



KOMPUTER SAPIENS

Revista de Divulgación de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial

Año 13

Volumen 2

Mayo-Agosto 2021

**AUTOMATIZACIÓN
Y CONTROL DIFUSO
DE UN TRACTOR PARA SU
SERVICIO EN AGRICULTURA**

**ROBOTS MÓVILES
GUÍAS DE VISITANTES**

**ROBOTS
DE TELEPRESENCIA**

**ROBÓTICA INTELIGENTE
EN EL HOGAR**

**INTELIGENCIA
ARTIFICIAL
PARA MEJORA
DE VEHÍCULOS PEDELEC**



ROBÓTICA & SERVICIOS

ISSN 2007-0691



9 772007 069007



©Komputer Sapiens, Año XIII Volumen II, mayo-agosto 2021, es una publicación cuatrimestral de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial, A.C., con domicilio en Ezequiel Montes 56 s/n, Fracc. los Pilares, Metepec, Edo. de México, C.P. 52159, México, <http://www.komputersapiens.org>, correo electrónico: editorial@komputersapiens.org, tel. +52 (833)357.48.20 ext. 3024, fax +52 (833) 215.85.44. Impresa por Sistemas y Diseños de México S.A.

de C.V., calle Aragón No. 190, colonia Álamos, delegación Benito Juárez, México D.F., C.P. 03400, México, se terminó de editar el 17 de mayo de 2021.

Reserva de derechos al uso exclusivo número 04-2009-111110040200-102 otorgado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor. ISSN 2007-0691.

Los artículos y columnas firmados son responsabilidad exclusiva de los autores y no reflejan necesariamente los puntos de vista de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial. La mención de empresas o productos específicos en las páginas de Komputer Sapiens no implica su respaldo por la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio, de la información aquí contenida sin autorización por escrito de los editores.

Komputer Sapiens es una revista de divulgación en idioma español de temas relacionados con la inteligencia artificial. Creada en \LaTeX , con la clase **papertex** disponible en el repositorio *CTAN*: Comprehensive TeX Archive Network, <http://www.ctan.org/>

Indizada en el IRMDCT de CONACYT y en Latindex.

	Directorio SMIA	Directores Fundadores
Presidente	Félix A. Castro Espinoza	Carlos Alberto Reyes García
Vicepresidente	Ildar Batyrshin	Ángel Kuri Morales
Secretario	Oscar Herrera Alcántara	
Tesorero	María de Lourdes G. Martínez Villaseñor	Comité Editorial
Vocales:	Sofía Natalia Galicia Haro	Félix A. Castro Espinoza
	Sabino Miranda Jiménez	Jesús Favela Vara
	Roberto A. Vázquez Espinoza de los Monteros	Sofía Natalia Galicia Haro
	Hiram Erendin Ponce Espinosa	Miguel González Mendoza
	Francisco Viveros-Jiménez	Oscar Herrera Alcántara
	Noé Alejandro Castro Sánchez	Raúl Monroy Borja
	Obdulio Pichardo Lagunas	Eduardo F. Morales Manzanares
	Omar Montaña Rivas	Leonardo Garrido Luna
	Antonio Marín Hernández	Carlos Alberto Reyes García
	Néstor Velasco Bermeo	Angélica Muñoz Meléndez
	Iris Iddaly Méndez Gurrola	Antonio Sánchez Aguilar
	Gustavo Arroyo Figueroa	Luis Enrique Sucar Succar
	Leobardo Morales Tiburcio	Ángel Kuri Morales
	Iván Olvera Rodríguez	José A. Martínez Flores
	Juan Martínez Miranda	Juan Manuel Ahuactzin Larios
		Manuel Montes y Gómez
		Ofelia Cervantes Villagómez
		Alexander Gelbukh
		Grigori Sidorov
		Laura Cruz Reyes
		Ramon Brena Pinero
		Juan Humberto Sossa Azuela
	Komputer Sapiens	Árbitros
Director general	Félix A. Castro Espinoza	Juan Humberto Sossa Azuela
Editora en jefe	Karina Mariela Figueroa Mora	Rocío Barrientos-Martínez
Editor científico	Héctor Gabriel Acosta Mesa	Angélica Nakayama
Editores asociados	Marco Antonio Aguirre Lam	Héctor Vargas
	Laura Cruz Reyes	Leonardo Romero
	Héctor Hugo Avilés Arriaga	Fernando Montes
	Eduardo Morales	Luis Enrique Sucar Succar
	Juan Humberto Sossa Azuela	Eduardo Morales
	Luis Enrique Sucar Succar	Héctor Aviles-Arriaga
	Viridiana Mena Gómez	Luis Felipe Marin-Urias
Coordinadora de producción	Reyna Carolina Medina Ramírez	
Estado del IArte	Jorge Rafael Gutiérrez Pulido	
	Claudia G. Gómez Santillán	
Sakbe	Laura Cruz Reyes	
	Laura Gómez Cruz	
IA & Educación	María Yasmín Hernández Pérez	
	María Lucía Barrón Estrada	
	J. Julieta Noguez Monroy	
Deskubriendo Konocimiento	Alejandro Guerra Hernández	
	Leonardo Garrido Luna	
Asistencia técnica	Alan G. Aguirre Lam	
Corrección de estilo	Gilberto Rivera Zárate	
	Marcela Quiroz Castellanos	
	Ruth Esmeralda Barreda Guajardo	
	Sonia Lilia Mestizo Gutiérrez	
	Guillermo de Jesús Hoyos Rivera	
	Susana Aurora Velasco Montiel	
	Nicandro Cruz Ramírez	
	Claudia Leticia Díaz González	
	Leonardo Romero Muñoz	
	Nelson Rangel Valdez	
Edición de imagen	Laura Gómez Cruz	
Portada	Magdaleno Granados Olvera, El Pez Gordo Design	



Contenido

ARTÍCULOS ACEPTADOS

Automatización y control difuso de un tractor para su servicio en agricultura

Marco A. Márquez-Vera, Julio C. Ramos-Fernández, Andrea Rodríguez-Romero y Mario A. Magaña-Méndez.

pág. 5 ⇒ Diferentes etapas de instrumentación en un tractor, teniendo como punto de partida el control remoto del mismo, para después llegar a su navegación autónoma.

Inteligencia Artificial para mejora de vehículos Pedelec

Tonatiuh Garcia-Reyes, Hernán de la Garza, Rafael Sandoval Rodríguez, Jesus Arturo Alvarado Granadino y Alberto Camacho Ríos.

pág. 11 ⇒ La IA puede mejorar la calidad, flexibilidad y ventajas ofrecidas por vehículos Pedelec, al incluir un novedoso sistema autónomo de selección de asistencia gobernado por el estado físico del ciclista.

Robots móviles guías de visitantes

Moisés García-Villanueva, Leonardo Romero, Luis E. Gamboa e Ignacio Juárez-Campos.

pág. 18 ⇒ Principales elementos de robots guías de visitantes, su evolución a lo largo del tiempo, robots guías en uso y los principales desafíos que se presentan en el área.

Robots de telepresencia

Leonardo Romero, Moisés García, Luis E. Gamboa e Ignacio Juárez-Campos.

pág. 24 ⇒ Características principales de los robots de telepresencia, áreas en las cuales se están utilizando y los retos a los que se enfrenta la ciencia y la tecnología para agregar y mejorar sus capacidades.

Robótica inteligente en el hogar

Antonio Marín Hernández, Ericka J. Rechy Ramírez y Homero V. Ríos Figueroa.

pág. 30 ⇒ La solución de tareas aún no resueltas en los hogares, una problemática actual de los robots de servicios.

Columnas

Sapiens Piensa.

Editorial [pág. 2](#)

Estado del IArte [pág. 3](#)

Sakbe [pág. 4](#)

IA & Educación [pág. 35](#)

Deskubriendo

Konocimiento [pág. 38](#)

Sapiens Pienza

Héctor Avilés, Eduardo Morales, Humberto Sossa y Enrique Sucar

Los robots de servicio se diseñan para asistir a las personas y para ser capaces de operar en los mismos espacios en los que se desenvuelven los seres humanos; es decir, entornos complejos, inciertos y dinámicos. La necesidad de coexistir y comunicarse con los humanos son factores importantes que determinan las capacidades necesarias de los robots de servicio, que además deben ser capaces de desenvolverse en ambientes novedosos.

Las últimas dos décadas han visto un crecimiento importante en el desarrollo y comercialización de los robots de servicio, desde robots relativamente sencillos diseñados para tareas específicas, como aspiradores y cortadores de pasto; hasta robots enfocados a tareas más complejas con diversas capacidades, como guías en museos o robots en casas de asistencia. Se espera que esta tendencia siga en aumento, y eventualmente sea común tener en casa uno o más robots de servicio. En este número se presenta un breve panorama de diversas aplicaciones de robots de servicio, en México y en el mundo.

Moises García-Villanueva *et al.* nos presentan un panorama de los “Robots para visitas guiadas”, incluyendo descripciones de los pioneros en este campo, los robots Rhino y Minerva; hasta robots más recientes como Tababa, el Robot Guía Toyota, y el robot Pepper. En el artículo se describen los diferentes desafíos que este tipo de robots deben enfrentar, incluyendo los riesgos más comunes en la tarea de visitas guiadas. Finalmente, los autores nos presentan algunos de los entornos en que se han utilizado los robots para visitas guiadas.

En el artículo “Robots de Telepresencia”, Leonardo Romero y otros definen que es un robot de telepresencia, cuáles son sus principales características y algunas de las áreas en que se han utilizado. Una de las aplicaciones de este tipo de robots es para la atención de la

salud, un campo muy relevante dada la actual pandemia de COVID-19, donde se han utilizado este tipo de robots para llevar comida a personas en cuarentena, desinfectar hospitales y hacer pruebas a personas, entre otras.

Un área con grandes oportunidades para los robots de servicio es la agricultura. En este sentido, Marco Vásquez-Vera y coautores nos presentan “Automatización y control difuso de un tractor para su servicio en agricultura”. En este artículo nos detallan cómo se realizó la instrumentación de un tractor, incluyendo los diversos sensores y actuadores, y la computadora usada como cerebro en la automatización. El control de la dirección y combustible se basa en sistemas difusos que se describen en el artículo, además de los sistemas de visión y detección de fallas.

Por otro lado, Tonatiuh García-Reyes *et al.* describen una aplicación novedosa de robótica, “Inteligencia artificial para mejora de vehículos Pedelec”. Pedelec es una bicicleta eléctrica con características diferentes, cómo el que el motor sólo se activa si el ciclista pedalea. Los autores desarrollaron un sistema inteligente que, basado en el estado físico del ciclista, regula el nivel de asistencia del motor, basado en técnicas de aprendizaje por refuerzo.

Finalmente, Marín y colaboradores presentan diferentes retos técnicos en la implementación de estos robots en los hogares, como son las instrucciones en lenguaje natural, capacidades perceptuales para entender voz e imágenes y la incorporación de información del contexto de operación.

Esperamos que este breve panorama permita al lector conocer un poco más sobre los robots de servicio, sus retos y principales elementos, así como la gran variedad de aplicaciones.*



Dr. Héctor Hugo Avilés Arriaga es Profesor de Tiempo Completo de la Universidad Politécnica de Victoria y Asociado Honorario de la Federación Mexicana de Robótica, A.C. Sus áreas de interés son el diseño de software para robots de servicio e interacción humano-robot por medio de voz y gestos.



Dr. Eduardo Morales es egresado de Ingeniería Física de la UAM-Azcapotzalco, cuenta con una maestría en Inteligencia Artificial de la Universidad de Edimburgo y un doctorado en Computación del Turing Institute - Universidad de Strathclyde, en Escocia. Es investigador Titular C del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) en Puebla en donde realiza investigación en aprendizaje computacional y robótica.



Dr. Humberto Sossa es Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica de la Universidad de Guadalajara, Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por el CINVESTAV-IPN y Doctor en Informática por el Instituto Nacional Politécnico de Grenoble, Francia. Es profesor Titular “C” en el Instituto Politécnico Nacional en donde realiza investigación en Inteligencia Artificial, Aprendizaje para Máquinas y Robótica.



Dr. Luis Enrique Sucar es Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones por el Tecnológico de Monterrey, cuenta con una maestría en Ing. Eléctrica de la Universidad de Stanford y un doctorado en Computación por el Imperial College, Londres. Actualmente es Investigador Titular “D” en el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, donde realiza investigación en modelos gráficos probabilistas y causales, y sus aplicaciones en robótica, visión y biomedicina. En 2026 recibió el Premio Nacional de Ciencias.

Estado del IArte

Jorge Rafael Gutiérrez Pulido (@jrgpulido) y Reyna Carolina Medina Ramírez
estadoiarte@komputersapiens.org

Robótica de Servicio

La gente usa cada vez más aplicaciones informáticas para su vida cotidiana sin reparar mucho en la utilidad o daño que les pueda causar (como en el caso de la serie de libros *love alarm* de la autora Kye Young Chon). La organización internacional de estándares (ISO 8373:2012) define la robótica de servicio como aquellas actividades útiles para los seres humanos que realizan los robots. Algunos ejemplos de estas actividades son: transporte y entrega de productos, telepresencia y acompañamiento de adultos mayores, exoesqueletos terapéuticos, limpieza, rescate y por supuesto combate de pandemias. La Robótica de Servicio nuestra de cada día, diseñada para ayudarnos en nuestra vida cotidiana, está aportando soluciones a diversos contextos: educación, salud, hogar, guías de visitantes, por mencionar algunas. En dichos textos, la telepresencia tiene un papel importante pues abarca varias tecnologías que, en su conjunto, permiten a una persona tener la sensación de estar presente en otro lugar. Esta sensación se logra mediante un robot de telepresencia que dispone, entre otros elementos, de interfaces de audio y video controlados a distancia. A continuación presentamos algunas aplicaciones de la robótica de servicio, dentro de las cuales sobresalen las del área de la salud.

En nuestro país, tenemos una gama de robots que prestan diversos servicios que van desde tomar temperatura y signos vitales hasta dar apoyo emocional y consulta médica. En el Centro Mexicano Nacional 20 de noviembre del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE), se encuentran varios robots entre los que destaca *Laluchy Robotina*, primera robot humanoide que está al servicio de la salud mental de pacientes en el área de COVID-19. *Laluchy Robotina* permite a psicólogos y neuropsicólogos interactuar y dar consulta a distancia de manera eficaz y segura tanto a pacientes enfermos como a familiares. Resulta de una combinación entre la 'expertise' humana de la Dra. Lucía Ledesma Torres, *Roomie IT services* y Amazon. Por otro lado, encontramos en el Hospital San José (TecSalud) en la ciudad de Monterrey al robot *A-nimo*, el cual se encarga de proveer en tiempo real interacción y

contacto humano a pacientes hospitalizados. El paciente puede ver a su médico, aunque sea en pantalla, escuchar su voz y mantener una conversación, explica Fernando Castilleja, director de Bienestar y Prevención de TecSalud. Una de las principales ventajas de los robots de servicio en este sector es la reducción de tiempos en las valoraciones de los pacientes, así como en la ampliación de la cobertura de pacientes atendidos.

Para saber más se puede consultar <https://bit.ly/3dq86z3> y <https://bit.ly/3gkGkWn>

En los países asiáticos, principalmente, es cada vez más común ver asistentes robóticos en los recibidores de empresas, hoteles y museos. Como guías de visitantes, el empleo de robots abarca aplicaciones en turismo, museos, ferias de ciencias o puertas abiertas de universidades. Podemos mencionar a *Minerva* que sirve de guía en el Museo Smithsonian de Historia Americana en Washington, DC, USA. Este robot hace recorridos virtuales y explica a los usuarios las diversas salas de exposiciones. Por otro lado, *Royito*, en San Luis Potosí, México, se encarga, desde hace un par de años, de recorrer salas y explicar las fechas, datos y momentos históricos relevantes del antiguo convento de la orden de los carmelitas descalzos. Fue desarrollado por Intelirobot S.C. con materiales reciclados, principalmente partes plásticas correspondientes a automóviles y motocicletas infantiles.

