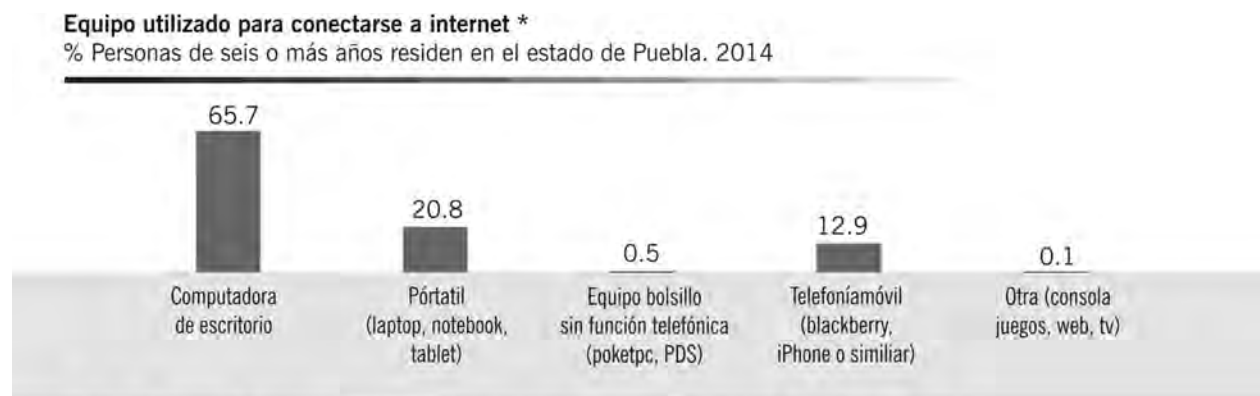
las computadoras, 24 por ciento mencionó que para acceder a internet.

La masificación de las tecnologías de la información y comunicación ha permitido acceder a fuentes distintas a las tradicionales (impresos, radio y televisión), y a las tradicionales desde una perspectiva crítica, en particular, en momentos de pérdida de confianza en las instituciones y de deslegitimidad de la Presidencia de la República. Con CAF se socializaba no solo la información, sino la indignación ante los actos de barbarie, despojo, autoritarismo y corrupción perpetrado por el Ejecutivo federal o avalados por él, ya sea por omisión o complicidad; CAF es un espacio necesario para reconstruir credibilidad en las instituciones y gobernabilidad; ella no fue la usufructuaria de la Casa Blanca, tampoco estableció una red de prostitución en el PRI del Distrito Federal, no asesinó a 22 personas en Tlatlaya, tampoco desapareció a 43 normalistas de Ayotzinapa ni rellenó las copas de Felipe Calderón Hinojosa; ella informó de esos actos y por dicha razón fue despedida de su programa.

Los fraudes electorales de 2006 y 2012 erosionaron la credibilidad en las instituciones, lo mismo sucedió con la crisis económica de 2009 y los cotidianos actos de corrupción, autoritarismo e impunidad de los funcionarios públicos. Peña Nieto actúa como si fuera un presidente legítimo y gozara de credibilidad y confianza; ignora que tres cuartas partes de los ciudadanos del municipio de Puebla desaprueban su gestión en estos momentos y que nueve de cada 10 consideran que no ha enfrentado adecuadamente los grandes problemas de la nación.

En 2013 (11-12/octubre) hicimos una encuesta de opinión sobre credibilidad de instituciones en el municipio de Puebla y el saldo neto (ciudadanos que sí creen menos los que no creen) de la Presidencia de la República fue de -55 por ciento, de los gobernadores y presidentes municipales de -49 por ciento; de los legisladores del Congreso de la Unión de -65 por ciento, de la televisión de -30 por ciento, de la radio de -20 por ciento y de los impresos de -15 por ciento. Ese mismo año (22-25/marzo) hicimos otro ejercicio sobre confianza en las instituciones y el saldo neto de las opiniones (favorables menos desfavorables) fue de -53 por ciento para el Presidente de la República, de -61 por ciento para los partidos políticos, de -72 por ciento para los diputados, de -49 por ciento para los jueces, de -28 por ciento para la televisión, de -12 por ciento para la radio y de -8 por ciento para los diarios; el promedio de 24 instituciones valoradas fue de -23 por ciento. Entre 2006 y 2013 realizamos una encuesta telefónica anual sobre cultura política en el municipio de Puebla, una de las preguntas fue sobre satisfacción con el funcionamiento de la democracia, las respuestas posibles eran muy satisfecho, más bien satisfecho, no muy satisfecho o nada satisfecho; el saldo neto de las opiniones (positivas-negativas) fue de -24 por ciento en 2006, -71 por ciento en 2009 y -49 por ciento en 2012. Los porcentajes negativos indican que las valoraciones favorables son menores a las desfavorables, cada vez hay mayor desilusión sobre el ejercicio de poder y los resultados de la gestión: el país es gobernado para unos cuantos poderosos fue el sentir de 83 por ciento de los ciudadanos en 2013, cuando en 2006 fue de 70 por ciento.

La democracia no funciona, tampoco el sistema de partidos ni el Estado de Derecho; la Constitución Política es letra muerta y la sumisión de los poderes Legislativo y Judicial al Ejecutivo es patética. Los medios de comunicación masivos alienados al poder nos narran historias oficiales que no corresponden a lo vivido y percibido por la mayoría de ciudadanos, y la voz de CAF es la voz y el sentir de muchos de los excluidos; silenciarlos es conculcar nuestro derecho a ser informados y a expresarnos. Desde otras plata-



\* Fuente: INEGI, 2014, Módulo sobre Disponibilidad y Uso de las Tecnologías de la Información en los Hogares  
\*\* La Jornada de Oriente, Encuesta telefónica a ciudadanos residentes en el municipio de Puebla. 20-22 de septiembre 2013.

**% Ciudadanos del municipio de Puebla**

Año de aplicación de la encuesta telefónica	Usa Internet para informarse de lo que pasa en política	Si tiene computadora de escritorio o portátil en casa	Usa computadora (tenga o no en casa)	Tienen Internet en hogar
2007	4.7	53	46	33
2008	7.2	56	50	35
2009	9.1	61	51	48
2010	14.6	63	53	53
2011	14.2	67	53	57
2012	22.8	72	57	64
2013	24.8	72	57	64

Fuente: La Jornada de Oriente, Encuesta telefónica a ciudadanos residentes en el municipio de Puebla. Años 2007-2013

formas y por medios no tradicionales se erigirán nuevos liderazgos sustentados en la credibilidad y la confianza, valores no observados en los medios de comunicación corporativizados. La navegación en internet de mexicanos de 12 a 17 años es intensa (ocho de cada 10), como lo es también el uso de móviles y equipo portátil para comunicarse e informarse, y son precisamente los jóvenes los menos temerosos al

cambio, los más proclives a luchar por dignificar su vida y construir futuros menos inciertos, ellos quizá no han pedido la esperanza de otro México: incluyente, tolerante, plural, equitativo y democrático; en ellos hay potencial de rebeldía e indignación. ☺

José Gabriel Ávila-Rivera

## Universo imperfecto

La idea de vivir en un entorno natural perfecto, como si fuésemos máquinas ideales en un universo inmutable, es algo que siempre ha seducido la mente de todos los seres humanos.

Los sumerios tenían tres deidades de la más alta jerarquía: Anu, Enlil y Enki. Para los griegos, Zeus era rey del cielo, de la Tierra y de todos los dioses del Olimpo. Los hindúes profesaban la idea de que el Universo es una gran esfera como una especie de gran huevo cósmico dentro del que existen muchos cielos, infiernos, continentes, océanos y en los que la India se encuentra en el centro, en infinitos círculos concéntricos.

Los mayas tomaban de su libro sagrado el *Popol Vuh*, la creación del mundo. El origen del universo según los aztecas estuvo a cargo del dios Ometecuhli quien, junto a Omecihuatl, creó toda la vida sobre la tierra. Esa pareja cósmica dio a luz a los cuatro dioses que más tarde establecerían cada uno de los soles y estos a su vez a más de mil 600 divinidades. Para la cultura judeocristiana, basta referirse al primer libro de la biblia y leer que Yahveh lo hizo en seis días, descansando el séptimo.

Cualquiera que no profese estas religiones, esbozará una candorosa sonrisa pensando en un cosmos con un origen totalmente alejado de estos conceptos; pero siendo francos, nadie actualmente puede albergar la idea de un universo con un inicio tan definido que pueda representar un pensamiento absoluto y veraz, sobre todo en el medio urbano, cuando pocos elevamos la vista hacia el cielo y casi todos dejamos de preguntarnos qué es lo que nos rodea; cómo surgió, cómo evoluciona y hacia dónde va.

Estamos acostumbrados a medir el tiempo y portamos relojes que marcan con puntualidad las horas y los días; pero no nos preguntamos sobre lo que es el tiempo en sí. Imaginamos que es una percepción esencialmente humana, sin considerar que para los animales la percepción del tiempo marca ciclos que permiten sus más vitales funciones, desde las alimenticias, las reproductivas y las migratorias, hasta las cotidianas costumbres de desenvolverse en un medio diurno o nocturno.

Sentir que vivimos en un espacio constante y perfecto nos genera una especie de comodidad. La inmutabilidad del universo permite que imaginemos una previsión del futuro de una manera invariable y decidida. Cualquier condición que altere esta dinámica, va a generar incertidumbre y toda perplejidad provocará temor. El miedo a lo desconocido puede llegar a ser atroz. Estas circunstancias estuvieron desde siempre vinculadas al fortalecimiento de las religiones.

Los griegos tenían un sistema de dioses que explicaba algunos fenómenos de la naturaleza, aunque buscaron revelar los misterios del mundo a través de un razonamiento profundo y bien estructurado. Para ellos, el conocimiento que se adquiría a través de la observación era una forma, digamos "inferior", de saber algo. Para ellos, el análisis y la lógica reflexiva con sus consecuentes deducciones eran la fuente más elevada de adquisición de teorías. En ese sentido, tal vez fue Aristóteles (384-322 antes de nuestra era) quien representó la más importante tradición de pensamiento filosófico vinculado a la explicación de los fenómenos físicos. Su influencia perduró muchos siglos y sus conceptos estuvieron tan arraigados que prácticamente nadie

se atrevió a contradecirlos. Él pensaba que la tierra era inmóvil ocupando el centro del universo y que el sol, la luna y los planetas se movían alrededor. Claudio Ptolomeo (100-170 de nuestra era) fue un astrónomo que reforzó las teorías aristotélicas, a través de un modelo que podía predecir algunas

El avance del conocimiento  
cada vez es más vertiginoso.  
Las teorías se sustituyen más rápido  
de lo que podríamos imaginar  
y las interrogantes se incrementan en  
una forma que asombra  
y que nos permite entender  
que estamos inmersos en un universo  
dinámico e imperfecto

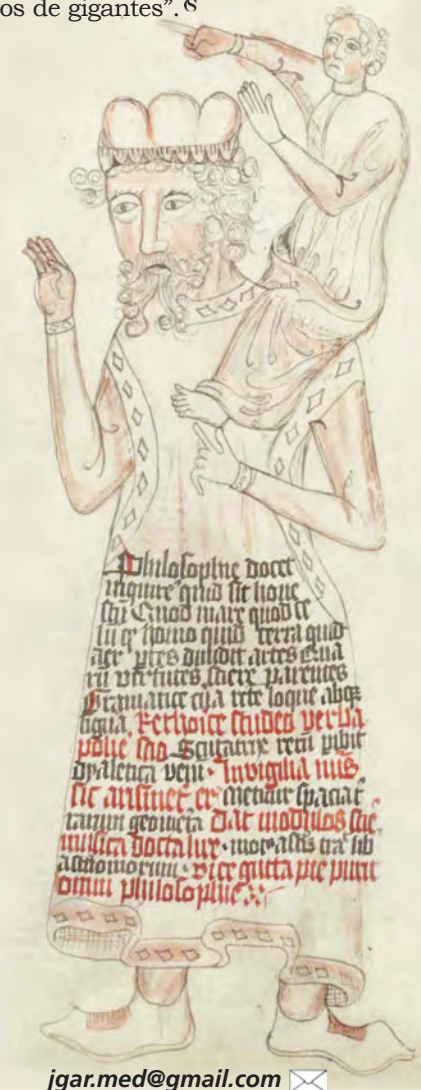
Stephen William Hawking,  
Alan Harvey Guth o Sir Roger Penrose  
nos hacen ver que podemos  
tener limitaciones en nuestros  
instrumentos de medición,  
pero los alcances de la inteligencia  
y la imaginación son inconmensurables

posiciones de los cuerpos celestes, aunque con muchas inconsistencias. Fue hasta más de 13 siglos después que el astrónomo polaco Nicolás Copérnico (1473-1543) planteara la teoría heliocéntrica con el sol, como punto central y los planetas circulando alrededor. Resulta curioso saber que sus primeras comunicaciones las hizo anónimamente, para evitar que la iglesia lo tomara como un hereje. Como sea, sus deducciones no fueron tomadas muy en serio durante casi 100 años. Fue la llegada del alemán Johannes Kepler (1571-1630), del danés Tycho Ottesen Brahe, mejor conocido como Tycho Brahe (1546-1601) y del italiano Galileo Galilei (1564-1642) quienes asestaron el golpe final a la teoría aristotélica/ptolemáica.