Para saber más se puede consultar <https://bit.ly/3e3eoUe> y <https://bit.ly/32k3UKL>

Finalmente, pero no menos importante, los robots se hacen presentes en el hogar en la forma de asistentes robóticos personales, los cuales presentan un paso adelante de los asistentes de voz como Alexa de Amazon, Siri de Apple, Now de Google y Cortana de Microsoft, para gestionar el hogar, incluso asistir a las personas mayores en sus diversas actividades cotidianas tales como recordarles tomar medicinas, citas médicas e incluso en la limpieza del hogar a través de mini-aspiradoras inteligentes. En corto plazo, veremos también interactuar hologramas de asistentes personales con diversos dispositivos de robótica de servicio, en nuestro beneficio, en más y más ámbitos de nuestra vida cotidiana.*

Para saber más se puede consultar (en inglés) <https://www.iso.org/standard/55890.html>

Sakbe

Laura Cruz Reyes, Claudia Guadalupe Gómez Santillán y Laura Gómez Cruz
sakbe@komputersapiens.org

Agricultura inteligente

La inteligencia artificial (IA) aplicada en la agricultura busca reinventar esta actividad tan antigua, pero permanente, para alimentar a la creciente población mundial. Los avances están sirviendo para mejorar los procesos de siembra, cosecha y distribución. Se espera un impacto mundial en la calidad y cantidad de los alimentos producidos y que contribuya a restablecer el balance de la naturaleza.

Destacan cuatro líneas de acción. La **agricultura de precisión** que permite determinar, a partir de datos recolectados, información relevante para optimizar la toma de decisiones; Los datos son recolectados en tiempo real con sensores y procesados mediante **Big Data** para predecir con más exactitud aspectos como la calidad de suelo, los requerimientos de siembra o de agua y los cultivos con plaga; con este fin, el uso de **drones** está creciendo significativamente. En la **irrigación automática**, las tecnologías de **Internet de las Cosas** permiten monitorear constantemente las zonas de cultivo para realizar el riego en función de indicadores como la humedad del suelo y la calidad de los plántulos. Los **tractores inteligentes y autónomos** usan **aprendizaje automático**, **robótica** e **inteligencia de localización** en tareas arduas como la cosecha y en el monitoreo constante de las condiciones que requieren atención como el suministro de

fertilizante. Las **granjas verticales** son invernaderos de plantas apiladas que producen a un ritmo más rápido que el tradicional usando **robots** que controlan el consumo de agua, luz y la temperatura del entorno.

En 2018 México se posicionó entre las 10 mayores economías exportadoras de productos agrícolas, despertando el interés de empresas de IA en las tierras mexicanas. La firma DJI ofrece la protección de cultivos mediante drones con control remoto. La compañía Microsoft, mediante Azure FarmBeats, brinda información en tiempo real de cultivos y terrenos. La empresa Bayer combina su sistema Climate Field View con VITALA, que es una tecnología hecha en México para incrementar la producción sustentable de maíz.*

Para conocer más sobre algunos productos de IA para la agricultura visita sus sitios web:

- **Agras T1:** <https://www.dji.com/mx/t16>
- **Azure FarmBeats:** <https://www.microsoft.com/en-us/research/project/farmbeats-iot-agriculture/>
- **Climate Field View con VITALA:** <https://www.bayer.com/en/mx/vitala>
- **VITALA:** <https://www.asgrow.com.mx/es-mx/sistemavitala.html>



ARTÍCULO ACEPTADO

Automatización y control difuso de un tractor para su servicio en agricultura

Marco A. Márquez-Vera, Julio C. Ramos-Fernández, Andrea Rodríguez-Romero y Mario A. Magaña-Méndez

Resumen

En este artículo se presentan las diferentes etapas de instrumentación en un tractor, teniendo como punto de partida el control remoto del mismo, para después llegar a la navegación autónoma del tractor. Se menciona la necesidad del procesamiento digital de imágenes para el reconocimiento de surcos en parcelas, así como el uso de un sistema RTK-GPS para la ubicación espacial del tractor. Este trabajo está orientado a la agricultura de precisión.

Introducción

Dada la demanda cada vez más grande de alimentos y con el fin de garantizar la seguridad alimentaria en el mundo, las industrias y centros de investigación de varios países han enfocado sus esfuerzos en aumentar tanto la cantidad como la calidad de los alimentos producidos en el campo [1].

Por un lado, debido a la presión social y la búsqueda de mejores condiciones de vida, en diversos países la gente a emigrado del campo a la ciudad [2], por lo que la mano de obra no siempre es suficiente para que los cultivos tengan el cuidado necesario, además, el cambio climático y la degradación del suelo dificultan tener la cantidad y calidad necesarias en los alimentos que se producen [3].

En México, el INEGI reporta que la edad promedio de los trabajadores agrícolas es de 41.7 años; tal envejecimiento de la población, y se debe a que los jóvenes buscan oportunidades laborales en las grandes ciudades [4], esto genera escasez de mano de obra en el campo.

Con el fin de mejorar los alimentos cultivados se ha recurrido a la agricultura de precisión, misma que se basa en la observación minuciosa de la evolución de los cultivos a través del uso de la tecnología para monitorear la cantidad de nutrientes, irrigación y hasta temperatura en el medio de cultivo, de este modo, se garantizan los cuidados de los cultivos [5]. Una manera de lograrlo es mediante la automatización de invernaderos agrícolas [6][7].

Una alternativa para apoyar la labor de los campesinos, es mediante el uso de robots de servicio, los cuales tienen como labor el sembrar, fumigar, fertilizar, regar y hasta cosechar los productos del campo; esta clase de robots requieren de mucha instrumentación para lograr trabajar de manera autónoma.

La instrumentación consiste en acondicionar los robots con los instrumentos necesarios para su navegación y funcionamiento autónomo; por una parte se tienen sensores que miden el combustible, el nivel de la batería, la velocidad de los motores; y por la otra, la comunicación con un centro de mando; con esta instrumentación es posible el control remoto de los robots. Para lograr posteriormente la navegación autónoma será necesario también conocer la posición y orientación del robot, esto se logra con acelerómetros, centrales inerciales, implementación de un GPS con cinemática en tiempo real (RTK-GPS) y sistemas de visión artificial.

Antecedentes

Con la instrumentación mencionada anteriormente es posible automatizar un tractor para su uso en el campo. Algunas industrias cuentan con tractores robotizados, que mediante señales de satélite son capaces de tratar el terreno para cultivar alimentos [8]. Si el terreno no está preparado para la libre navegación de un tractor, se requiere que, de manera autónoma el mando de navegación pueda tomar decisiones. Es en esta parte donde la inteligencia artificial se aplica en el control del tractor robotizado [9].

En la Universidad de Bonn, en Alemania, se desarrolló un robot que al reconocer determinadas plantas, mediante visión artificial, se encarga de eliminarlas usando un pistón y así no se requiere de herbicidas [10]. En la Universidad de Harper Adas, en Gran Bretaña, se tiene un robot tractor que lleva drones aéreos que inspeccionan el campo para enviar la información a su tractor base con el fin de llevar agua o nutrientes a las plantas que lo requieren en el campo, incluso se plantea usar un láser para eliminar malas hierbas evitando el uso del glifosato [11].

Una revisión interesante del estado del arte, que menciona el uso de las nuevas tecnologías aplicadas en vehículos robotizados para la agricultura de precisión fue hecha por Noguchi en [12], donde se aborda el uso del posicionamiento global, procesamiento de imágenes y la automatización de los vehículos. En sus conclusiones se resalta el incremento en la productividad agrícola en los países avanzados.

En la Universidad Politécnica de Pachuca se viene trabajando el uso de vehículos autónomos para su aplicación en la agricultura de precisión [13], una primera

aplicación fue el uso de un robot diferencial para servicio en el interior de un invernadero de jitomate, el cual se muestra en la Figura 1. En base a las problemáticas encontradas en terreno abierto, como el nivel del terreno, obstáculos o irregularidades en el suelo, se instrumentó un tractor, siendo necesaria la implementación de inteligencia artificial para su navegación autónoma.



Figura 1. Robot diferencial para invernaderos.

Instrumentación del tractor

Se desarrollaron sistemas mecatrónicos para el control y monitoreo de los sistemas de frenado, arranque y dirección de un tractor Jhon Deere serie D100®, para ello fue necesario identificar el ángulo de salida ante el giro del volante, esto debido a las zonas muertas que tienen los mecanismos, mismas que se deben al juego mecánico que tienen los engranajes, donde un pequeño giro en el volante, no tiene efecto en la dirección del tractor [14].

Para el sistema mecatrónico se consideraron diferentes aspectos como:

- Control de la dirección mediante motores de corriente directa con medición de la posición angular.
- Diseño de servomecanismos de freno y embrague, así como para la marcha adelante-reversa.
- Control de posición en los servomotores, midiendo la posición mediante potenciómetros.
- Empleo de un switch de limite para registrar los estados de operación.

Si el terreno no está preparado para la libre navegación, se requiere que de manera autónoma el mando de navegación pueda tomar decisiones.

Para el servomecanismo de la unidad de aceleración se utilizan servomotores que reciben una señal de pulsos modulados (PWM) para regular la posición. El servomecanismo de la dirección se adaptó con dos tipos de sensores: potenciómetro y encoder óptico, el acoplamiento mecánico al volante fue con cadena-catarina.

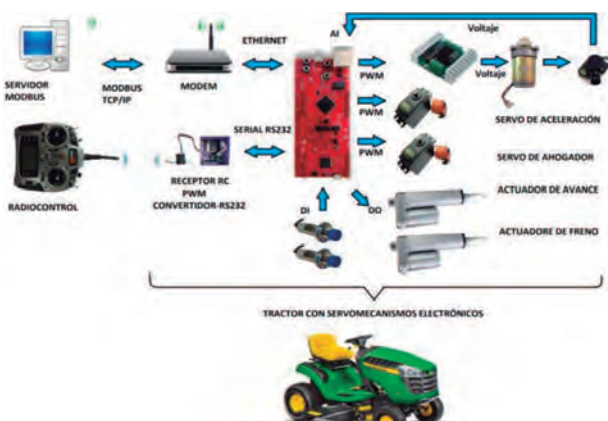


Figura 2. Automatización del tractor.

Estos mecanismos son sensados y la información es enviada por radiofrecuencia para su monitoreo. Para esto se implementó el protocolo Modbus Ethernet TCP/IP a la tarjeta TIVA-C, que es el microcontrolador para la interfaz de los servomecanismos, los sensores y para el

intercambio de datos vía ethernet hacia el servidor. Respecto a las señales de radiocontrol, se utilizó un control de la marca Spektrum® de ocho canales que fue configurado con un nuevo vehículo para el manejo remoto del tractor.

Un esquema que muestra la instrumentación realizada en el tractor se presenta en la Figura 2, donde es posible apreciar la integración mecatrónica realizada y la tarjeta usada como cerebro en la automatización.

También es importante medir la cantidad de combustible en el tanque del tractor para estimar la autonomía del robot; una vez obtenida la identificación de la dirección del tractor, se desarrolló un esquema difuso similar para estimar la cantidad de combustible. La identificación fue difusa debido a la asimetría presente en el tanque [15], de manera que el mapeo necesario debe ser no lineal.

La identificación de la dirección y del combustible fue mediante modelos difusos, una de las estrategias consideradas dentro de la inteligencia artificial. Los conjuntos difusos fueron propuestos por Lofti Zadeh en 1965 [16] dando lugar al desarrollo de la lógica difusa que intenta imitar la manera en que tomamos decisiones empleando información incompleta, ambigua, con ruido e inexacta; es más, muchas veces los esquemas difusos tienen como entrada y como salida conjuntos difusos que representan conceptos como “muy poco”, “más o menos.” “demasia-

do", conceptos que no son claros para una computadora.

De este modo, se trabaja con variables lingüísticas, más fáciles de interpretar por una persona que las variables numéricas, después de todo, cuando conducimos un auto no pensamos en girar 25° a la derecha el volante, es más probable que un instructor de manejo diga "gira un poco a la derecha". Un esquema sobre la medición de combustible se presenta en la Figura 3.

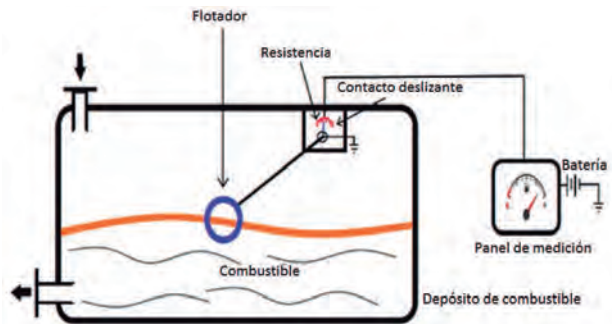


Figura 3. Medición de combustible [15].

La lógica difusa emplea operadores lógicos, pero puede tratar con valores intermedios entre falso y verdadero. Si bien, es posible emplear un mapeo no lineal para buscar un modelo aproximado que identifique el mecanismo de dirección o la cantidad de combustible, resulta que estos sistemas presentan una histéresis en su naturaleza.

El mecanismo de la dirección tiene juego en los engranes y el modelo que describiría el giro a la derecha, sería una curva diferente a la que señalaría el giro a la izquierda, además de las zonas muertas antes mencionadas [14]. Por lo cual, un control lineal como el PID no es suficiente para controlar la dirección. En la Figura 4 se muestra la salida aproximada por el modelo difuso pro-

puesto y las mediciones reales obtenidas en el mecanismo de dirección del tractor.

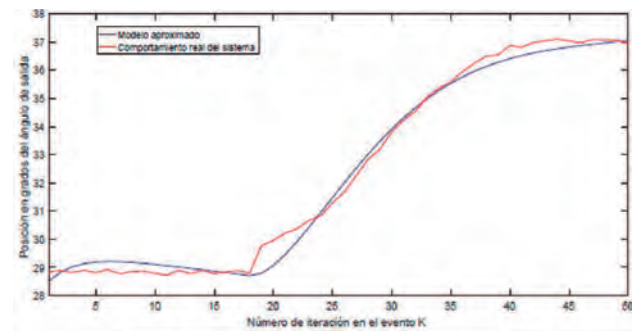


Figura 4. Evaluación del modelo difuso de la dirección.

Un video sobre la automatización parcial del tractor en la Universidad Politécnica de Pachuca se puede apreciar en <https://www.youtube.com/watch?reload=9&v=jwFgIRw1rLI&t=1s>, donde se realiza el control remoto del mismo, manejando los dispositivos mecatrónicos de dirección, velocidad, freno y monitoreo de la velocidad, orientación y combustible.

Con la instrumentación mencionada hasta el momento, fue posible el manejo del tractor de manera remota, para su navegación autónoma se implementó un sensor RTK-GPS para triangular la posición del tractor respecto a una referencia, de este modo es posible conocer la ubicación del tractor con sólo 2cm de error, y así retroalimentar la información para que el sistema mecatrónico de la dirección lleve al tractor a la posición deseada. En la Figura 5 se muestra la instrumentación electrónica del tractor, donde es posible ver también el RKT-GPS; uno va a bordo del tractor y el otro se monta en una base fija para triangular la posición.

Cuando conducimos no pensamos en girar 25° a la derecha, es más probable que un instructor de manejo diga "gira un poco a la derecha".

Visión artificial y detección de fallas

Mediante el RTK-GPS es posible la navegación autónoma del tractor, pero si el terreno está disparejo, o tiene obstáculos como árboles o piedras, el GPS no es suficiente para la correcta navegación del tractor, por lo cual un sistema auxiliar de visión artificial es necesario para esquivar los obstáculos que se presentan en la trayectoria a seguir [17]. Para el procesamiento de las imágenes adquiridas se emplearon cúmulos de información (clustering), un trabajo interesante sobre la detección de obstáculos en el espacio se presenta en [18].

Las imágenes de los surcos de cultivo en el campo tratados mediante la binarización, y las imágenes resultantes fueron tratadas mediante clustering difuso para

determinar la distancia y orientación de los surcos en la parcela a trabajar. Los centros de las elipses obtenidas indican el centro de la vegetación detectada, y mediante la proyección de la línea de los focos de las elipses se logra determinar la orientación de los surcos. En la Figura 6 se muestran la orientación de los surcos obtenidos mediante las elipses arrojadas por el algoritmo de clustering Gustafson-Kessel [19], ya que el algoritmo c-means arrojaría círculos para indicar los clusters. Una discriminación de objetos y el uso de descriptores de texturas para vegetación fue realizada en [20]. Así, ponderando como más importante la instrucción generada por el procesamiento de imágenes, se logra la navegación al agregar la instrucción dada por el RTK-GPS.

Otro aspecto importante en la instrumentación fue el desarrollar un sistema capaz de detectar fallas en el manejo del tractor.



Figura 5. Instrumentación del tractor y RTK-GPS.

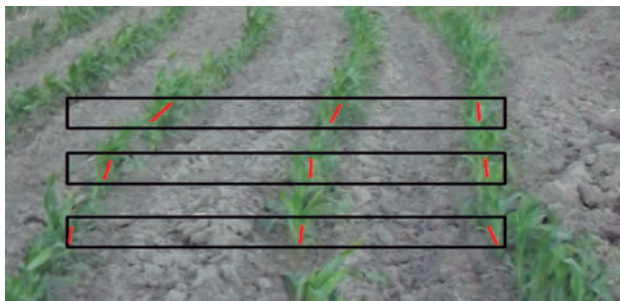


Figura 6. Detección de surcos mediante clustering.

Otro aspecto importante en la instrumentación fue el desarrollar un sistema capaz de detectar fallas en el manejo del tractor, de manera que la incidencia de problemas en la electrónica o en los mecanismos pueda ser detectada y conocida por el usuario. Los sistemas de detección de fallas han evolucionado adaptando las técnicas de control disponibles [21].

Las técnicas de detección se concentran en las incertidumbres debido a dinámicas y parámetros no contemplados al modelar un sistema en el tractor, además las técnicas basadas en el control clásico, permiten hacer clasificación de un conjunto de fallas. La arquitectura usada

para el diagnóstico y detección de fallas que se emplea en el presente trabajo se muestra en la Figura 7.

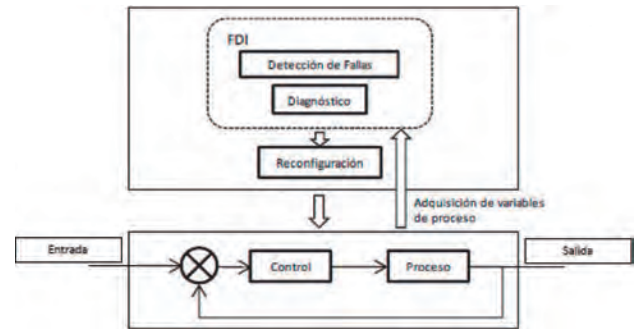


Figura 7. Esquema de detección y diagnóstico de fallas.

La metodología utilizada fue empleando señales residuales, que son una diferencia entre el modelo difuso aproximado y la salida real del sistema. Para la obtención del modelo se realizaron experimentos de la manipulación del ángulo de salida de las ruedas directrices del tractor, las mediciones se almacenaron en una base de datos, empleando un periodo de muestreo de 20 ms.

Si la desviación de la señal residual es menor a 0.5° [21], se considera que el sistema labora en régimen transitorio. Por otro lado, al sobrepasar los umbrales de error, se detecta una falla, y conociendo la región difusa del modelo, se puede identificar la falla presentada.

Conclusiones

En este proyecto se notó la necesidad de trabajar con las diferentes partes que integran un tractor para su operación autónoma al servicio de la agricultura. Como punto de partida se requirió instrumentar las partes mecánicas del tractor mediante motores eléctricos de CD. De este modo fue posible el control remoto del tractor, para lo cual se requirió sensar el movimiento de los motores.

Una vez instrumentado el tractor se llevó a cabo la parte de control automático retroalimentando las variables medidas por los sensores, pero al tenerse un sistema no lineal con incertidumbre paramétrica, histéresis, y no linealidades, se optó por la implementación de un control difuso. Además, para sintonizar el controlador, se realizó un modelado difuso del sistema. Una vez controlado el tractor, se puso como referencia una ubicación mediante GPS, señal medida y retroalimentada gracias al RTK-GPS.

Se terminó la instrumentación y la navegación del tractor con las plataformas descritas, pero ante la pre-

sencia de obstáculos en la trayectoria definida, y ante la problemática de averías mecánicas o electrónicas, así como la falta de combustible, se tuvo que realizar el procesamiento de imágenes y la detección de fallas. Para el primer caso se usó una variante del Fuzzy c-means llamada Gustafson-Kessel, y para la detección de fallas se usaron los modelos difusos usados por los sistemas de control para obtener las señales residuales.*

Agradecimientos Los autores agradecen el apoyo recibido por parte de la SEP en el programa ProDEP, así como al laboratorio nacional LANAVEX apoyado por CONAcYT, con su apoyo, este tema de investigación así como lo temas de tesis y publicaciones realizadas han sido posibles.

REFERENCIAS

- Berchina, I.I., Nunes, N.A., Silva de Amorim, W. et al. (2019). The contributions of public policies for strengthening family farming and increasing food security: The case of Brazil. *Land Use Policy*, 82, 573-584.
- Obi, C., Bartolini, F., Brunori G. et al. (2020). How does international migration impact on rural areas in developing countries? A systematic review. *Journal of Rural Studies*, 80, 273-290.
- Rigolot, C., de Voil, P., Douchamps, S. et al. (2017). Interactions between intervention packages, climatic risk, climate change and food security in mixed crop-livestock systems in Burkina Faso. *Agricultural Systems*, 151, 217-224.
- INEGI (2016). Estadísticas a propósito del día del trabajador agrícola (15 de mayo). Recuperado el 20 de Junio de 2017, de http://www.diputados.gob.mx/sedia/biblio/usieg/comunicados/25ene19/economia/18_diadeltrabajadoragricola_230118-18.pdf.
- Olvera-Rosales, R.B., Ramos-Fernández, J.C., Márquez-Vera, M.A. et al. (2019). La agricultura de precisión impulsada por la inteligencia artificial. *Komputer Sapiens*, 11(2), 29-33.
- Guo, Y., Zhao, H., Zhang, S. et al. (2021). Modeling and optimization of environment in agricultural greenhouses for improving cleaner and sustainable crop production. *Journal of Cleaner Production*, 285, 124843.
- Rodríguez, S., Gualotuña, T. y Grilo, C. (2017). A system for the monitoring and predicting of data in precision agriculture in a rose greenhouse based on wireless sensor networks. *Procedia Computer Science*, 121, 306-313.
- YANMAR (2020). Robot Tractor. Recuperado el 12 de Enero de 2020, de <https://www.yanmar.com/global/about/technology/vision2/robotics.html>.
- Zhang, C. y Noguchi, N. (2017). Development of a multi-robot tractor system for agriculture field work. *Computers and Electronics in Agriculture*, 142, 79-90.
- Visión Futuro (2020). Revolución en el campo. Recuperado el 11 de Enero de 2020, de <https://www.dw.com/es/revolución-en-el-campo/av-52376960>.
- Zimmermann, N., Ciencia y Ecología (2018). Agricultura del futuro: robots en lugar de glifosato. Recuperado el 18 de Diciembre de 2019, de <https://www.dw.com/es/agricultura-del-futuro-robots-en-lugar-de-glifosato/a-44071253>.
- Noguchi, N. (2018). Agricultural vehicle robot. *Journal of Robotics and Mechatronics*, 2(30), 165-172.
- Alberto-Rodríguez, A., Muñoz-Neri, M., Ramos-Fernández, J.C. et al. (2020). Review of control on agricultural robot tractors. *International Journal of Combinatorial Optimization Problems and Informatics*, 11(3), 9-20.
- Neri-Muñoz, M., Ramos-Fernández, J.C., Hernández-Salazar, J.A. et al. (2020). Identificación de un modelo y sintonización de un controlador difuso: Aplicado a la dirección de un robot tractor. En: *Proc. Congreso Internacional de Investigación Académica*, Academia Journals. Hidalgo, México, 1405-1410.
- Alonso-Hernández, O., Ramos-Fernández, J.C., Márquez-Vera, M.A. et al. (2020). Fuzzy infrared sensor for liquid level measurement: A multi-model approach. *Flow Measurement and Instrumentation*, 72, 101696.
- Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8, 338-353.
- Campos, Y., Rodner, E., Denzler, J. et al. (2016). Vegetation segmentation in cornfield images using Bag of Words. En *Proc. Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems (ACIVS 2016)*. Museo Storico Della Citta' Di Lecce, Italia. Octubre 24-27. LNCS 10016, 193-204.
- Campos, Y., Sossa, H. y Pajares, G. (2016). Spatio-temporal analysis for obstacle detection in agricultural videos. *Applied Soft Computing*, 45, 86-97.
- Graves, D. y Pedrycz, W. (2007). Fuzzy C-Means, Gustafson-Kessel FCM, and Kernel-Based FCM: A Comparative Study. En Melin P., Castillo O., Ramírez E., Kacprzyk J., Pedrycz W. (Eds.) *Analysis and Design of Intelligent Systems using Soft Computing Techniques*, Springer, Berlin, Heidelberg, 140-149.
- Campos, Y., Sossa, H. y Pajares, G. (2017). Comparative analysis of texture descriptors in maize fields with plants, soil and object discrimination. *Precision Agriculture*, 18(5), 717-735.
- Cortés-Gutiérrez, R., Ramos-Fernández, J.C., Padre-Nonthé, J.D. et al. (2018). Identificación y control difuso en el diagnóstico de fallas para sistemas una entrada-una salida: aplicado a la dirección de un robot tractor. *Research in Computing Science*, 147(6), 299-314.

SOBRE LOS AUTORES



Marco A. Márquez-Vera es Doctor en Ciencias de la Computación por la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Es profesor Investigador Titular en Ingeniería Mecatrónica en la Universidad Politécnica de Pachuca. Trabaja sobre el uso y aplicaciones de la lógica difusa y el aprendizaje profundo en bioprocesos, así como en diagnóstico de fallas en procesos.



Julio C. Ramos-Fernández es Doctor en Ciencias Computacionales por la Universidad Autónoma de Estado de Hidalgo y Doctor en Ciencias de la Ingeniería por la Université de Sud Toulon Var-Francia. Es el responsable técnico del Laboratorio Nacional de Vehículos Autónomos y Exoesqueletos de la Universidad Politécnica de Pachuca. Su área de énfasis es la aplicación de técnicas difusas para control y modelado de sistemas mecatrónicos, robots e invernaderos.



Andrea Rodríguez-Romero se graduó de Ingeniería en Biotecnología por la Universidad Politécnica de Pachuca, estudia sobre el control de biorreactores y el manejo de residuos por parte de la industria de la transformación y su efecto en el medio ambiente y en los cultivos agrícolas.



Mario A. Magaña-Méndez es Ingeniero en Sistemas Computacionales por el Instituto Tecnológico de Pachuca y Maestro en Mecatrónica por la Universidad Politécnica de Pachuca. Es Profesor Investigador Titular en la Ingeniería mecatrónica. Su áreas de interés son la robótica y los sistemas inteligentes, así como la programación de microcontroladores.



RTK es la abreviatura de cinemática en tiempo real. Un receptor de GPS capaz de RTK toma las señales normales de los sistemas globales de navegación por satélite junto con un flujo de corrección para lograr una precisión de posición de 1 cm.

Imagen tomada de: <https://blog.tecnocano.com/levantamientos-topograficos-usando-rtk/>.

ARTÍCULO ACEPTADO

Inteligencia Artificial para mejora de vehículos Pedelec

Tonatiuh Garcia-Reyes, Hernán de la Garza, Rafael Sandoval Rodríguez, Jesus Arturo Alvarado Granadino y Alberto Camacho Ríos

En este artículo se muestra el uso del Aprendizaje por Refuerzo (Reinforcement Learning) para controlar el apoyo del motor eléctrico en un vehículo tipo Pedelec, con el objetivo de maximizar el rendimiento de la batería, asegurar que el ciclista contribuya con el pedaleo y de evitar que su ritmo cardíaco se dispare.

Introducción

En 1990, Michael Kutter fundador de Dolphin E-bikes[1] diseñó y produjo la bicicleta Pedal Electric Cycle (Pedelec), una bicicleta con una impresionante funcionalidad: un sistema de pedaleo asistido por un pequeño motor eléctrico.

La diferencia entre la Pedelec y una bicicleta eléctrica común radica en dos características: La asistencia del motor solo se activa si el ciclista pedalea y si la velocidad no supera el límite preestablecido (usualmente 25 k/h).

Este vehículo ha tenido un gran auge en Europa debido a la interrupción automática de la asistencia que le permite mantener la clasificación de bicicleta y no de un automóvil.

A pesar de estas integraciones tecnológicas, existe oportunidad para la mejora de la Pedelec. Un ejemplo es la selección del nivel de apoyo automático del motor de manera que ahorre batería en caminos sencillos y aumente la potencia en caminos difíciles.

Actualmente, este control es manual, lo que lo hace incómodo y es un elemento distractor. El control típicamente presenta hasta 5 niveles preestablecidos, dejados a discreción del ciclista.



Figura 1. Uso indiscriminado de batería en ruta sencilla¹.

¹Royalty free Computer vectors created by pch.vector

Revisemos dos posibles escenarios al usar el control manual: Uno. Si optamos por un nivel de asistencia demasiado alto y la ruta es sencilla (Figura 1), existe el riesgo de una descarga temprana (Figura 2) con el inconveniente de cargar el peso del equipo eléctrico además del propio.

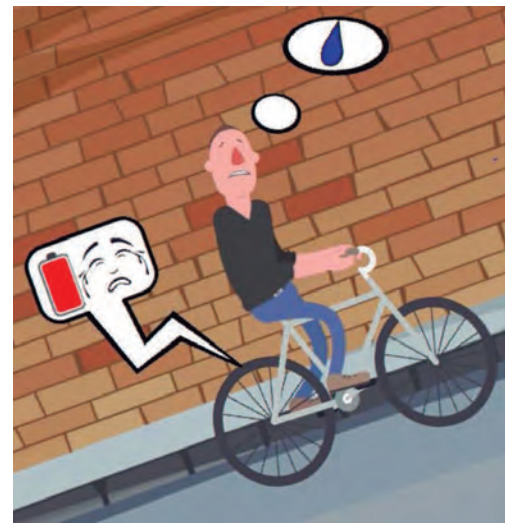


Figura 2. Batería descargada antes de terminar la ruta.

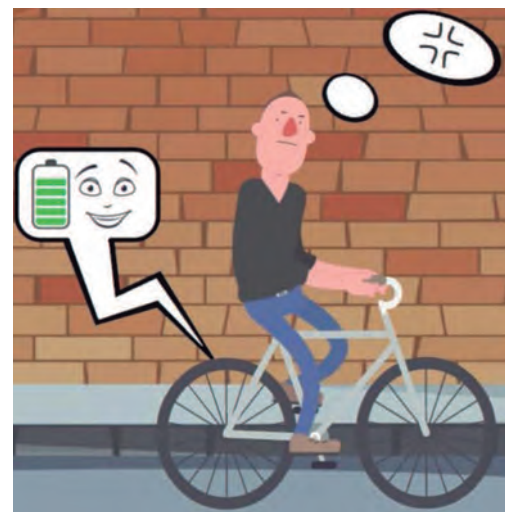


Figura 3. Batería con carga remanente.

Dos. Si optamos por un nivel de asistencia demasiado bajo, a modo conservador, pudiéramos terminar el recorrido con carga remanente pero bastante exhaustos (Figura 3).

Si la solución fuese aumentar la potencia cuando la inclinación sea alta y disminuirla cuando sea baja a través de un sensor que determine la inclinación y que consecuentemente ajuste automáticamente la potencia, el ciclista no se esforzaría mucho y tampoco se desperdiciaría batería. Pero ¿Cuánto es “mucho” esfuerzo para el ciclista?