La revolución se había iniciado ya y en menos de 100 años, Sir Isaac Newton (1642-1727) describiría la ley de la gravitación universal, con unas leyes que ahora llevan su nombre y que plantearon las bases de la mecánica. Es asombroso cómo con su impresionante inteligencia, dedujo que los cuerpos se atraían, uno a otro en una forma directamente proporcional a su masa e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa. Se podía haber pensado que con esto estaban completamente revelados los misterios más recónditos del universo; sin embargo, la teoría newtoniana fue suplantada por otra en el siglo XX, elaborada por un alemán, quien trabajando como un humilde revisor de patentes, desarrolló la teoría de la relatividad: Albert Einstein (1879-1955).

El avance del conocimiento cada vez es más vertiginoso. Las teorías se sustituyen más rápido de lo que podríamos imaginar y las interrogantes se incrementan en una forma que asombra y que nos permite entender que estamos inmersos en un universo dinámico e imperfecto. Nuevos científicos como el sorprendente Stephen William Hawking (1942), Alan Harvey Guth (1947) o Sir Roger Penrose (1931) nos hacen ver que podemos tener limitaciones en nuestros instrumentos de medición, pero los alcances de la inteligencia y la imaginación son inconmensurables.

Vivimos en la incertidumbre de la imperfección; pero también nos acercamos a conocimientos de la naturaleza espectaculares e indómitos, que hacen de la vida algo formidable. En este sentido la frase del filósofo Bernardo de Chartres (de quien solamente se sabe que murió después del año 1124) es perfecta: "somos unos enanos encaramados en hombros de gigantes".<sup>6</sup>



jgar.med@gmail.com



# Historia de las matemáticas en los últimos 10,000 años

Alberto Cordero

Las matemáticas no nacieron plenamente formadas. Fueron haciéndose gracias a los esfuerzos acumulativos de muchas personas que procedían de muchas culturas y hablaban diferentes lenguas. Ideas matemáticas que se usan hoy datan de hace más de 4 mil años. Muchos de los descubrimientos humanos son efímeros; el diseño de las ruedas de carro fue muy importante para el Reino Egipcio, pero hoy día no es exactamente tecnología de vanguardia. Las matemáticas, por el contrario, suelen ser permanentes. Una vez que se ha hecho un descubrimiento matemático está a disposición de cualquiera y con ello adquiere una vida propia. Las buenas ideas matemáticas difícilmente pasan de moda, aunque la forma de implementarlas puede sufrir cambios espectaculares. Hoy seguimos utilizando métodos para resolver ecuaciones que fueron descubiertas por los antiguos babilonios. Ya no utilizamos su notación, pero el vínculo histórico es innegable.

Las matemáticas empezaron con los números, y los números siguen siendo fundamentales, incluso si la disciplina ya no se limita a los cálculos numéricos. Sobre la base de los números, las matemáticas han construido conceptos más sofisticados y se han desarrollado hasta construir un área muy amplia y variada del pensamiento humano, que va mucho más allá de lo que encontramos en un típico temario escolar. Las matemáticas de hoy tratan más de estructuras, pautas y formas que de los propios números. Sus métodos son muy generales, y a menudo muy abstractos. Tienen aplicaciones en la ciencia, la industria, el comercio, incluso las artes. Las matemáticas son universales y ubicuas.

**Empezó con números.** Por milenios, matemáticos de muchas culturas han creado una enorme superestructura cimentada en los números: geometría, cálculo infinitesimal, dinámica, probabilidad, topología, caos, complejidad, etcétera. La revista *Mathematical Reviews*, que registra cada nueva publicación matemática, clasifica la disciplina en casi 100 áreas mayores, subdivididas en varios miles de especialidades. Hay más de 50 mil matemáticos investigadores en el mundo que publican más de un millón de páginas de matemáticas al año. Matemáticas genuinamente nuevas, no sólo pequeñas variaciones sobre resultados ya existentes.

**Para qué nos sirven los números.** La mayoría de los modernos automóviles (y los teléfonos celulares) están ahora equipados con un GPS. Un pequeño dispositivo que, acoplado a

la física de las cuerdas vibrante, que se mueven en pautas ondulatorias. El número de ondas que pueden encajar en una longitud dada de cuerda es un número entero, y estos números enteros determinan las razones numéricas simples. Si los números no forman una razón simple, entonces las notas correspondientes interfieren, produciendo <<batidos>> discordantes que son desagradables al oído. La historia completa es más compleja, e incluye aquello a lo que el cerebro está acostumbrado, pero hay un argumento físico preciso tras el descubrimiento pitagórico.

**Para qué nos sirve la aritmética.** Nosotros utilizamos la aritmética continuamente en nuestra vida diaria, en el comercio y en la ciencia. Hasta el desarrollo de las calculadoras electrónicas y las computadoras hacíamos los cálculos a mano, con papel y lápiz, o utilizábamos ayudas tales como el ábaco o un libro impreso con tablas de múltiplos de cantidades de dinero. Hoy la mayor parte de la aritmética se hace electrónicamente entre bastidores: las cajas del supermercado dicen ahora a las cajeras cuánto dinero deben devolver, por ejemplo, y los bancos nos dicen el total de nuestra

nuestro automóvil, nos dice dónde estamos exactamente en cualquier momento y nos presenta un mapa que muestra las carreteras vecinas. Una voz puede decirnos por dónde ir para llegar a un destino especificado. Un componente esencial, que no es parte de la pequeña caja acoplada al automóvil, es el sistema de posicionamiento global (GPS), que comprende 24 satélites que orbitan alrededor de la Tierra (a veces más, cuando se lanzan los satélites de reemplazo). Estos satélites envían señales, y estas señales pueden utilizarse para deducir la posición del automóvil con un margen de unos pocos metros.

Las matemáticas entran en juego en muchos aspectos de la red GPS, pero aquí mencionaremos sólo uno: cómo se utilizan las señales para calcular la posición del automóvil. Las señales de radio viajan a la velocidad de la luz, que es aproximadamente 300 mil kilómetros por segundo. Una computadora a bordo del automóvil —un chip en la caja que compramos— puede calcular la distancia del automóvil a cualquier satélite dado si conoce cuánto ha tardado la señal en viajar desde el satélite al automóvil. Este tiempo es normalmente del orden de una décima de segundo, pero ahora es fácil medirlo de forma precisa. El truco consiste en estructurar la señal de modo que contenga información sobre el tiempo. En efecto, el satélite y el receptor en el automóvil cantan una misma canción, y comparan su compás. Las <<notas>> procedentes del satélite irán ligeramente retrasadas respecto a las producidas en el automóvil. En esta antología, las letras podrían ir así:

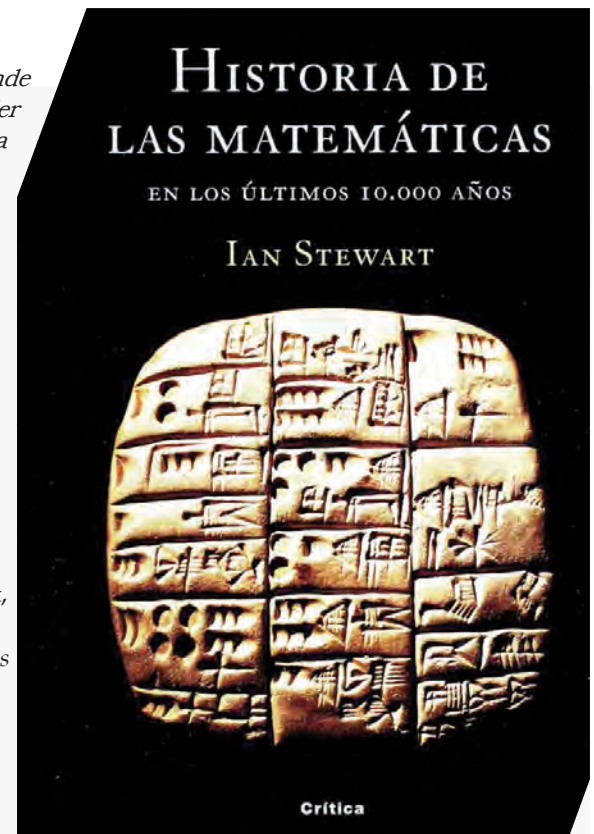
Automóvil... una paloma, trátala con cariño que es...  
Satélite... si a tu ventana llega una paloma...  
Aquí la canción del satélite va unas tres palabras detrás de la misma canción en el automóvil. Satélite y receptor deben generar la misma <<canción>>, y <<notas>> sucesivas deben ser identificables, de modo que la diferencia de tiempo es fácil de observar. Por supuesto, el sistema de navegación por satélite no utiliza realmente una canción. La señal consiste en una serie de pulsos breves cuya duración está determinada por un <<código pseudo-aleatorio>>. Este consiste en una secuencia de números que parece aleatoria pero que realmente está basada en una regla matemática. Tanto el satélite como el receptor conocen la regla, de modo que pueden generar la misma secuencia de pulsos.

**La armonía del mundo.** El principal apoyo empírico para el concepto pitagórico del universo numérico procedía de la música, en donde habían advertido algunas notables relaciones entre sonidos armónicos y divisiones numéricas simples. Utilizando experimentos sencillos, ellos descubrieron que una cuerda pulsada produce una nota de un tono particular, entonces una cuerda de la mitad de longitud produce una nota extraordinariamente armoniosa, ahora llamada la octava. Una cuerda de una longitud dos tercios produce la siguiente nota más armoniosa, y una de tres cuartos de longitud también produce una nota armoniosa.

Hoy esos aspectos numéricos de la música se remiten a la física de las cuerdas vibrante, que se mueven en pautas ondulatorias. El número de ondas que pueden encajar en una longitud dada de cuerda es un número entero, y estos números enteros determinan las razones numéricas simples. Si los números no forman una razón simple, entonces las notas correspondientes interfieren, produciendo <<batidos>> discordantes que son desagradables al oído. La historia completa es más compleja, e incluye aquello a lo que el cerebro está acostumbrado, pero hay un argumento físico preciso tras el descubrimiento pitagórico.

**Para qué nos sirve el cálculo infinitesimal.** Las ecuaciones diferenciales abundan en la ciencia: son de lejos la manera más común de modelar sistemas naturales. Por escoger una aplicación al azar, se utilizan rutinariamente para calcular las trayectorias de las sondas espaciales, tales como la misión *Mariner a Marte*, las dos naves *Pioneer* que exploraron el sistema solar y nos dieron imágenes maravillosas de Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, y los recientes vehículos robóticos de seis ruedas *Mars Rovers Spirit y Opportunity* que exploraron el Planeta Rojo. La misión *Cassini*, que actualmente explora Saturno y sus lunas es otro ejemplo. Entre sus descubrimientos está la existencia de lagos de metano y etano líquido en Titán, una luna de Saturno. Por supuesto, el cálculo infinitesimal no es la única técnica utilizada por misiones espaciales; pero sin él, estas misiones nunca habrían despegado literalmente del suelo.

De forma más práctica, toda aeronave que vuela, todo automóvil que viaja por carretera y todo puente colgante y edificio a prueba de terremotos debe su diseño en parte al cálculo infinitesimal. Incluso nuestra comprensión de cómo cambia el tamaño de las poblaciones animales con el tiempo deriva de ecuaciones diferenciales. Lo mismo sucede con la difusión de las epidemias, donde modelos basados en el cálculo infinitesimal se utilizan para planificar la forma más eficaz de intervenir y prevenir la expansión de la enfermedad.  $\square$



Ian Stewart, *Historia de las matemáticas en los últimos 10,000 años*, Crítica (2007).

La aritmética por computadora no se realiza realmente en formato decimal. Las computadoras utilizan un sistema de base 2, o binario, y no de base 10. En lugar de unidades, decenas, centenas, millares y demás, las computadoras utilizan 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256 y así sucesivamente: las potencias de dos, cada una de ellas doble de su predecesora. (Por esto la tarjeta de memoria de su cámara digital viene en tamaños como 256 megabytes.) En una computadora, el número 100 se descompone como  $64+32+4$  y se almacena en la forma 1100100.

**Para qué sirve el cálculo infinitesimal.** Las ecuaciones diferenciales abundan en la ciencia: son de lejos la manera más común de modelar sistemas naturales. Por escoger una aplicación al azar, se utilizan rutinariamente para calcular las trayectorias de las sondas espaciales, tales como la misión *Mariner a Marte*, las dos naves *Pioneer* que exploraron el sistema solar y nos dieron imágenes maravillosas de Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, y los recientes vehículos robóticos de seis ruedas *Mars Rovers Spirit y Opportunity* que exploraron el Planeta Rojo. La misión *Cassini*, que actualmente explora Saturno y sus lunas es otro ejemplo. Entre sus descubrimientos está la existencia de lagos de metano y etano líquido en Titán, una luna de Saturno. Por supuesto, el cálculo infinitesimal no es la única técnica utilizada por misiones espaciales; pero sin él, estas misiones nunca habrían despegado literalmente del suelo.

Tania Saldaña Rivermar y Constantino Villar Salazar

## Sin agua, ¿qué sigue?

*“El agua es la fuerza motriz  
de toda la naturaleza”.*

Leonardo da Vinci



La utilización del agua por parte de las sociedades humanas ha ido variando a lo largo de la historia; el tipo de vida y los hábitos de consumo permitieron tener una relación muy cercana con este recurso. Desde que apareció el hombre sobre la Tierra tuvo la necesidad de buscar fuentes de agua y alimento, convirtiéndose en una actividad primordial. Los primeros grupos de hombres eran nómadas, los cuales viajaban junto a las migraciones de los animales ya que utilizaban el mismo camino donde había agua y dónde crecía cierto tipo de plantas. El paso del tiempo llevó a que descubrieran la agricultura, y con ello dejar el nomadismo para convertirse en sedentarios estableciéndose cerca de los cuerpos de agua.