En este momento aparece una nueva variable ... ¡El ciclista!

Si preguntáramos a cada ciclista cuánto es “mucho” esfuerzo, las respuestas podrían ser considerablemente diferentes.

Se necesita de un control de asistencia que pueda determinar cuándo el nivel de esfuerzo es demasiado alto o bajo, para cada posible ciclista. Pero, ¿cómo podemos determinar una medida para cada ser humano posible? Es aquí donde las herramientas de la inteligencia artificial (IA) vienen a salvar el día.

Si un ente de IA es alimentado con información del ciclista como el ritmo cardíaco y con el esfuerzo que realiza en los pedales, ese ente podría aprender a tomar la decisión del nivel de apoyo, usando al mismo ciclista como métrica dadas sus características únicas.



Figura 4. Sensor comercial de fotoplestismografía XD-58C, para medición del ritmo cardíaco.

Determinación del estado físico del ciclista

Para determinar esta métrica, consideraremos el ritmo cardíaco, el cual mediremos usando el sensor de fotople-

tismografía XD-58C (Figura 4), el cual se fundamenta en la aplicación y monitoreo de un haz de luz para detectar cambios en el volumen sanguíneo dentro de un lecho de tejido micro-vascular (Figura 5). Esta tecnología ha sido usada en otras investigaciones alcanzando hasta un 95 % de precisión [2].

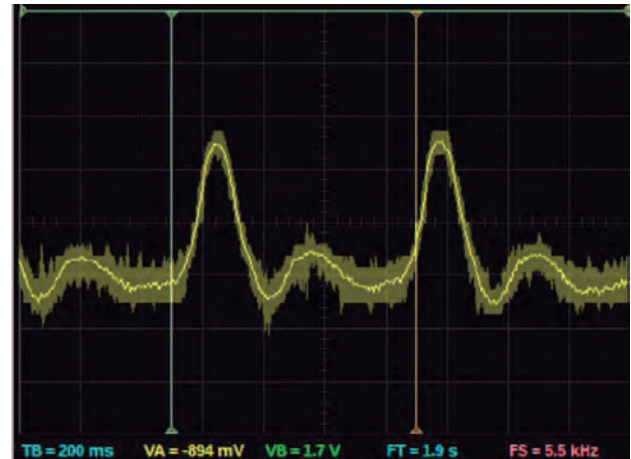


Figura 5. Lectura de sensor XD-58C. Aproximadamente 75 latidos por minuto.

Un segundo sensor que ayudará a predecir el estado físico del ciclista, es un *torque* o par. Estos sensores (Figura 6) son lo último en tecnología para bicicletas eléctricas. Transforman la fuerza mecánica ejercida en los pedales en una señal de voltaje, la cual es procesada para obtener la relación entre el torque/voltaje (Figura 7).



Figura 6. BB-torque sensor 2.0. Dispositivo capaz de convertir torque a voltaje.

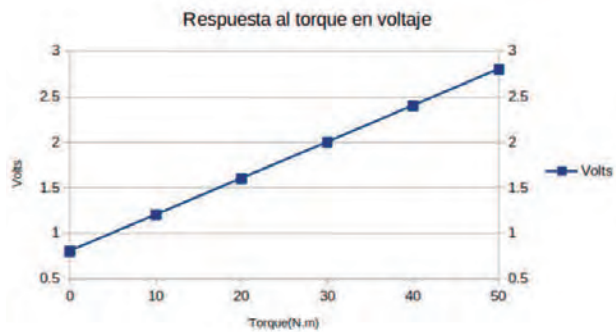


Figura 7. Gráfica de señal de salida del sensor BB-torque sensor 2.0.

La adición del sensor de ritmo cardíaco expande implementaciones previas como la de Jin-Shyan Lee en el 2019 [3] en la cual se tomó la capacidad de generación de energía (watts) a través de un sensor de torque como método adaptativo de asistencia.

Materiales y Métodos

Sensor XD-58C

La medición del ritmo cardíaco se realizó en el lóbulo de la oreja, colocando el sensor XD-58C en un adaptador construido en una impresora 3D (Figura 8).



Figura 8. Sensor XD-58C con adaptador para lóbulo de oído.

Instalación de sensor BB-torque sensor 2.0 El sensor de torque sustituye al eje de *pedalier* en una bicicleta estándar (Figura 9), esto es, la sección donde los pedales se integran al marco de la bicicleta (Figura 10). Su instalación sólo requiere de la apertura de un pequeño orificio para la salida del arnés de conexión.



Figura 9. BB-torque Sensor 2.0 instalado en el pedalier de la bicicleta.

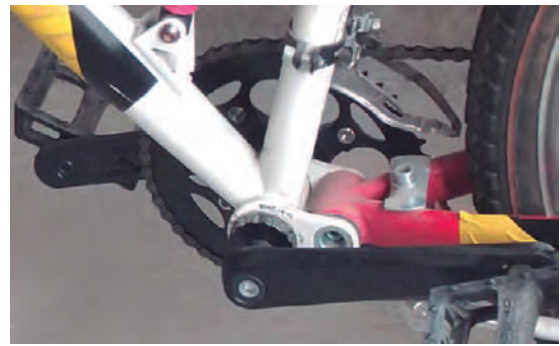


Figura 10. Pedales reintegrados a pedalier de la bicicleta.

Adquisición de datos

Se utilizó una placa de desarrollo ATmega328 (Figura 11), la cual cuenta con entradas para la interpretación de las señales tanto del sensor XD-58C, como del sensor BB-torque Sensor 2.0. La placa ATmega328 captura las señales de los sensores, las procesa y las envía por medio de una interfaz USB a la computadora donde reside la IA.

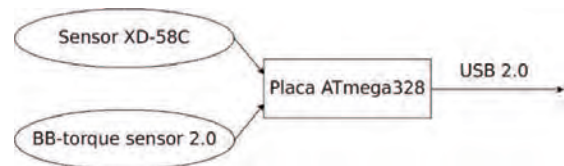


Figura 11. Modelo de captura y procesamiento de datos de los sensores.

Implementación de IA basada en Aprendizaje por Refuerzo

Como ya se mencionó, un ente de IA puede tomar decisiones basándose en las métricas del ciclista. En este proyecto se utilizó el “Aprendizaje por Refuerzo” (AR) cuyo concepto base es “*aprender qué hacer, ¿cómo asignar acciones a situaciones, para maximizar una señal de recompensa numérica?*” [4], su modelo básico se presenta en la Figura 12.



Figura 12. Modelo básico del Aprendizaje por Refuerzo [4].

Quizá el término Aprendizaje por Refuerzo nos lleve a pensar en un tema complejo, pero en realidad se trata de un fenómeno común del día a día. Veamos un ejemplo de la vida real que puede servir para presentar el concepto.

Ejemplo del AR en una actividad cotidiana

Imaginemos que recibimos una máquina de café, la cual es capaz de servir café en porciones exactas de una taza. Instalamos la máquina, agregamos el café y azúcar en sus respectivos depósitos y se observa que sus controles son 2 perillas: una para la cantidad de café y la segunda para el azúcar. Cada perilla tiene 4 posiciones y en ellas solo hay un símbolo denotando que la posición 1 es lo más ligero y la posición 4 lo más cargado (a esto se le conoce formalmente como el *ambiente*, donde cada combinación de las perillas representa un estado). Sin haber usado jamás una máquina de este tipo no tenemos idea de qué es ligero o cargado.

De inicio podríamos hacer una elección aleatoria en las perillas: supongamos que elegimos café-2, azúcar-1, la máquina prepara el café, pero al probarlo, notamos que el sabor no es agradable, faltó café en la mezcla. Entonces realizamos un segundo intento, esta vez elegimos café-4 y azúcar-2, la máquina prepara el café y ahora es demasiado fuerte el sabor. En un tercer intento usamos café-3 y azúcar-2 y la magia del café nos alegra la mañana, éste café nos ha quedado delicioso y al mismo tiempo hemos experimentado el caso más simple del aprendizaje por refuerzo, ¡enhorabuena!

Pero, ¿eso es todo? No, la cafetera puede ser mucho más sofisticada. Imaginemos una máquina que puede manejar varias selecciones de café y de azúcar, varios tipos de crema, control de temperatura de salida y con una característica especial: ¡La máquina no es perfecta! Existe una probabilidad desconocida de que nos entregue el café con alguna selección inesperada. Siendo así, deberemos desarrollar una estrategia para reconocer la combinación de perillas que tenga la mayor probabilidad de que nos entregue el café como nos gusta y que sea en el menor número de intentos. Este ejemplo de la cafetera cae en la categoría del problema del Bandido multi-armado [5], con una sola acción y una recompensa inmediata.

Formalizando el ejemplo anterior, el AR necesita de una serie de componentes para su funcionamiento: Un *ambiente* de trabajo (la posición de las perillas de la cafetera), una serie de *acciones* (cada cambio de posición de las perillas), una *recompensa* (el promedio de los niveles de satisfacción al degustar el café), una *política* (nuestra memoria recordando las posiciones de las perillas y sus resultados) y, finalmente, un *agente* (nosotros mismos tomando decisiones en cada experimento).

Ahora que tenemos una idea de los componentes de AR, veamos cómo se trasladan a la investigación en la Pedelec:

Ambiente

El *ambiente* en la Pedelec, está definido por una tabla que representa la totalidad de combinaciones de ritmo cardíaco y torque generado. Esto es, una representación del mundo real conocido.

Acciones

Las *acciones* son en sí las decisiones que la IA puede tomar en cada momento:

- **Asistir.** Incrementa la asistencia del motor.
- **Mantener.** Mantiene la asistencia.
- **Reducir.** Reduce la asistencia.

Señal de recompensa

La señal de *recompensa* consiste en evaluar las decisiones tomadas. Asigna una recompensa positiva cuando aproxima al ciclista a su área de confort, o negativa cuando lo aleja de dicha área.

Política

La política puede describirse como la experiencia adquirida por la IA. Recordar las buenas decisiones y evitar las malas, a partir de un estado dado.

“En la práctica, un investigador utilizará el Aprendizaje por Refuerzo para obtener una política que pueda llevar a cabo con éxito una tarea, donde el ‘éxito’ se mide en un sentido intuitivo o cualitativo”[6].

Agente

Por último, el *agente* es el encargado de monitorear el *ambiente* (pulso cardíaco y torque producido), evaluar las diferentes *acciones* posibles (asistir, mantener y reducir), seleccionar una de ellas y, de acuerdo a la *recompensa* recibida, actualizar la *política* (experiencia).

Experimentación

Se utilizó una bicicleta adaptada con sensores de torque y de fotoplethysmografía, montada sobre una base estática de entrenamiento de ciclismo, con resistencia ajustable (control de torque) para realizar una serie de experimentos (Figura 13), que demostraron que el AR logra el aprendizaje esperado de proporcionar el apoyo optimizado.

Se utilizó un sujeto de prueba en la bicicleta modificada y se determinó que la producción de torque “cómoda”, para dicho sujeto, era de 17 N.m, con un ritmo cardíaco de 135 LPM (± 5 LPM). Cabe resaltar que se requirieron de más de 16,000 muestras y de entrevistarlos, para llegar a estos valores particulares. Sin embargo, éstas métricas son de vital importancia para poder comparar posteriormente los resultados del AR contra algo considerado “idóneo”.



Figura 13. Bicicleta de pruebas. En cuadro verde sensor XD-58C y arnés de conexión. Cuadro amarillo sensor de torque. Cuadro rojo joy control de resistencia magnético.

En un principio, el agente del AR, no tiene ninguna experiencia, toda acción tomada será aleatoria. Para el aprendizaje se cuenta con un plan de recompensas que permitirá al agente evaluar si la acción tomada fue positiva o negativa. Para demostrar el aprendizaje del agente, se procedió a realizar los siguientes experimentos, todos con duración de 2400 segundos:

- **Ejecución de política estática.** Experimento con una requisición inicial de 6.0N.m, realizando captura del ritmo cardíaco y aumentando la requisición del torque (de 0.2N.m por segundo debido a restricciones propias del sistema) hasta llegar a los valores preestablecidos de 17N.m y 135LPM. Posteriormente se mantendrá el ritmo cardíaco con una variación de ± 5 LPM aumentando o disminuyendo la requisición de torque si este se sale de dicha tolerancia.
- **Primera fase de entrenamiento del agente.** Experimento con una requisición inicial de 6.0N.m y ninguna experiencia. Se espera ver cómo la IA va aumentando o disminuyendo la requisición de torque a base de prueba y error hasta lograr estabilizar al sujeto de prueba en los 135 LPM.
- **Segunda fase de entrenamiento del agente.** Experimento con una requisición inicial de 6.0N.m y una experiencia previa de 2400 segundos (primera fase). Se espera ver una rápida convergencia en dirección a los valores idóneos.
- **Tercera fase de entrenamiento de agente.** El experimento con una requisición inicial de 6.0N.m y una experiencia de 4800 segundos (primera y segunda fase). Se espera ver una convergencia aún más veloz hacia los valores idóneos.

Resultados

En la Figura 14 se muestran los resultados en el control del torque. En color azul se representa la política estática, una respuesta totalmente lineal dado que los valores deseados están claramente establecidos. La línea roja representa el comportamiento del agente artificial mientras aprende desde cero. Se observa que requirió de un tiempo mucho mayor al de la política estática para lograr el objetivo (70 vs 342 segundos), esto se explica por el hecho de que, al inicio, el agente está tomando decisiones a “prueba y error” (como en el ejemplo del café).

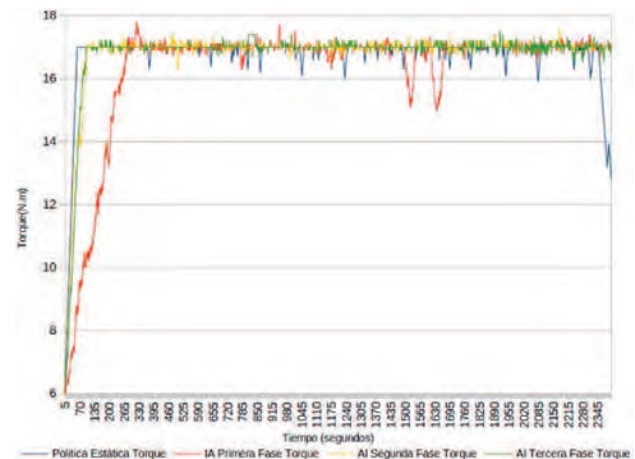


Figura 14. Comparación entre una política de control de torque estática (azul), primera fase (color rojo), segunda fase (amarillo) y tercera fase (verde).

Después tenemos en amarillo el segundo experimento. Aquí se logra ver una mejora excepcional. La experiencia previa se refleja con una convergencia más rápida (70 vs 106 segundos).

Por último, se presenta en verde la tercera ejecución. En este caso, la velocidad en la convergencia no difiere mucho a la anterior (106 vs 99 segundos), sin embargo, se puede apreciar que a lo largo del experimento ésta es la que presenta la mayor estabilidad en el área objetivo (17 N.m) ¡inclusive mejor que la política estática! En general, la política de la IA ha superado a la del Humano por su inherente flexibilidad al estar en constante búsqueda del estado ideal.

En la Figura 15 se aprecian las mediciones del ritmo cardíaco correspondientes a los mismos experimentos. Estas lecturas muestran el efecto del control de la asistencia en el sujeto de prueba, en virtud de que el ritmo cardíaco no puede ser controlado directamente por el agente, sin embargo, se pueden lograr los valores deseados de manera indirecta con cambios en la requisición de torque.