Hoy en día, el agua sigue siendo un recurso natural muy importante para cualquier ser vivo, aun para aquellos que viven en ambientes donde el agua es un recurso muy escaso; sin embargo, en la actualidad, el riesgo de quedarnos sin agua es una situación alarmante en cualquier sitio de nuestro país. La distribución del agua dulce no es homogénea en el planeta; si, por ejemplo, le preguntas a una persona que vive en las zonas desérticas de México, te dirá que es raro ver llover en ese lugar, pero si te vas a Tabasco, la cantidad de lluvia que cae al año es el doble o triple de lo que pueda caer en el desierto. Aunado a esto, si le sumamos que cada día la contaminación de nuestros ríos, lagos, lagunas y la sobreexplotación de los mantos freáticos y el crecimiento de las poblaciones pone en riesgo que en un futuro no muy lejano el país disponga de menos de la mitad del agua y que México sea catalogado como un país con disponibilidad promedio baja.

El agua es un recurso vital; si hasta hace tiempo no nos habíamos preocupado por protegerla como una de las necesidades más importantes para llevar una vida digna, se debía a que la considerábamos un recurso inagotable. Hoy sabemos que no es así, el acelerado empobrecimiento del recurso y la grave escasez que padecen millones de personas nos han obligado a pensar en la necesidad de reconocer y proteger este derecho, del cual depende la vida. Esto llevó a que hace algunos años el Estado mexicano se viera obligado a reconocer y proteger el derecho al agua, a través de un pacto internacional sobre los derechos económicos, sociales y culturales, del cual se derivó que todo ser humano tiene el derecho universal al agua. Sin embargo, de ser así, hoy en día no tendríamos graves problemas de salud y de distribución para las poblaciones en donde a lo largo de los años han sido marginadas de este derecho.

Conociendo todo esto, en los últimos días se ha puesto en entredicho lo que hace años se estableció el de respetar y reconocer el derecho universal al agua a través de la ley general de aguas nacionales, conteniendo puntos contrarios a garantizar el derecho humano al agua, algunos de los objetivos es tener un aumento en las tarifas a consumidores, corte del servicio y principalmente una mala calidad del líquido, entre otros, lo que afectaría sobre todo a los sectores más vulnerables y siendo beneficiado el sector privado, en donde se le otorgaría a los consorcios que están operando y distribuyendo el agua la facilidad

para violar los derechos territoriales de muchos pueblos y comunidades que poseen una parte de las aguas del país.

A primera vista, el derecho humano al agua podría parecer un asunto de importancia meramente legal, sin embargo va mucho más allá. Es indispensable reestructurar la gobernanza del agua en México, y dar a la sociedad civil mayor capacidad de impacto en las políticas públicas, en beneficio de la población que se ha visto marginada a lo largo de la historia. <sup>6</sup>

## EN CASO DE EMERGENCIA

Miguel Vélez



✉ [traslashuellasdelanaturaleza@hotmail.com](mailto:traslashuellasdelanaturaleza@hotmail.com)

f Tras las huellas    @helaheloderma

Guadalupe Rivera, Montserrat Flores, Raúl Mújica



◀ HAWC y el Pico de Orizaba el 20 de marzo

▶ La Dra. France Córdova, el Dr. Enrique Cabrero y el Dr. Alberto Carramiñana.

▼ Los invitados especiales apretaron el botón de arranque de HAWC.

• Fotos: José Ramón Valdés (INAOE)

El pasado 20 de marzo, con la presencia de las más altas autoridades en materia de ciencia y de tecnología de México y de Estados Unidos, fue inaugurado el observatorio de rayos gamma HAWC, ubicado en el Volcán Sierra Negra en el estado de Puebla.

La ceremonia de inauguración fue presidida por la Dra. France A. Córdova, Directora de la National Science Foundation (NSF) de Estados Unidos; el Dr. Enrique Cabrero Mendoza, Director General del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt); el Dr. Alberto Carramiñana Alonso, Director General del INAOE; el Dr. Carlos Arámburo de la Hoz, Coordinador de la Investigación Científica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); el Dr. José Eduardo Espinosa Rosales, Director de Divulgación Científica de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), y por el Ing. Luis Raúl Álvarez Oseguera, Director del Parque Nacional Pico de Orizaba.

En un breve discurso, el Dr. Alberto Carramiñana Alonso, Director General del INAOE y líder de la colaboración HAWC por parte de México, comentó que este experimento de punta se ubica en un sitio privilegiado, y que es un orgullo que se localice en nuestro país. “Mucha gente merece reconocimiento por la ardua labor que representó día a día la instalación de este magnífico observatorio y por el desarrollo de las herramientas invisibles que lo hacen explotable científicamente. Está por delante el pleno aprovechamiento de HAWC. El día de hoy celebramos el fin de la instalación y la puesta en funcionamiento del arreglo completo. Hoy deja de ser proyecto para convertirse en un observatorio en plena operación con todo un universo por delante”, añadió.

Por su parte, el Dr. Carlos Arámburo de la Hoz, Coordinador de la Investigación Científica de la UNAM, felicitó a los participantes en el proyecto, reconoció a las instituciones que han financiado HAWC y habló de la importancia de la colaboración entre científicos.

A su vez, el Dr. Jordan Goodman, investigador de la Universidad de Maryland y líder de la colaboración HAWC por la parte estadounidense, se refirió a la relevancia de la cooperación e hizo un reconocimiento a todas y cada una de las personas que han hecho posible que HAWC alcance un importante hito. Subrayó la relevancia del papel de las instituciones financiadoras como la NSF, el Conacyt y el Departamento de Energía (DoE) de Estados Unidos.

La Dra. France Córdova, directora de la NSF, apuntó: “HAWC representa una asociación única entre la NSF, el DoE y Conacyt. Hay mucha gente talentosa en HAWC, en Maryland, Los Alamos, UNAM e INAOE, toda la gente que lo construyó y que ahora lo

opera. HAWC representa un paso crítico en nuestro esfuerzo para comprender los extraordinarios misterios de nuestro universo. Monitoreará aproximadamente dos tercios del cielo cada 24 horas, con sensibilidad sin precedente, para detectar las más altas energías, los rayos gamma, y se complementará con otros observatorios”.



Dijo estar gratamente sorprendida por la exhibición de dibujos infantiles montada en la Escuela Primaria Rural Felipe Carrillo Puerto en Texmalaquilla, la cual está integrada por obras participantes en el concurso de dibujo infantil “HAWC: observando el universo extremo”.

Al respecto, señaló: “Quiero agradecer a todos los involucrados en esta exhibición. Fue maravilloso ver el arte de todos los jóvenes estudiantes, y ver cómo están emocionados por tener este observatorio aquí en las montañas, justamente detrás de sus casas. Esperemos que en unos 20 años muchos de estos jóvenes estudiantes sean científicos e ingenieros”.

Finalmente, el Dr. Enrique Cabrero, Director del Conacyt, destacó la asociación entre científicos de muchas instituciones de México y Estados Unidos en el proyecto e hizo un recuento de la historia del mismo. “Hoy finalmente culmina este esfuerzo colaborativo. HAWC está listo para arrancar de lleno, alcanzar su pleno desarrollo y consolidarse como el instrumento más poderoso capaz de observar los sucesos más extraordinarios que ocurren en el cosmos”, concluyó.

HAWC es único en el mundo por su capacidad de detectar de manera permanente la radiación

electromagnética más energética del Universo, observando diariamente dos tercios de la bóveda celeste. Ubicado en el Volcán Sierra Negra, en el estado de Puebla, a 4 mil 100 metros sobre el nivel del mar, HAWC (High Altitude Water Cherenkov, por sus siglas en inglés) está integrado por 300 detectores Cherenkov, cada uno constituido por un enorme contenedor de agua ultra pura de cinco metros de alto por 7.3 metros de diámetro, dotado con instrumentación de muy alta sensibilidad. Este experimento monitorea las 24 horas del día los 365 días del año fuentes celestes emisoras de rayos gamma.

Con HAWC los científicos podrán estudiar los fenómenos más violentos del Universo, como explosiones de supernova, coalescencia de estrellas binarias y el colapso de objetos compactos. HAWC estudiará la actividad del centro de la Vía Láctea, pulsares y sus nebulosas asociadas, regiones de aceleración de rayos cósmicos y la distribución en detalle del campo magnético galáctico. Además se podrá monitorear la actividad solar y su interacción con el campo magnético terrestre. También será posible hacer estudios relacionados con la naturaleza de la materia oscura.

Las instituciones participantes de México son la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados y el Centro de Investigación en Computación del Instituto Politécnico Nacional, el Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica, la Universidad Autónoma de Chiapas, la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, la Universidad de Guadalajara, la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, la Universidad Nacional Autónoma de México a través de los institutos de Astronomía, Física, Ciencias Nucleares y de Geofísica y la Universidad Politécnica de Pachuca.

Las instituciones estadounidenses que participan en HAWC son Colorado State University, George Mason University, Georgia Institute of Technology, Los Alamos National Laboratory, Michigan State University, Michigan Technological University, NASA/Goddard Space Flight Center, Pennsylvania State University, University of California Irvine, University of California Santa Cruz, University of Maryland, University of New Hampshire, University of New Mexico, University of Utah, University of Wisconsin Madison y University of Rochester. ☺

### más información

<http://www.hawc-observatory.org/>



grivera@inaoep.mx · mflorosp@inaoep.mx  
rmujica@inaoep.mx ✉

José Ramón Valdés

## Calendario astronómico Abril 2015

Las horas están expresadas en Tiempo Universal (UT)

**Abril 01, 13:00.** Luna en el apogeo. Distancia geocéntrica: 406,012 km. Iluminación de la Luna: 92.3%.

**Abril 04, 12:00.** Eclipse total de Luna. Visible en Asia, Australia, el Pacífico y las Américas.

**Abril 04, 12:05.** Luna llena. Distancia geocéntrica: 402,834 km.

**Abril 08, 13:24.** Saturno a 1.7 grados al Sur de la Luna en la constelación del Escorpión. Elongación del planeta: 133.9 grados. Configuración observable después de la media noche del 7 de abril hacia el horizonte oriente.

**Abril 08, 13:02.** Júpiter estacionario. Elongación del planeta: 114.1 grados.

**Abril 10, 03:46.** Mercurio en conjunción superior. Distancia geocéntrica: 1.3356 U.A.

**Abril 11, 17:524.** Plutón a 2.8 grados al Sur de la Luna en la constelación de Sagitario. Elongación del planeta: 96.0 grados. Configuración observable en las últimas horas de la madrugada hacia el Este de la esfera celeste.

**Abril 12, 03:44.** Luna en Cuarto Menguante. Distancia geocéntrica: 375,850 km.

**Abril 15, 14:21.** Neptuno a 3.2 grados al Sur de la Luna en la constelación de Acuario. Elongación del planeta: 46.4 grados. Configuración observable hacia el horizonte oriente, inmediatamente antes de la salida del Sol.

**Abril 16, 23:16.** Plutón estacionario. Elongación del planeta: 101.1 grados.

**Abril 17, 03:47.** Luna en perigeo. Distancia geocéntrica: 361,023 km. Iluminación de la Luna: 3.9%.

**Abril 18, 09:14.** Venus en el perihelio. Distancia heliocéntrica: 0.7184 U.A.

**Abril 18, 18:56.** Luna nueva. Distancia geocéntrica: 363,214 km.

**Abril 19, 19:47.** Mercurio en el perihelio. Distancia heliocéntrica: 0.3075 U.A.

**Abril 21, 19:27.** Venus a 7.1 grados al Norte de la Luna en la constelación del Toro. Elongación de Venus: 40.5 grados. Configuración observable, hacia el horizonte Poniente, inmediatamente después de la puesta del Sol.

**Abril 22, 09:03.** Máximo brillo de Mercurio ( $V = -1.2$ ). Elongación del planeta: 13.33 grados

**Abril 22.** Lluvia de meteoros Líridas. Actividad del 16 al 25 de abril con el máximo el 22 de abril. La tasa horaria es de 18 meteoros, aunque en ocasiones ha llegado hasta 90. El radiante se encuentra en la constelación de la Lyra, con coordenadas de AR=271 grados

SMCTSM

35<sup>th</sup> Anniversary

## Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales A.C.

# SMCTSM 35<sup>th</sup> Anniversary VIII International Conference on Surfaces, Materials and Vacuum

September 21 - 25, 2015. Puebla, Mexico  
BUAP, Carolino Building, Historical Center

## SYMPOSIA

Photothermal Phenomena, Plasma and Vacuum  
Renewable Energy: Solar Cells and Materials  
Ab-initio Calculations and Supercomputing  
Advanced and Multifunctional Ceramics  
Characterization and Metrology  
Microelectronics and MEMS  
Biomaterials and Polymers  
Semiconductors  
Nanostructures  
Thin Films  
Tribology  
Sol Gel  
Divulgación de la Ciencia

### Local Organization

Wilfrido Calleja Arriaga  
INAOE  
wcallega@inaoep.mx  
Gregorio Hernández Cocoltzi  
IF-BUAP  
cocoltzi@ifuap.buap.mx



FURTHER INFORMATION [www.smctsm.org.mx/VIII\\_ICSMV/](http://www.smctsm.org.mx/VIII_ICSMV/)

y DEC=+34 grados. Asociada con el cometa C/1861 G1 Thatcher.