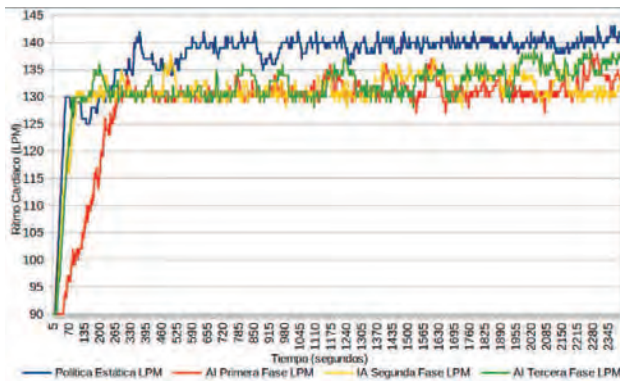


Figura 15. Comparación respuestas cardíacas, (azul) control de torque estático, (color rojo) primera fase, (amarillo) segunda fase y (verde) tercera fase.

La política estática (línea azul) nos muestra un fenómeno peculiar, la de elevar el ritmo cardíaco por encima del nivel deseado, esto por un retraso natural que tiene el sujeto de prueba a la disminución del nivel de torque requerido.

Por otro lado, la búsqueda constante del estado idóneo del AR, previene de tales retardos al tener la experiencia sobre las consecuencias de mantener una política sin cambios cercanas a los umbrales, virtud particularmente visible a partir del segundo experimento. En sencillas palabras, la IA aprende a alejarse, con antelación, de áreas que potencialmente lleven a ritmos cardíacos no deseados.

Discusión

Los resultados corroboran la efectividad de la combinación de los gadgets y la IA de AR. Analizando con más detalle los datos arrojados podemos notar algunas características singulares:

EL AR es capaz de aprender conforme es utilizada, sin importar que no cuente con ninguna instrucción específica. Poco a poco se llega a la convergencia deseada.

Los resultados son congruentes a una política laboriosa y meticulosamente fabricada como contraste.

Si en un momento dado se cambiara el sujeto de prueba, tomaría alrededor de 30-40 minutos el re-entrenamiento, suponiendo que las capacidades físicas del nuevo sujeto son completamente diferentes (por ejemplo, un joven de 20 años y un adulto de 60 años). Esto puede considerarse una enorme ventaja sobre otros sistemas de IA donde es necesario un re-entrenamiento total para cada sujeto de prueba, requiriendo horas o inclusive días.

El uso de dos gadgets comerciales económicos fue suficiente para lograr el objetivo deseado, esto es, la IA puede ser implementada de manera práctica sin tener que recurrir a proyectos de costos inalcanzables.

Trabajo futuro

Aunque los resultados son satisfactorios aún quedan diversas áreas para futuras investigaciones y mejoras del concepto demostrado, consolidando así un sistema más robusto y flexible. En una primera instancia se considerará la incorporación de sensores adicionales que permitan a la IA tener una visión más amplia del ambiente. Algunos sensores comerciales que se considerarán son: *Sensor de cadencia* para obtener el número de vueltas por minuto en los pedales; *Sensor de inclinación*, para saber sobre la pendiente del terreno de la ruta; *Sensor de velocidad*, para no rebasar los límites de velocidad.

En una segunda instancia, se probarán otros algoritmos para la toma de decisiones del agente, como lo son: funciones de aproximación, redes neuronales profundas, Tiling, entre otras alternativas. Todo con la finalidad de obtener una mayor robustez y flexibilidad.

Conclusión

Gracias a los avances tecnológicos, la disponibilidad en el mercado de diversos sensores/gadgets de fácil integración, placas de desarrollo y micro-computadoras portátiles, se ha logrado demostrar cómo la IA puede mejorar la calidad, flexibilidad y ventajas ofrecidas por vehículos Pedelec, al incluir un novedoso sistema autónomo de selección de asistencia gobernado por el estado físico del ciclista. Entre las mayores ventajas se destacan las siguientes:

El AR siempre estará buscando mayores recompensas, nada queda escrito sobre piedra. Si en algún momento dado la capacidad física del ciclista cambia, ya sea por el uso constante del vehículo, mejorando poco a poco sus cualidades físicas, o algún evento adverso como lo sería una enfermedad o lesión, el AR podrá ajustarse cuantas veces sea necesario.

El reconocer el estado físico de cada ciclista ya no implicará una tarea colosal, solo será un aprendizaje para cada caso, de manera personalizada (alrededor de 40 minutos en casos extremos).

La adición de sensores conlleva a una mejor precisión y rapidez de una IA de aprendizaje por refuerzo, ya que se cuenta con un número mayor de factores del mundo externo para ser tomados en cuenta.*

REFERENCIAS

1. Petrillo, A., Mellino, S., De Felice, F. y Scudo, I. (2019). Design of a Sustainable Electric Pedal-Assisted Bike: A Life Cycle Assessment Application in Italy. En Petrillo A., De Felice F. (Eds.). *New Frontiers on Life Cycle Assessment*. IntechOpen.
2. Li, Q. y Clifford, G.D.(2012). Dynamic time warping and machine learning for signal quality assessment of pulsatile signals. *Physiological Measurement*, 33(9).
3. Lee, J.S. y Jiang, J.W.(2019). Enhanced fuzzy-logic-based power-assisted control with user-adaptive systems for human-electric bikes. *IET Intelligent Transport Systems*, 13(10).

4. Sutton, R. y Barto, A. (2019). Reinforcement Learning An Introduction. Segunda edición. *The MIT Press*. ISBN 9780262039246.
5. Katehakis, M. y Veinott, A. (1987). The Multi-Armed Bandit Problem: Decomposition and Computation. *Mathematics*

of Operations Research, 12(2).

6. Carden, S. (2014). Convergence of a Reinforcement Learning Algorithm in Continuous Domains. Doctor of Philosophy (PhD) dissertation, Mathematical Science. Clemson University.

SOBRE LOS AUTORES



Carlos Ricardo Tonatiuh García Reyes es Técnico en electrónica industrial egresado del CONALEP I, Ingeniero en Sistemas Computacionales egresado del Tecnológico Nacional de México, sede Chihuahua II, actualmente cursando la Maestría en Sistemas Inteligentes en la misma sede. Ha participado en proyectos del área de manufactura como Ingeniero de pruebas, además como desarrollador de SW en empresas multinacionales en la industria de partes automotrices. Sus intereses son la inteligencia artificial (Reinforcement Learning y Redes Neuronales) e integración de la misma en módulos de HW portátiles.



Hernán de la Garza Gutiérrez es Profesor Investigador para el Tecnológico Nacional de México campus Chihuahua II. Miembro de la ACM y de la Asociación Mexicana de Inteligencia Artificial. Áreas de interés son Reconocimiento de Patrones, Deep Machine Learning y Reinforcement Learning. Participa en la Maestría en Sistemas Computacionales en la Línea de Sistemas Inteligentes y en el Doctorado en Ciencias de la Ingeniería en el Tecnológico Nacional de México campus Chihuahua II.



Rafael Sandoval Rodríguez recibió los grados de Ingeniero Industrial en Electrónica y Maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica por el Tecnológico Nacional de México campus Chihuahua, en 1991 y 1994, respectivamente. Recibió el grado de Doctor en Filosofía, en Ingeniería Eléctrica por la Universidad de Nuevo México en 2005. Actualmente es profesor investigador en la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Tecnológico Nacional de México campus Chihuahua, sus áreas de interés son instrumentación y control, robótica e inteligencia artificial.



Jesús Arturo Alvarado Granadino es miembro de la IEEE y de la Asociación Mexicana de Inteligencia Artificial. Presidente del Consejo de la Maestría en Sistemas Computacionales. del Tecnológico Nacional de México campus Chihuahua II. Maestro investigador en el área de Sistemas Inteligentes. Sus intereses se centran en el Procesamiento del Lenguaje Natural, Teoría de la Computación, Minería de Texto, Aprendizaje Automático y Procesamiento Digital de Imágenes.



Alberto Camacho Ríos es SNI Nivel I. Obtuvo el grado de Doctor en Ciencias en Matemática Educativa por el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, en México. Sus intereses se centran en las Tecnologías Aplicadas a la Educación, así como en los fenómenos transpositivos del conocimiento matemático desde la perspectiva de la Teoría Antropológica de lo Didáctico. Actualmente es catedrático del Tecnológico Nacional de México, campus Chihuahua II en las carreras de licenciatura de Ingeniería en Sistemas Computacionales, así como en la maestría del mismo nombre.

ARTÍCULO ACEPTADO

Robots móviles guías de visitantes

Moisés García-Villanueva, Leonardo Romero, Luis E. Gamboa e Ignacio Juárez-Campos

Los robots han evolucionado en varios grados de autonomía y utilizan técnicas cada vez más sofisticadas

La interacción humano-robot (HRI por sus siglas en inglés), es un campo multidisciplinario que ha ganado fuerza en las últimas décadas y ha dado origen a una gran cantidad de situaciones en las que los robots trabajan cohesivamente con sus contrapartes humanas. Los robots móviles autónomos que realizan visitas guiadas ofrecen una forma única de experimentar un recorrido por distintos ambientes, como museos, aeropuertos, exposiciones y sitios históricos, entre otros. Por su naturaleza, estos robots necesitan integrar un gran número de técnicas y teorías desarrolladas en el campo de HRI. Existen dos desafíos principales en la tarea de visitas guiadas que un robot debe cumplir para ser eficiente. En primer lugar, el robot debe interactuar con su público a través de una interfaz de usuario táctil o mediante comunicación verbal. En segundo lugar, el robot navega en una área poblada por humanos que causa una serie de eventos impredecibles que el robot debe ser capaz de resolver al momento. Juntas, estas condiciones ofrecen una forma de probar diferentes interacciones cognitivas y físicas entre humanos y robots [3].

Las nuevas generaciones de robots de servicio, diseñados para apoyar en algunas de las necesidades de nuestra vida cotidiana, han evolucionado gracias a los avances tecnológicos en las diversas áreas que componen la robótica. Los robots han sido ampliamente integrados en procesos de manufactura, tales como aquellos utilizados en líneas de ensamblaje automatizada. Sin embargo, estos ambientes son modificados para la operación de los robots. Por el contrario, la operación de los robots autónomos guías de visitantes en ambientes naturales, asociados con altos grados de incertidumbre, incrementan significativamente la complejidad de las tareas que el robot tiene que resolver.

Debemos considerar varios aspectos cuando se está desarrollando un robot autónomo de visitas guiadas. Fuera de un laboratorio, estos robots enfrentan ambientes no controlados y deben actuar de manera correcta entre un público numeroso, independientemente de sus capacidades y limitaciones. El robot deberá ser robusto ante las diversas situaciones que se presenten y deberá comportarse de forma segura para las personas a su alrededor y su propia seguridad.

La tecnología de los robots ha logrado grandes avances en años recientes permitiendo aplicar estas innovaciones en situaciones del mundo real, siendo las visitas guiadas un foco de atención para los grupos de investigación. Rhino [1] y Minerva [2] (Figura 1) son los precursores de una serie de robots guías que proporcionan una visita guiada en varios museos y salas de exposiciones. En este artículo se describen los principales elementos de este tipo de robots guías de visitantes, su evolución a lo largo del tiempo, robots guías en uso, los principales desafíos que se presentan en el área y conclusiones.



Figura 1. Robots precursores guías de museo. A la izquierda: Rhino de la Universidad Carnegie Mellon en Estados Unidos. A la derecha: Minerva de la Universidad de Bonn y la Universidad Técnica de Aachen, en Alemania.

Elementos de un robot guía de visitantes autónomo

Veamos ahora algunos de los principales elementos a considerar en los robots guías de visitantes:

- **Ambientes.** Los robots deben operar cerca de diferentes tipos de público, la mayoría de los entornos y escenarios reales se convierten en impredecibles, pues son extremadamente dinámicos e imponen, de modo significativo, poca certidumbre en la percepción del robot acerca del ambiente que lo rodea. En la mayoría de los casos se supone un piso plano con rampas que permiten el desplazamiento de un robot con ruedas. En este caso, debe evitarse su proximidad a escaleras, albercas y cualquier tipo de elementos que pongan en riesgo la integridad del robot.
- **Hardware.** Un robot de cualquier tipo está sujeto al desgaste de sus componentes. Por ejemplo, el desgaste de las ruedas de un robot incrementa la incertidumbre en la posición del robot, que frecuentemente se tiene que compensar con otro tipo de sensores.
- **Sensores.** La incertidumbre en las mediciones a partir del uso de sensores, debido a los procesos físicos involucrados, siempre estará presente. Por otro lado, el alcance y la resolución de los sensores están intrínsecamente limitadas. Adicionalmente, el procesamiento de la información recabada puede tener un costo computacional significativo (por ejemplo en imágenes de alta resolución). Finalmente, los ambientes dinámicos (como personas caminando) propician una complejidad mayor en el proceso de percepción del ambiente a través de los sensores.
- **Modelos.** Los modelos de fenómenos físicos que se realizan con robots, así como los entornos robóticos, son bastante aproximados, por lo que su uso introduce cierta incertidumbre adicional, una cuestión que todavía debe mejorarse en la robótica. Los principales paradigmas de desarrollo que se han utilizado para este tipo de robots de servicio son: a)

el modelo reactivo, que se define como un proceso percepción-acción (estímulo respuesta), es decir, el robot actúa o decide sin almacenar las mediciones previas de sus elementos de percepción, y actúa en base a la evolución del entorno o espacio en que se encuentra; y b) el modelo probabilístico, que tiene como principales objetivos estimar la posición más probable del robot y construir una representación del entorno que lo rodea tomando en cuenta la incertidumbre asociada a las mediciones de sus sensores, de manera que los movimientos del robot puedan ser planificados y efectuados con seguridad. Además, en la implementación de sistemas robóticos existe la necesidad de considerar aspectos como la flexibilidad, modularidad y programabilidad.

- **Tiempo de trabajo.** El desplazamiento por tiempo prolongado (semanas o meses) incrementa la incertidumbre y presenta condiciones especiales en los componentes técnicos o ambientes de interacción robot-humano. Con supervisión adecuada y bajo condiciones controladas, los sistemas robóticos se desempeñan correctamente, sin embargo, estos sistemas fallan cuando el tiempo de trabajo se extiende en ambientes no estructurados y sin supervisión humana.

Algunos de los componentes físicos, que comúnmente se pueden encontrar en estos robots para cumplir adecuadamente su función, son: sensores táctiles, arreglos de sensores 3D, cámaras de profundidad, sensores láser, infrarrojos, sonares, motor con codificadores rotativos y sensores de medida inercial. Para cumplir con el tiempo prolongado de trabajo en este tipo de robots, la energía puede ser suministrada por alguno de los dos tipos más populares de baterías secundarias recargables: las de plomo-ácido y las de iones de litio. Habiendo existido durante casi 160 años, la tecnología de plomo-ácido es capaz de proporcionar grandes cantidades de corriente eléctrica. Sin embargo, este tipo de batería puede ser grande y pesada, lo que la hace poco práctica para máquinas pequeñas y de poco peso, teniendo como alternativa la batería de iones de litio.

En el diseño de robots autónomos es muy importante considerar la cantidad de tiempo que debe operar en forma continua.

Evolución de este tipo de robots

Los robots de visitas guiadas han sido utilizados desde finales de los años 90's. En 1998, el museo estadounidense Smithsonian usó brevemente el robot Minerva para realizar visitas guiadas. Desde entonces, estos robots se han convertido en un interesante desafío académico en cuanto

a navegación, confiabilidad e interacción con el usuario. Un robot para visitas guiadas también es un espectáculo y muchas empresas de robótica utilizan esta tarea para hacer demostraciones o exhibir un nuevo robot. Si bien estos robots aún no pueden reemplazar a sus homólogos humanos, permiten a los investigadores probar teorías

de interacción humano-robot y proporcionar una atracción única para captar clientes potenciales para nuevas aplicaciones de los robots. Dos de los mejores ejemplos de robots para visitas guiadas que presentaron compañías de desarrollo tecnológico son el robot Tawabo y el Robot Guía de Toyota, que mostramos en la Figura 2. Estos modelos introdujeron algunas novedades. Tawabo muestra un rostro digital en la pantalla de interacción, haciendo más natural la comunicación. El robot de Toyota, por su parte, tiene brazos que pueden interactuar con el ambiente y reproduce gestos humanos.



Figura 2. Robots para visitas guiadas desarrollados por la industria: Tawabo (izquierda) y Robot Guía Toyota (derecha).

Una característica adicional que han buscado algunos desarrolladores comerciales es el integrar en los sistemas robóticos un sistema de comunicación telefónica. Lo que permitirá incrementar la gama de aplicaciones de estos robots.

De los desarrollos documentados en nuestro país, podemos encontrar el trabajo que se realizó en la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí en el año 2016 [6], cuyo entorno de trabajo se encuentra en el piso de oficinas de algunos de los docentes de esa institución. Sin embargo, existen varias plataformas de robots de servicio que podrían desarrollar un robot móvil de visitas guiadas: Markovito (Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, INAOE), Golem (Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM) y Donaxi (Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, APAEP).

¿En dónde se están utilizando?

En abril de 2018, el museo del Smithsonian Institution en Washington D.C. adquirió el robot Pepper. Este robot fue presentado en junio de 2014 por la empresa japonesa Softbank. Un año después, en su venta inicial, logró vender las primeras 1000 unidades en tan sólo 60 segundos. Para mediados de 2018 en Europa se habían vendido 12,000 unidades. Pepper es un robot semihumanoide, diseñado para leer emociones a través de la detección y análisis de expresiones faciales y tonos de voz. Alrededor

de 2000 compañías alrededor del mundo han adoptado este robot para múltiples tareas: visitas guiadas, asistente de bienvenida y para dar información. Este robot es sin duda una innovación en el mundo de la robótica, la Figura 3 nos muestra las diferentes partes de este robot.

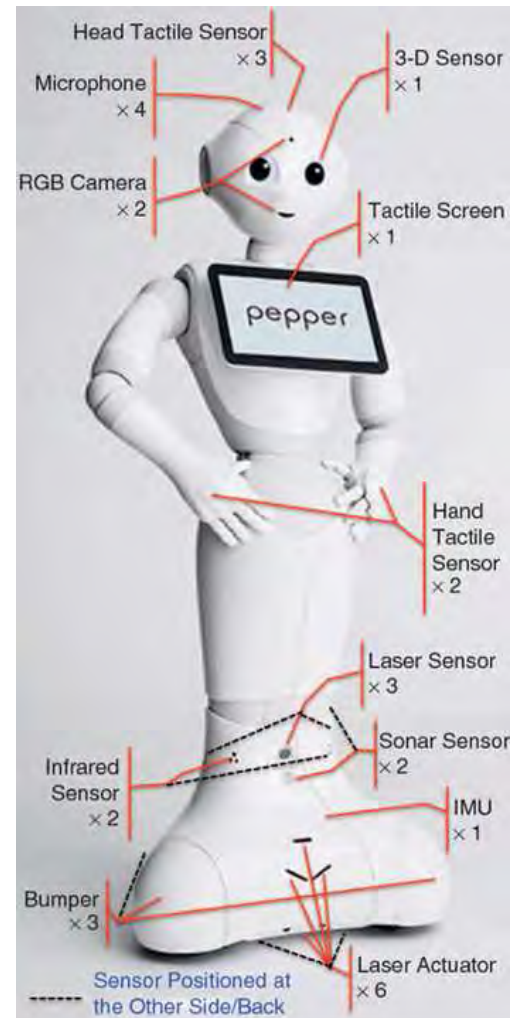


Figura 3. Sensores del robot Pepper utilizado en el museo Smithsonian Institution.

La corporación Sharp presentó en 2017 dentro de la conferencia Internationale Funkausstellung Berlin, un mini robot humanoide de aproximadamente 19.5 centímetros y un peso de 390 gramos (ver la Figura 4), llamado Robohon. Una de sus tareas es trabajar como guía turístico en Kioto, Japón, a través de un nuevo servicio que ofrecen los taxis urbanos para hacer frente al creciente número de extranjeros que visitan ese país. El robot ofrece sus servicios en tres idiomas (inglés, chino y japonés). Es capaz de reconocer rostros con su cámara de 8 megapíxeles, tomar fotografías y video. Puede además hacer llamadas y enviar mensajes.



Figura 4. Robot mini humanoide guía de turistas.

Por otra parte, dentro de los robots de código abierto se encuentra Tritonbot [4], basado en la plataforma de la empresa Fetch Robotics en su edición de investigación, desarrollado en 2018 como robot guía de visitantes por la Universidad de San Diego en California, Estados Unidos. Este robot fue probado como recepcionista y realizando visitas guiadas en el departamento de Ciencias de la Computación e Ingeniería, permitiendo la evaluación de desempeño durante largas jornadas de trabajo autónomo y recabando información para mejorar la interacción humano-robot. En la Universidad de Lincoln, en el Reino Unido, se desarrolló el robot Lindsey en el año 2018 [5], un robot autónomo que se planeó operar durante tres años. Este robot tiene la característica de buscar en forma autónoma su estación de carga de batería. La Figura 5 muestra a Lindsey y Tritonbot.



Figura 5. Robots de código abierto. Lindsey (izquierda) y Tritonbot (derecha).

Retos para un robot guía autónomo

El desarrollo de robots avanzados, como es el caso de los robots para visitas guiadas, ha propiciado que se con-

sideren nuevos paradigmas motivados por los diferentes peligros que surgen en la interacción con el ambiente o los humanos y estos sistemas robóticos. Algunas de las capacidades que deben tener estos robots son: localizarse, navegar en el ambiente sin chocar, es decir, evadir personas u obstáculos, identificar al grupo que está guiando, etcétera.

Con estas habilidades el robot deberá cumplir las tres leyes de la robótica que Asimov estableció en su obra "Círculo vicioso" (Runaround) de 1942, en las que se señala lo siguiente:

1. Un robot no hará daño a un ser humano ni, por inacción, permitirá que un ser humano sufra daño.
2. Un robot debe cumplir las órdenes dadas por los seres humanos, a excepción de aquellas que entren en conflicto con la primera ley.
3. Un robot debe proteger su propia existencia en la medida en que esta protección no entre en conflicto con la primera o con la segunda ley.

Considerar este conjunto de reglas en el desarrollo de estos sistemas robóticos, pretende mantener antes que nada la seguridad e integridad tanto del ser humano como del robot mismo. A continuación se describen brevemente seis peligros o riesgos más comunes en la tarea de visitas guiadas:

1. El movimiento es un elemento de interacción que implica la sincronización de desplazamiento con los visitantes. El peligro surge con movimientos inesperados de alguna persona o la falta de movimiento simultáneo, que se puede dar cuando se queda estático el robot o una persona.
2. La cercanía del robot con el público. Una o varias personas pueden estar muy próximas al robot, llegando incluso a tener contacto físico con algún componente del hardware de interacción. Esto puede ocasionar colisiones o fuerzas de contacto que pueden dañar al robot o al humano.
3. La comunicación humano-robot, que utiliza principalmente voz e imágenes, requiere procesos avanzados para determinar el contexto y la semántica de los mensajes recibidos y emitidos por el robot. En este escenario, el robot debe resolver y operar bajo las ambigüedades y confusiones inherentes al proceso natural de comunicación humana.
4. El control del robot autónomo requiere abordar problemas de toma de decisiones que involucran resolver situaciones complejas. Determinar la ubicación del robot, por ejemplo, es esencial para que éste pueda explicar algún elemento a su público.

5. La arquitectura mecánica representa un reto importante, pues debe balancearse el peso del robot con la apariencia deseada y las capacidades de desplazamiento. Adicionalmente, existe un impacto directo en los sistemas de energía del robot, y por lo tanto, de la cantidad de tiempo que el robot podrá operar.

6. La tarea de ser un guía es todo un reto. Cumplir con las complejas metas para las que es diseñado el robot implica la integración de múltiples funcionalidades. Por ejemplo, en una sala de exposiciones de un museo la prioridad de los elementos expuestos es diferente y el énfasis que se da a cada uno de ellos cambia según el tipo de público: niños, jóvenes, adultos, etc.

La convivencia con los robots desencadena un nuevo nivel de metas que involucran comportamientos sociales y de comunicación complejos.

En la mejora de este tipo de robots resulta imperativo seguir avanzando en áreas como el procesamiento de lenguaje natural y el aprendizaje profundo, que sin duda están abriendo nuevas vías de desarrollo para la robótica. En aprendizaje profundo se ha logrado crear modelos con porcentajes de eficiencia muy aceptables (mayores al 90 %), que logran identificar miles de objetos o clasificar la expresión de una persona. Estos desarrollos se han logrado gracias al uso de GPUs (Unidades de Procesamiento Gráfico) y el desarrollo de cámaras con niveles de resolución cada vez mayores y capaces de determinar la distancia a los objetos (cámaras de profundidad).

Conclusiones

La industria de robots para visitas guiadas ha logrado dar un salto muy importante hacia la comercialización. Muchos desafíos están siendo abordados por la comunidad académica y centros de investigación en el desarrollo de este tipo de robots. Se han creado nuevas áreas de investigación y se requiere de equipos de trabajo multidisciplinarios para atacar los problemas que demanda cada una de ellas. La seguridad tanto del robot como de su público se beneficiarán de las nuevas investigaciones y desarrollos en el área de la interacción humano-robot. El desafío más importante de los robots sigue siendo el factor humano, como cuando una persona intenta blo-

quear el camino del robot, lo trata de engañar o lo ignora. Comprender todas estas situaciones, ayudará a los investigadores a desarrollar robots que puedan comportarse de una manera cada vez más cercana a sus contrapartes humanas.*

REFERENCIAS

1. Burgard, W., Cremers, A.B., Fox, D., Hähnel, D., Lakemeyer, G., Schulz, D., y Thrun, S. (1999). The museum tour-guide robot RHINO". *Autonome Mobile Systeme*, 245-254.
2. Thrun, S., Beetz, M., Bennewitz, M., Burgard, W., Cremers, A.B., Dellaert, F., Fox, D., Hähnel, D., Rosenberg, C., Roy, N., Schulte, J. y Schulz, D. (2001). Probabilistic Algorithms and the Interactive Museum Tour-Guide Robot Minerva. *Journal of Robotics Research*, 19(11), 972-999.
3. Zacharaki, A., Kostavelis, I., Gasteratos, A., y Dokas, I. (2020). Safety bounds in human robot interaction: A survey. *Safety science*, 127.
4. Wang, S., y Christensen, H.I. (2018). Tritonbot: First lessons learned from deployment of a long-term autonomy tour guide robot. En *27th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, 158-165.
5. Del Duchetto, F., Baxter, P., y Hanheide, M. (2019). Lindsey the tour guide robot-usage patterns in a museum long-term deployment. En *28th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, 1-8.
6. Gallegos, K.L.L., Hernández, E.R.P. y Hernández, A.M. (2016). Diseño e Implementación de un Robot Guía Basado en la Interacción Humano-Robot. En *Congreso Nacional de Control Automático*. Queretaro, México.

SOBRE LOS AUTORES



Moisés García Villanueva obtuvo el grado de Maestro en Ingeniería Eléctrica en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en el estado de Michoacán de Ocampo, México en el año de 2001. Actualmente es profesor investigador en la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Michoacana. Sus intereses científicos incluyen la robótica, procesamiento de lenguaje natural, minería de datos e Inteligencia Artificial.



Leonardo Romero Muñoz estudió la licenciatura en ingeniería eléctrica en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y la maestría y doctorado en computación en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Cuernavaca. Se desempeñó como investigador en el Instituto de Investigaciones Eléctricas en Cuernavaca, Morelos de 1986 a 1993. A partir de 1993 es profesor investigador en la Universidad Michoacana. Ha desarrollado trabajos en las áreas de visión computacional, robótica móvil y razonamiento probabilístico. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores.



Luis Eduardo Gamboa Guzman es Doctor en Ciencias Computacionales por parte de la Universidad de Montreal, Canadá. Realizó sus estudios de Maestría en Ciencias en la UMSNH, y en el Instituto Tecnológico Nacional campus Morelia donde obtuvo el título de Ingeniero en Sistemas Computacionales. Actualmente es profesor investigador en la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Sus intereses de investigación abarcan el renderizado fotorealista basado en física, el procesamiento digital de señales y los métodos numéricos. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores.



Ignacio Juárez Campos nació el 23 de mayo de 1966, en Zitácuaro, Michoacán. Estudió Ingeniería Mecánica en la UMSNH, 1988, maestría y doctorado en sistemas mecánicos y mecatrónica, 1996 y 2002, respectivamente, en la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Actualmente, es profesor e investigador en la Facultad de Ingeniería Mecánica de la UMSNH. Sus intereses profesionales incluyen la concepción y el desarrollo de máquinas de locomoción discreta y exoesqueletos para asistencia y rehabilitación. Es integrante del Sistema Nacional de Investigadores.

“Robot Fraile Royito”



El “Robot Fraile Royito” es un robot guía propiedad de la empresa Intelirobot S.C., considerada como una de las mejores escuelas de robótica para niños. Este robot fue construido por partes plásticas correspondientes a automóviles y motocicletas infantiles.

Imagen tomada de: <https://www.elsoldesaniuis.com.mx/local/royito-el-robot-recorridos-en-el-museo-del-virreinato-san-luis-potosi-dia-de-los-museos-3624429.html>.

ARTÍCULO ACEPTADO

Robots de Telepresencia

Leonardo Romero, Moisés García, Luis E. Gamboa e Ignacio Juárez-Campos

Un robot de telepresencia le permite a una persona sentirse como si estuviera en el lugar remoto donde se encuentra el robot

La idea principal de un robot de telepresencia es dar al usuario la sensación de estar en otro lugar pudiendo interactuar con el ambiente y las personas en el lugar remoto. Aprovechando los sensores y actuadores del robot, la persona extiende su oído y la vista al lugar remoto donde se encuentra el robot. De manera similar, las personas en el ambiente distante perciben la voz y la imagen de la persona que se conecta con el robot.

El control de robots a distancia, o telerrobótica, es una rama de la robótica que se divide en dos grandes áreas de estudio: teleoperación y telepresencia. La teleoperación indica el manejo de una máquina o robot a control remoto, mientras que la telepresencia se refiere a una técnica para crear una sensación de presencia física en un lugar remoto [1]. El término de telepresencia fue introducido por Marvin Minsky en 1980 para referirse a un conjunto de tecnologías que le permiten a una persona sentirse cómo si estuviera presente en otro lugar [2].

Este artículo revisa las características principales de los robots de telepresencia, algunas de las áreas en las cuales se están utilizando y los retos a los que se enfrenta la ciencia y la tecnología para agregar y mejorar sus capacidades.

Características de los robots de telepresencia

Una revisión de las características generales más importantes de robots de telepresencia tanto comerciales como de investigación, se encuentra en los trabajos de Kristoffersson et al. [3] y de Desai et al. [4]. En el artículo de Lu y Hsu [5] se revisa, en particular, las características de robots de telepresencia adecuados en aplicaciones médicas y para cuidados en casa.

Esencialmente podemos decir que los robots de telepresencia utilizan un sistema de videollamada sobre una plataforma móvil que la persona puede controlar a distancia. Los robots normalmente utilizan dos o cuatro ruedas para moverse en pisos planos. Este tipo de robots pueden incorporar sensores complementarios como sonares, telémetros láser o interruptores de contacto; aunque existe el potencial para incluir detectores de humo, viento y temperatura, entre otros.

En resumen, los componentes esenciales de un robot de telepresencia son los siguientes:

- Un medio de locomoción del robot, típicamente mediante ruedas que son accionadas por motores eléctricos, para moverse en el ambiente donde se encuentra.
- Un sistema de videollamada compuesto por: una cámara y micrófonos, para percibir el ambiente y enviar la información a la persona que se conecta al robot; una pantalla y bocinas para que el robot presente la imagen y voz de la persona remota.
- Distintos tipos de sensores, para percibir el ambiente que rodea al robot.
- Un medio de comunicación para establecer la comunicación de la persona con el robot de telepresencia.
- Una computadora a bordo del robot que se conecta con los actuadores (los motores eléctricos), los sensores y el sistema de videollamada.
- Una batería para proporcionar la energía requerida para operar el robot.