**Abril 23, 07:06.** Mercurio a 1.4 grados al Norte de Marte en la constelación de Aries. Elongación del Mercurio: 14.2 grados. Configuración no observable por la cercanía de ambos planetas con el Sol.

**Abril 24.** Lluvia de meteoros Pi-Púpidas. Actividad del 15 al 28 de abril con el máximo el 24 de abril. La tasa horaria de meteoros es variable. El radiante se encuentra en la constelación de Puppis, con coordenadas de AR=110 grados y DEC=-45 grados. Asociada con el cometa 26P/Grigg-

Skjellerup.

**Abril 25, 23:55.** Luna en Cuarto Creciente. Distancia geocéntrica: 399,175 km.

**Abril 26, 17:43.** Júpiter a 5.8 grados al Norte de la Luna en la constelación de Cáncer. Elongación del planeta: 96.9 grados. Configuración visible hasta la media noche.

**Abril 29, 03:55.** Luna en el apogeo. Distancia geocéntrica: 405,083 km. Iluminación de la Luna: 78.5%.

✉ [jvaldes@inaoep.mx](mailto:jvaldes@inaoep.mx)

José Ramón Valdés Parra y Raúl Mújica García

# Rosetta y Philae: descifrando jeroglíficos celestes

**A** inicios de agosto, la misión Rosetta llegó a su destino, el cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko (67P), iniciando un capítulo clave en la exploración del Sistema Solar. Rosetta tiene como objetivo estudiar al cometa con detalles nunca antes obtenidos y cuenta con dos componentes, una que está orbitando al cometa, mientras que la otra, Philae, “aterrizó” en el núcleo, el pasado noviembre, pero no en las condiciones previstas.

Con las investigaciones realizadas durante su maniobra de aproximación al cometa 67P, la nave Rosetta ha comenzado a explorar, con una precisión y detalles que no tienen precedentes, nuestros orígenes; es decir las condiciones que existían en la nube primordial donde se formaron el Sol, los planetas y demás cuerpos del sistema solar hace unos 4 mil 500 millones de años.

Un resultado muy importante que mostró la cámara OSIRIS (Optical, Spectroscopic and Infrared Remote Imaging System) es la extrema complejidad de la superficie del cometa (terrenos cubiertos de polvo, material frágil con fosas y estructuras circulares, grandes depresiones, superficies lisas y zonas de material consolidado), lo cual indica una extraordinaria actividad. Algunas de estas estructuras son debidas a la interacción del núcleo del cometa con el viento solar en los pasos anteriores del cometa por el perihelio (67P tiene un período orbital de 6.6 años). Sin embargo, la gran complejidad apunta a que otras estructuras descubiertas deben ser primordiales y datan de la época de formación del cometa. Esto implica que las regiones donde se formaron los cometas, en las etapas más tempranas del sistema solar, eran mucho más turbulentas y con una diversidad química mucho mayor a lo que se pensaba anteriormente.

La superficie del cometa se ha dividido en 19 regiones que muestran esta gran diversidad y que han recibido nombres de deidades egipcias. Unas, como la llamada Aten (disco del Sol en la mitología egipcia), parecen ser el producto de grandes pérdidas repentinas de material, una depresión sorpresivamente libre de polvo que ha sido modificada en los pasos anteriores por el perihelio y que, evidentemente, no tiene un carácter primordial.

Por otra parte, en regiones muy inclinadas de algunas cavidades en la superficie del cometa y en las laderas expuestas de algunos riscos, los científicos de OSIRIS han encontrado unas estructuras muy interesantes a las cuales han llamado “piel de gallina” o “huevos de dinosaurio”. Estas estructuras tienen tamaños característicos de unos tres metros y se extienden, en conjunto, por unos 150-200 metros. Se piensa que datan de las épocas primigenias de la formación del sistema solar, incluso de tiempos tan tempranos cuando la Tierra y la mayoría de los planetas aún no se habían formado.

Otro hecho que apunta a los orígenes del cometa proviene de un espectrómetro a bordo de Rosetta que ha detectado una línea de absorción, asociada a moléculas orgánicas complejas, entre ellas ácidos carboxílicos, que son los precursores de los aminoácidos (moléculas orgánicas con un grupo amino (-NH<sub>2</sub>) y un grupo carboxilo (-COOH)).

Hallar moléculas orgánicas en los cometas es común, pero las moléculas detectadas por Rosetta son mucho más complejas que las detectadas en otros cometas. Estas moléculas orgánicas complejas sólo se pueden formar en ambientes fríos extremos, cuando la luz ultravioleta y los rayos cósmicos gol-



• Aunque faltan algunas regiones de hemisferio Sur del cometa por explorarse, su superficie ha sido dividida en 19 regiones que muestran diferentes características. Cortesía: ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team/ UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA

pean a ciertos tipos de granos de polvo recubiertos de hielo. Este escenario sugiere que las moléculas detectadas por Rosetta se deben al propio proceso de formación del cometa en lugar de formarse posteriormente con la evolución del cometa. Su presencia indica que 67P se formó más distante en el tiempo que los cometas que no muestran estas moléculas, en otras palabras 67P es más prístino que muchos otros cometas.

La sonda Rosetta acompañará al cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko en su paso por el perihelio en agosto de 2015, y posteriormente, cuando se aleje del Sol, se espera que la misión se prolongue hasta 2016. Están programadas varias maniobras de acercamiento que modificarán la altura de Rosetta sobre el núcleo del cometa desde unos pocos kilómetros (el pasado 14 de febrero voló a 8.9 km de altura) hasta unos 150 km. Cuando se encuentre en órbitas muy altas, los instrumentos de Rosetta se utilizarán para establecer la evolución de las propiedades generales del cometa, mientras que a muy bajas alturas estará prácticamente dentro de la coma del cometa y llevará a cabo experimentos mucho más específicos. En julio de 2015, muy cerca del perihelio, Rosetta tiene planificada una órbita de 50 km de altura y a través de una serie de maniobras orbitales tratará de atravesar uno de los chorros de material que emanan del núcleo sin ser arrastrada por la propia fuerza del chorro.

## ¿Qué sucedió con el módulo Philae, que el 12 de noviembre de 2014 aterrizó sobre la superficie del cometa?

La maniobra para el descenso de Philae sobre el cometa se realizó exitosamente, y el módulo llegó al sitio seleccionado como Agilkia (isla situada en el cauce).

A partir de aquí, dos factores se conjugaron para que Philae modificara su posición inicial. Por una parte no funcionaron, por causas aún desconocidas a los ingenieros de la misión, ninguno de los tres mecanismos de anclaje del módulo. Esto, unido a la baja gravedad superficial del cometa provocó que Philae rebotara tres veces (15:34 UT, 17:18 UT, 17:25 y 17:32 UT del 12 de noviembre) sobre la superficie del cometa y que en este momento se encuentre en una posición no precisada, en una región que se conoce como Abydos (una de las ciudades

principales del Antiguo Egipto) en el lóbulo más pequeño del cometa.