La Figura 1 ilustra los componentes mínimos de un robot de telepresencia. En la parte inferior se representa un sistema de locomoción diferencial, el cual está compuesto por dos ruedas de tracción (en la Figura sólo se muestra una) y dos ruedas pequeñas de soporte. Cada rueda de tracción se acopla a un motor eléctrico, de manera que al controlar los motores eléctricos de ambas ruedas, el robot puede avanzar, retroceder, girar hacia un lado o hacia el otro. También en la parte inferior del robot de telepresencia se ubican la batería, la computadora a bordo del robot, el sistema de comunicación con el exterior y los sensores adicionales del robot, como sonares, telémetros láser, etc.

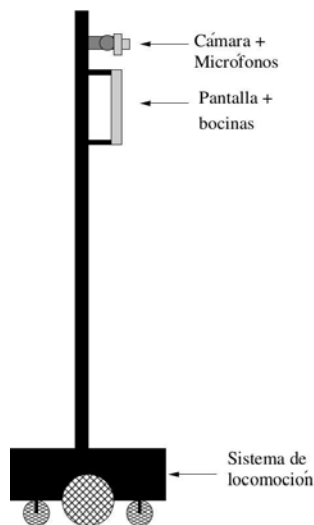


Figura 1. Robot de telepresencia.

En la parte superior se presenta la cámara unida al robot mediante un sistema de giro-inclinación, el cual permite cambiar la orientación de la cámara y de los micrófonos. La cámara y los micrófonos son el ojo y el oído del robot. Adicionalmente la cámara podría tener la capacidad de controlar un lente telefoto para enfocar con mayor detalle ciertos elementos de interés.

Debajo de la cámara se ubica la pantalla, en donde se presenta la imagen de la persona que opera en forma remota el robot de telepresencia; así como las bocinas para emitir la voz de la persona remota. En algunos robots se dispone de un marco de sujeción para colocar una computadora portátil con tecnología táctil, conocidas como tableta o tablet, aprovechando que estos dispositivos son muy accesibles y de uso muy frecuente.

En algunos robots el mástil que une los elementos superiores del robot con la base de locomoción es de una longitud fija, mientras que en otros es de una longitud variable. Si el robot puede controlar la longitud del mástil, puede adaptarse a la altura de las personas con las que interactúa y ofrecer mayor flexibilidad en su operación.

El artículo [3] de 2013, se hace una revisión de los robots de telepresencia y presenta una lista de 16 robots de telepresencia que aparecen en la literatura especializada.

Podemos afirmar que actualmente los robots de telepresencia son una tecnología madura y ya se encuentran diversos modelos comerciales disponibles en sitios de ventas de productos en línea. Como ejemplo, al hacer una búsqueda de robots de telepresencia en el sitio www.robotshop.com se obtiene una lista de 13 robots comerciales disponibles.

Uno de los robots de la lista se presenta en la Figura 2, el robot de telepresencia Amy Robotics M1 Twin Brother para aplicaciones comerciales, con un costo aproximado de \$18,000 USD. En la parte superior del robot

(que constituye la cabeza) se localiza una cámara de alta definición (HD Camera) para observar el ambiente del robot, una bocina (Speaker) para emitir sonidos o voz, y un rectángulo negro que corresponde a la pantalla donde se muestra la imagen de la persona que se conecta en forma remota. Un poco más abajo se dispone de un arreglo de micrófonos (Mic Array) que le permiten oír al robot. Enseguida se ubica el botón de encendido y apagado (On/Off) y la luz LED para indicar que está en operación el robot. Más abajo dispone de varios tipos de sensores: una cámara 3D (3D Camera), sensores de ultrasonido (Ultrasound) y sensores de contacto (Bumper). En su parte interna dispone de una batería de 15V y 10.6AH que le proporciona hasta 10 horas de operación. A bordo del robot se dispone del procesador ARM quad-core Cortex-A15+. La conectividad se realiza a través de WiFi y en forma opcional a través de una red 4G LTE.



Figura 2. El robot de telepresencia Amy Robotics M1 Twin Brother (imagen de www.robots.com).

Áreas de aplicación

Los robots de telepresencia se desarrollaron originalmente con fines de investigación y su desarrollo todavía continúa.

En la Figura 3 se muestra el robot de telepresencia Paynal [6] un prototipo de bajo costo con fines de investigación, desarrollado por los autores de este artículo en 2015. El robot ofrece comunicación bidireccional de audio y video, además de un sistema de detección de obstáculos usando dos cámaras y un telémetro láser. Un microcontrolador Arduino controla los dos motores de pasos acoplados a las ruedas y una computadora de tarjeta única Odroid U3 procesa imágenes, audio y video, así como las lecturas del telémetro láser.



Figura 3. Izquierda: el robot de telepresencia Paynal [5]. **Derecha:** demostración en el Tianguis de la Ciencia, un evento de divulgación científica y tecnológica que organiza anualmente la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

En el artículo de 2019 Ainasoja et al. [7] presentan el desarrollo de un robot de telepresencia de auto-balanceo (solamente dos ruedas de tracción) utilizando como dispositivo de control remoto un teléfono móvil inteligente. Para lograr el control del robot se utiliza tanto la interfaz táctil como los sensores inerciales disponibles en el teléfono (acelerómetros y giroscopios). De este modo, al inclinar el teléfono hacia adelante, hacia atrás o girarlo, el robot realiza las operaciones correspondientes de avanzar, retroceder o realizar el giro deseado.

Por otro lado, los robots de telepresencia comerciales usualmente son diseñados para aplicaciones en los siguientes áreas [3]: ambientes de oficinas, para el cuidado de la salud, para personas mayores en sus casas y en escuelas. Veamos brevemente cada una de estas áreas de aplicación.

Robots en ambientes de oficina

Los robots de telepresencia en ambientes de oficina permiten que las personas puedan asistir en forma remota a reuniones formales e informales, así como interactuar con mayor flexibilidad que la permitida por una videollamada. Esta aplicación tiene un impacto económico directo al disminuir drásticamente los tiempos y costos asociados con el traslado de la persona al lugar de la reunión. El robot que se muestra en la Figura 2 está diseñado para funcionar en ambientes de oficina.

En cuanto a la aceptación de los robots de telepresencia en reuniones, el artículo de Bae y Han [11] presenta

que fueron bien recibidos tanto por jóvenes como personas de mayor edad. Inclusive las personas mayores tuvieron expectativas más altas en el desempeño del robot, que los jóvenes.

Robots para el cuidado de la salud

El robot avanzado para uso en hospitales InTouch Vici, mostrado en la Figura 4, permite a un médico conectado de forma remota supervisar la evolución de sus pacientes.



Figura 4. El robot de telepresencia InTouch Vici en un hospital (imagen de intouchhealth.com).

Este robot cuenta con una cámara de alta definición que tiene un sistema de giro inclinación y un zoom variable de 36× controlable en forma remota. De esta manera, el médico está en condiciones de observar con un alto detalle al paciente y realizar su evaluación.

En [3] se informa de la aplicación exitosa de robots de telepresencia para el cuidado posterior de cirugías menores (médico que realiza la visita en forma remota), en cuidados ortopédicos con estancia prolongada en hospitales (en especial en las noches y fines de semana), en unidades de cuidados intensivos (obteniendo tiempos muy cortos de supervisión), en cirugía y enseñanza (al estar un médico experto conectado al robots de telepresencia) y en cuidado postoperatorio en casa (el médico visita al paciente mediante un robot de telepresencia en casa del paciente).

Robots para adultos mayores

En la Figura 5 se muestra a Giraff, un robot avanzado de telepresencia para el cuidado de la salud que es utilizado tanto en hospitales como en casa. Este robot, con un costo aproximado de \$11,900 USD, ayuda a las personas mayores, permitiendo que se mantengan conectados con

su familia, amigos y doctores. El robot se puede controlar desde cualquier ubicación que disponga de una conexión a internet y una computadora.

Esta área de aplicación es particularmente atractiva en países occidentales y en Japón los cuales tienen una población creciente de adultos mayores. Los estudios se han llevado a cabo sobre periodos prolongados de tiempo [3], evaluando diversos parámetros como la aceptación del adulto mayor, de sus familiares y personal médico; su nivel de satisfacción, la alerta ante señales de peligro (por ejemplo cuando la persona tiene una caída).



Figura 5. El robot Giraff para atención de la salud (imagen de telepresencerobots.com).

Robots en las escuelas

En la Figura 6 se muestra un ejemplo de la aplicación del robot VGo en las escuelas. Una escuela de Texas utiliza este robot para que un estudiante asista de manera remota a sus clases, pues debido a una condición de salud no le es posible atenderlas presencialmente.

En [3] se describen varios estudios de robots de telepresencia en escuelas. En uno de ellos se adaptó una cámara extra en el robot, para que el estudiante remoto tuviera una vista completa del salón de clases; también se incluyó un escaner y una impresora en el lugar de clases y junto al estudiante remoto, para facilitar el apoyo logístico. En [8] se propone la utilización cotidiana de robots de telepresencia para tomar cursos de administración.



Figura 6. El robot de telepresencia Vgo en la escuela (imagen de www.vgocom.com).

Problemas a resolver en el futuro

La creación de robots de telepresencia con capacidades cada vez más amplias, requiere resolver un conjunto de problemas y desafíos tanto científicos como tecnológicos. A continuación mencionamos algunos de ellos:

1. Mejora de la percepción del sonido. Se requiere un arreglo de micrófonos de alta sensibilidad y bajo nivel de ruido que implementen esquemas de supresión del eco de los sonidos emitidos por el propio robot. Usualmente el arreglo de micrófonos se dispone en la parte alta del robot y las bocinas en la parte baja. Este problema se agrava al atender a adultos mayores, cuando la persona no habla fuerte, se aleja o cambia su orientación.
2. Uso de cámaras de alta resolución con control automático de brillantez, enfocado, zoom y sistemas de giro inclinación. Este tipo de cámaras ya empiezan a aparecer en robots especializados para hospitales.
3. Uso de más tipos de sensores. En aplicaciones relacionadas con la salud, por ejemplo, podría ser útil disponer de cámaras térmicas para auxiliar en el diagnóstico del paciente.

4. Inclusión de sensores complementarios (como cámaras estéreo, sensores inerciales, etc.) para la implementación de esta tecnología junto con aplicaciones de realidad virtual, realidad aumentada o realidad extendida. En este caso, un robot puede ser utilizado para experimentar y explorar lugares que de otra manera son inaccesibles para los humanos.
5. Mejora en el sistema de locomoción. Prácticamente todos los robots actuales utilizan ruedas para desplazarse, lo cual los hace muy eficientes en el manejo de la energía y conduce a robots de bajo costo. Sin embargo, en ambientes con desniveles o escaleras, estos robots no pueden desplazarse. Los robots para estos ambientes pueden utilizar dos o cuatro patas y pueden subir escaleras, pero su costo se incrementa significativamente.
6. Añadir brazos, manos al robot. Si bien podría ser muy útil que el robot cuente con brazos y manos, estas adiciones aumentan de manera importante su costo, el consumo de energía del robot, así como el costo computacional para controlar los movimientos. Algunos robots de telepresencia avanzados incorporan brazos y manos, pero mantienen una base que utiliza ruedas. Otro factor importante es la apariencia general del robot, para ciertas aplicaciones. Según el artículo de Fox Tree et al. [10], el uso de robots de telepresencia en entrevistas tiende a incrementar la distancia psicológica entre las personas involucradas.
7. Mejora en las baterías. Los robots actuales pueden operar unas pocas horas con la energía de sus baterías. Se necesita desarrollar baterías con más capacidad para dar mayor autonomía a los robots.
8. Recarga de las baterías del robot. Cuando se agotan las baterías, el robot simplemente podría apagarse. Sin embargo, es más útil que se desplace al lugar de recarga de sus baterías, en forma autónoma. Para lograr este objetivo, el robot debe disponer de sensores adicionales que le permitan construir un mapa del ambiente, planificar una ruta de desplazamiento hacia el lugar especial de recarga y reconocer dicho lugar. Algunos robots de telepresencia actuales pueden ir en forma autónoma hacia un lugar designado para su recarga. Sin embargo, se espera que los robots de telepresencia futuros podrán reconocer y aprovechar cualquier contacto eléctrico disponible.
9. Protección contra colisiones. Un usuario remoto intencionalmente o accidentalmente podría hacer que el robot choque contra obstáculos a su alrededor o bien caiga de alguna escalera. Sería deseable que el robot detectara esta situación y se negara a realizar la acción que puede causarle daño. Algunos robots de telepresencia avanzados incluyen sensores adicionales y algunas habilidades de los robots autónomos, como el reconocimiento de posibles colisiones o caídas.
10. Robots más inteligentes. Si bien una sesión podría ser iniciada por cualquiera de las dos personas involucradas (como en una videollamada), en tareas como el cuidado de personas mayores sería deseable que el robot pudiera monitorear a la persona mayor, detectar posibles situaciones de riesgo y tener la capacidad de poder iniciar una sesión con algún familiar o médico, en forma autónoma. También podría ser muy útil que le recordara tomar sus medicamentos a cierta hora y que realizara el seguimiento de la persona monitoreada en forma autónoma. Sin embargo, también están todas las cuestiones de privacidad y éticas para el uso de robots de telepresencia en el cuidado de adultos mayores [9].

Los robots de telepresencia son una tecnología madura y ya se encuentran disponibles comercialmente

Conclusiones

Un robot de telepresencia permite a una persona sentirse como si estuviera en un lugar distante. Aprovechando esta tecnología, un médico puede visitar a sus pacientes en hospitales o en sus casas, en su misma ciudad o en ciudades de otros países. Para ello solo se requiere que en los lugares remotos se dispongan robots de telepresencia a los cuales se pueda conectar el médico.

Los robots de telepresencia son una tecnología madura y ya son utilizados en ciertos ambientes, especialmente

para el cuidado de la salud en hospitales y en casa. Derivado de la pandemia global de COVID-19, sin duda se incrementará el uso de robots así como sus aplicaciones.

En los próximos años seguiremos viendo el desarrollo de robots de telepresencia cada vez más avanzados, inteligentes y, sobre todo, con funcionalidades mejoradas o nuevas que logren hacernos sentir con mayor fidelidad como si estuviéramos presentes en algún lugar remoto.*

REFERENCIAS

1. Shen, X. y Shirmohammadi, S. (2008). Telepresence. En B. Furht, (Ed.) *Encyclopedia of Multimedia*, Springer US, Boston, MA, 849-852.
2. Minsky, M. (1980). Telepresence. En *Omni*, 2(9), 44-52.
3. Kristoffersson, A., Coradeschi, S. y Loutfi, A. (2013). A review of mobile robotic telepresence. En *Advances in Human-Computer Interaction*, 2013, 1-17.
4. Desai, M., Tsui, K., Yanco, H. y Uhlik, C. (2011). Essential features of telepresence robots. En *IEEE Conference on Technologies for Practical Robot Applications*, 15-20.
5. Lu, J. y Hsu, Y. (2015). Telepresence Robots for Medical and Homecare Applications. En M. Zhou, H. Li and M. Weijnen (Eds.) *Contemporary Issues in Systems Science and Engineering*, IEEE, Inc.
6. Rangel, R., Romero, L., y Garcia, M. (2015). Paynal, a low cost telepresence robot. En *2015 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC)*, 1-4.
7. Ainasoja, A.E., Pertuz, S. y Kamarainen, J.K. (2019). Smartphone Teleoperation for Self-balancing Telepresence Robots. En *Proceedings of the 14th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications (VISIGRAPP 2019)*, 561-568.
8. Rinfret, S.R. (2020). Telepresence robots: A new model for public administration course delivery. *Journal of Public Affairs Education*, 26(3).
9. Niemela, M., Aerscho, L.V., et al. (2019). Towards Ethical Guidelines of Using Telepresence Robots in Residential Care. *International Journal of Social Robotics*, Springer.
10. Fox Tree, J.E., Whittaker, S., et al. (2021). Psychological distance in mobile telepresence. *International Journal of Human-Computer Studies*, 151.
11. Bae, I. y Han, J. (2020). Generation Gap of Expected Rights through Telepresence Robots. *The Journal of Korea Robotics Society*, 15(2), 160-168.