Se piensa que Philae se encuentra en esta región, pero se necesita una confirmación visual que aún no se tiene ya que las dimensiones de la cápsula (0.85 x 0.85 metros, del tamaño de una lavadora doméstica) no permiten una fácil detección con la cámara OSIRIS. Por otra parte, el extenso programa de observaciones de la misión Rosetta no ha permitido modificar las trayectorias establecidas para hacer una búsqueda detallada de Philae.

En el punto planificado de aterrizaje, se esperaba que las baterías solares de Philae recibieran la luz del Sol durante 6.5 horas de las 12.4 horas que dura la rotación del cometa. Sin embargo, en su posición actual, probablemente en la base de un risco, la iluminación no es superior a 1.3 horas. Por esta razón, los ingenieros de la misión tuvieron que tomar la decisión de desconectar el módulo antes de que sus baterías se agotaran totalmente (tenían una autonomía de 64 horas).

Durante las 57 horas que Philae trabajó en la superficie del cometa antes de pasar al modo de hibernación, su cámara de a bordo tomó varias fotografías del cometa, se realizaron algunas mediciones espectrales y cabe la posibilidad de que se haya tomado algún tipo de muestra del cometa.

Se necesitará más luz, a medida que el cometa se acerque al Sol y que cambie el ángulo de incidencia de la luz solar para intentar despertarlo. Suponiendo que Philae sea capaz de sobrevivir a las bajas temperaturas de su nueva localización, las condiciones necesarias de iluminación se darán en mayo o junio de 2015 para intentar restablecer la comunicación con Philae a través de Rosetta.

Incluso si Philae no logra despertar, es necesario recordar que su primera secuencia de experimentos científicos sobre el cometa ya fue cumplida y los datos producidos están siendo analizados, en este momento, por los diferentes equipos científicos responsables de los mismos. De cualquier manera, lograr depositar un módulo sobre el núcleo de un cometa, a más de 500 millones de kilómetros del Sol y que sus instrumentos trabajaran por más de 50 horas ha sido un éxito científico y tecnológico sin precedentes en la historia de la exploración planetaria. ☺

## agenda



**BUAP**

### Primer Congreso Internacional "La Asociación de Catalanistas de América Latina (ACAL)

Del 26 al 28 de agosto del 2015.

Recepción de propuestas: del 1 de febrero al 30 de abril de 2015

Informes: Facebook: [www.facebook.com/icsyh](http://www.facebook.com/icsyh)

### Primer Premio COFECE de investigación en competencia económica

Convoca la Comisión Federal de Competencia Económica a los estudiantes de las instituciones de educación superior mexicanas.

Consultar las bases en [www.premiocofece.mx](http://www.premiocofece.mx)

Fecha límite de registro: 30 de mayo de 2015.

### XIV Jornadas de Filosofía e Historia de las Ciencias Químicas

8 y 10 de abril de 2015.

Salón de Usos Múltiples de la Facultad de Ciencias Químicas (Edif. 105H, C.U).

Contacto: Mtro. Alberto Isaac Herrera

[alberto.herrera@correo.buap.mx](mailto:alberto.herrera@correo.buap.mx) · [albertoherrera.mtz@gmail.com](mailto:albertoherrera.mtz@gmail.com)

Tel. 22 23 54 96 92 Entrada gratuita.

### Ciclo de Seminarios

#### de Ciencia del Suelo Hoy: Avances y Perspectivas"

Todos los jueves: 9,16 y 30 de abril, 7,14 y 21 de mayo.

Aula del Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas

Informes:

Dra. Gladys Linares Fleites y Dra. Rosalía Castelán Vega

Tel. 2 29 55 00, ext. 7350, de 9:00 a 14:00 horas.

Correo electrónico: [gladys.linares@correo.buap.mx](mailto:gladys.linares@correo.buap.mx)

Página web: [www.icuap.buap.mx](http://www.icuap.buap.mx) para el programa completo



### Velada en Campamento Amistad de Puebla Momoxpan

Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, Puebla

7 de abril

Velada / INAOE / 19:00-22:00 horas

### Feria de Ciencias en San Jacinto Amozoc

La escuela - Av. Himno Nacional, Domicilio conocido

17 de abril

Talleres y planetario / INAOE / 9:30 horas

### Luz Cósmica en la Casa del Puente

Casa del Puente, Calle 5 de Mayo # 607, Centro Histórico, entre 6 y 8 Poniente, frente a Baños Tláloc, San Pedro Cholula

17 de abril

Asteroides y meteoritos / José Guichard / INAOE / 18:30 horas

### La Luz en el Planetario

Planetario de Puebla

Calzada Ejército de Oriente s/n y Cazadores de Morelia, Zona de los Fuertes, Unidad Cívica 5 de Mayo.

24 de abril

El Universo invisible / Omar López / INAOE / 18:00 h

## Las Leyes de la robótica son:

1. Un robot no puede causar daño a la humanidad o, por inacción, permitir que la humanidad sufra daño.

2. Un robot no puede dañar a un ser humano ni, por inacción, permitir que un ser humano sufra daño.

3. Un robot debe obedecer las órdenes dadas por los seres humanos excepto cuando tales órdenes entren en conflicto con la Primera Ley.

4. Un robot debe proteger su propia existencia hasta donde esta protección no entre en conflicto con la Primera o Segunda Ley.



עמרם אשל (1920 - 1992)  
Escritor de Ciencia Ficción



**Épsilon**  
Jaime Cid

### Baños de Ciencia en la Casa de la Ciencia de Atlixco

Talleres para niños de 7 a 12 años

3 poniente 1102 col. Centro Atlixco, Puebla

25 de abril / Taller: Robots / Daniel Mocenchua / HIPERCUBO - FCE, BUAP / 11:00-13:00 h.

### Aniversario del Laboratorio de Colorimetría

INAOE-Tonantzintla

17 de abril / Cursos, Talleres, Visitas.

### XperCiencia: Año Internacional de la Luz

Capilla del Arte de la UDLAP

2 norte # 6,

Centro Histórico de Puebla

Informes 242 28 00

30 de abril

Óptica de ojos de animales de múltiples aperturas

Francisco Renero / INAOE

17:30 horas



**posgrados inaoe**  
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

Astrofísica | Óptica | Electrónica | Ciencias Computacionales  
Ciencia y Tecnología del Espacio

Calle Luis Enrique Erro No.1, Santa María

Tonantzintla, Puebla C.P.72840,

Apdo. Postal 51 y 216, 72000 Puebla, Puebla.

Tel. (222) 2 472742

Contacto: [admisiones@inaoep.mx](mailto:admisiones@inaoep.mx)

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

Convocatoria abierta