SOBRE LOS AUTORES



Leonardo Romero Muñoz estudió la licenciatura en ingeniería eléctrica en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y la maestría y doctorado en computación en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Cuernavaca. Se desempeñó como investigador en el Instituto de Investigaciones Eléctricas en Cuernavaca, Morelos de 1986 a 1993. A partir de 1993 es profesor investigador en la Universidad Michoacana. Ha desarrollado trabajos en las áreas de visión computacional, robótica móvil y razonamiento probabilístico. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores.



Moisés García Villanueva obtuvo el grado de Maestro en Ingeniería Eléctrica en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en el estado de Michoacán de Ocampo, México en el año de 2001. Actualmente es profesor investigador en la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Michoacana. Sus intereses científicos incluyen la robótica, procesamiento de lenguaje natural, minería de datos e Inteligencia Artificial.



Luis Eduardo Gamboa Guzman es Doctor en Ciencias Computacionales por parte de la Universidad de Montreal, Canadá. Realizó sus estudios de Maestría en Ciencias en la UMSNH, y en el Instituto Tecnológico Nacional campus Morelia donde obtuvo el título de Ingeniero en Sistemas Computacionales. Actualmente es profesor investigador en la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Sus intereses de investigación abarcan el renderizado fotorealista basado en física, el procesamiento digital de señales y los métodos numéricos. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores.



Ignacio Juárez Campos nació el 23 de mayo de 1966, en Zitácuaro, Michoacán. Estudió Ingeniería Mecánica en la UMSNH, 1988, maestría y doctorado en sistemas mecánicos y mecatrónica, 1996 y 2002, respectivamente, en la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Actualmente, es profesor e investigador en la Facultad de Ingeniería Mecánica de la UMSNH. Sus intereses profesionales incluyen la concepción y el desarrollo de máquinas de locomoción discreta y exoesqueletos para asistencia y rehabilitación. Es integrante del Sistema Nacional de Investigadores.

ARTÍCULO ACEPTADO

Robótica inteligente en el hogar

Antonio Marín Hernández, Ericka J. Rechy Ramírez y Homero V. Ríos Figueroa

La robótica de servicio en el hogar

En este artículo se desea introducir al lector a la problemática actual de los robots de servicio [1], particularmente a la solución de tareas aun no resueltas en los hogares. Los robots de servicio en los hogares hicieron su primera incursión con las aspiradoras autónomas. Estos dispositivos automatizados diseñados para auxiliarnos en la limpieza de habitaciones comenzaron a popularizarse a nivel mundial a inicios de los años 2000. En la actualidad es posible adquirir este tipo robots de más de una veintena de proveedores, algunos de estos ya con mucho tiempo en el mercado y algunos otros que recientemente ingresan en dicho sector. Si bien, las tareas a las cuales estos robots se ha dedicado se han ligeramente diversificado; por ejemplo, ya se tienen robots para trapear pisos, limpiar ventanas, podar el césped o para realizar la limpieza de piscinas; estos robots están en el límite entre un proceso de automatización y realmente la concepción de un robot “inteligente” de servicio (Figura 1).



Figura 1. ¿Son inteligentes los robots de servicio?

En función de las versiones o capacidades incluidas, estos robots pueden ser altamente eficientes a la hora de realizar las tareas para las cuales han sido diseñados. Sin embargo, estos robots tienen poca o nula comunicación con los usuarios y mucho menos entienden el contexto o condiciones particulares para poder adaptar su funcionamiento de acuerdo a ello; es decir, si por ejemplo se tiene una reunión en la sala, el robot aspiradora debería

entender dicho contexto y evitar ponerse a aspirar dicho espacio en ese momento, a menos que, detectara que algo se cayó y entonces debe aspirarlo.

Aun falta mucho para que estos robots puedan entender los contextos o por lo menos responder activamente a frases como: “robot, limpia por favor las palomitas de maíz que se nos cayeron en la sala”, pero sobre todo, que el robot entienda que sólo debe limpiar una pequeña sección de la habitación y regresar a su base de recarga de inmediato, esto por supuesto con el propósito de no perturbar tratando de aspirar la habitación completa, pero sobre todo debido al ruido que provoca o incomodidad por sus desplazamientos.

Auxiliar a los humanos

Auxiliar a los humanos en su vida cotidiana será una de las labores más importantes para estos robots, pero además, es una de las más complejas. Tareas que pensaríamos son sumamente fáciles para un ayudante humano, generalmente no lo son (aún) para un robot de servicio.

Pensemos, por ejemplo, en solicitar a un robot buscar la caja de medicinas, la cual se nos olvidó en la recámara. El robot, suponiendo que identifica sin problema la recámara de cada persona, tendrá que usar algún proceso cognitivo para tratar de reducir su búsqueda, es decir, no intentar escanear desde el inicio toda la habitación con sus sensores, sino enfocarse en los lugares más probables, en donde, la persona pudo haber dejado un objeto de tales características.

Este proceso requiere no sólo de cognición, esto es, no sólo debe saber lo que es una caja de medicinas y sus dimensiones posibles, sino, adicionalmente requiere saber de las actividades comunes de un ser humano, esto implica pensar en el contexto; pues dichas actividades son diferentes en función de la hora del día o del día de la semana. La búsqueda entonces estará entonces posiblemente dirigida por el cálculo de probabilidades en función de lo que el robot sabe: del objeto, del usuario y del contexto actual.

Los robots en el hogar

Los robots de servicio en nuestro hogar y en muchos otros espacios similares, se enfrentarán a muy variados problemas, tantos que los científicos y desarrolladores no podrán considerar todos los aspectos, ni todas las variantes de ellos. Por ello es importante que los robots incluyan además de procesos de aprendizaje, algoritmos para comprender su entorno y capacidades para aplicar de diversas maneras el conocimiento adquirido.

En un robot inteligente se tendrán que implementar los procesos de inducción, deducción y aplicación por analogía [2], entre otros, para que estos robots puedan efectivamente resolver un conjunto más grande de problemas.



Figura 2. La recámara y los objetos comunes.

Por ejemplo, supongamos la siguiente solicitud hecha a nuestro robot de servicio: “robot, por favor, llévame un vaso de agua a mi recámara, para tomarme mi medicina al acostarme”. Sin entrar en la discusión de si “el vaso es de agua” o “con agua”; esto es, suponemos que el robot es capaz de entender las variantes de nuestro lenguaje cotidiano; el robot tiene la tarea de llevar un recipiente con líquido y dejarlo en la habitación, ¿en dónde debe dejar tal objeto? Comúnmente, este objeto se debería dejar en la mesita de noche, en caso de haberla, o en algún otro lugar cercano a la cama. Para ello el robot debe encontrar un espacio pertinente en donde colocar el vaso en dicha recámara (Figura 2). Sin embargo, esto no siempre es posible.

Comencemos segmentando *grosso modo* la tarea a realizar en subproblemas:

- La primera tarea que debe realizar el robot es tomar un vaso y verter en él, un poco agua.
- Segundo el robot debe planificar la trayectoria para llegar de su posición actual a la habitación de la persona que solicita el servicio.
- Posteriormente debe realizar esta trayectoria, considerando no chocar con obstáculos fijos o dinámicos y si requiere abrir alguna puerta debe realizarlo.
- Una vez que el robot se encuentra en la habitación el robot debe buscar, en donde colocar el vaso.

Si bien el problema general no ha sido completamente resuelto, las tres primeras tareas han sido parcialmente resueltas por diversos grupos de investigación a lo largo y ancho del mundo. Sin embargo, en el momento, en donde

el robot se pregunta: ¿en dónde colocar el vaso? aun hay mucho trabajo por realizar. Sobre todo, considerando las múltiples posibilidades con las que cuenta el robot.

En la Figura 3 se muestran dos imágenes comunes de objetos colocados en los burós o mesas de noche, que encontramos generalmente en las recámaras. Como se observa, estos burós están saturados con objetos de diferente índole; sin embargo, una persona es capaz de decidir, qué acciones debe tomar, para poder colocar un recipiente con líquidos en cualquiera de estas configuraciones. Ya sea distribuyendo de una mejor manera los objetos sobre los burós o tomando objetos para colocarlos en otros espacios, a un humano no le llevaría mucho tiempo seleccionar alguna acción para cumplir con su objetivo.



Figura 3. Objetos cotidianos en los burós.

Para un robot esta tarea no es tan sencilla. El robot deberá guiar sus acciones apoyado en su sistema de percepción; el cual, en la actualidad puede realizarse mediante el uso de cámaras de color y profundidad, a las cuales generalmente se les refiere como cámaras o sensores RGB-D, por sus siglas en inglés (Red, Green, Blue y Depth). Estos dispositivos de sensado relativamente recientes, actualmente son los dispositivos de adquisición de datos más utilizados por la comunidad de robótica; pues además de las imágenes de color que provienen de ellos, se obtienen simultáneamente imágenes de profundidad; que con los cómputos adecuados se pueden convertir en una nube de puntos tridimensionales, puntos a los cuales adicionalmente se les puede asignar el color, como se muestra en la Figura 4.



Figura 4. Una vista de la recámara reconstruida en 3D mediante el uso de los sensores RGB-D del robot.

Al procesar y analizar estas nubes de puntos, nuestros robots son capaces en la actualidad de reconocer una gran cantidad de objetos, pues adicionalmente a la información de color provista, la posibilidad de obtener las dimensiones físicas de los objetos permite comparaciones mucho más precisas, problema que en ocasiones debido a la perspectiva no se podían resolver sólo con imágenes (2D) de color.

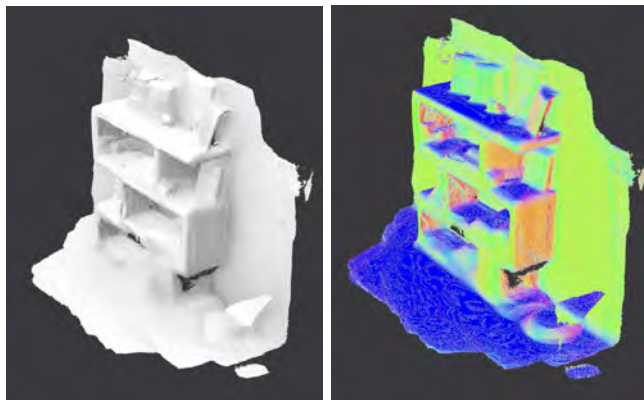


Figura 5. Datos de profundidad (3D) de un librero obtenidos con una imagen de profundidad proveniente de los sensores RGB-D de nuestro robot. La imagen de la izquierda muestra los datos 3D y en la imagen de la derecha el color representa el vector normal a la superficie.

Con los datos disponibles en estas nubes de puntos se pueden hacer muchos estudios, sin embargo, aún hay mucho camino por recorrer para que nuestros robots utilicen esta información que, combinada con color y aprendizaje, harán de nuestros robots dispositivos más inteligentes.

En la Figura 5 se muestran las nubes de puntos correspondientes a un librero, en la imagen de izquierda se observa la nube de puntos (crudos) obtenidos y en la imagen de la derecha se observa el resultado de un procesamiento para detectar los vectores normales a las superficies [3]. Estos vectores son representados coloreando los puntos 3D de la siguiente manera: la componente azul representa la magnitud de los vectores que apuntan hacia arriba (componente “Z”) y en rojo y verde las componentes de los vectores perpendiculares (“X” y “Y”). Las diferentes tonalidades, por lo tanto, muestran la variabilidad de estos vectores normales.

Una consideración importante para poder procesar las nubes de puntos y obtener las imágenes mostradas, es el hecho de que se debe tener una estimación suficientemente buena de la posición de nuestro sensor RGB-D en el robot. Esto debido a que, nuestros robots generalmente usan este tipo de sensores en sus cabezas (con el propósito de que sea una percepción similar a los humanos), y que al igual que nosotros, ellos mueven la cabeza a diferentes ángulos. Los datos adquiridos estarán entonces en el marco referencial de dicho sensor, generalmente en un marco referencial a una distancia f (la distancia focal) sobre el eje óptico de nuestra cámara. Por lo tanto, es necesario tener un sistema de marcos de referencia acoplados para poder calcular en todo momento las transformaciones entre estos. Para entender más claramente los sistemas de referencia y en particular los marcos referenciales se puede consultar [3].

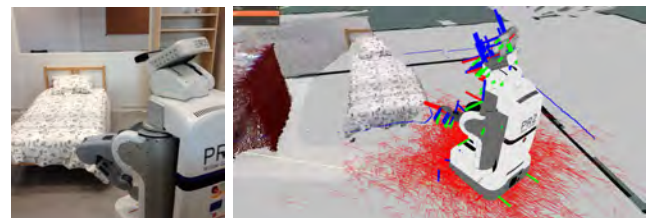


Figura 6. Marcos referenciales en un robot móvil autónomo PR2. Cada uno de los sensores tiene un marco referencial, las líneas de color representan los eje x , y y z en color rojo, verde y azul, respectivamente.

Este tipo de transformaciones las proveen generalmente los sistemas operativos de robots, tal como el uso por nuestro laboratorio llamado ROS (Robot Operating System) [4]. En la Figura 6 podemos observar los marcos referenciales de cada uno de las uniones y sensores en un robot PR2, usado en algunos de nuestros experimentos. Los marcos referenciales son representados por tres líneas de color: rojo, verde y azul, para los ejes x , y y z respectivamente. Existe un marco referencial para cada sensor y para cada parte móvil o fija del robot, para poder establecer las transformaciones geométricas entre todo el sistema.

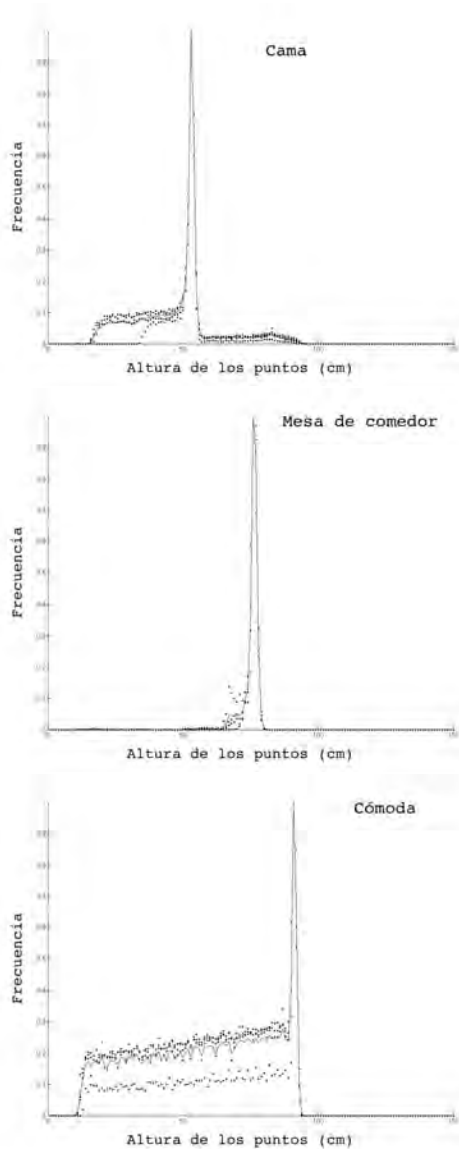


Figura 7. Histogramas de alturas de las nubes de puntos: de una cama, una mesa de comedor y una cómoda.

Aportaciones del IIIA-UV

En el Instituto de Investigaciones en Inteligencia Artificial de la Universidad Veracruzana (IIIA-UV) hemos desarrollado experimentación en robots de servicio durante algunos años. Dentro de las varias de las propuestas surgidas de nuestro laboratorio, generalmente hechas por nuestros estudiantes de posgrados; la más pertinente para el tema aquí tratado, es la que ha sido la presentada en [5]. En el trabajo mencionado se propone resolver el problema de detección de planos o cuasi-planos horizontales mediante el uso de histogramas de los puntos 3D en proyecciones en una y dos dimensiones. Un histograma es una representación gráfica en forma de barras, en donde cada barra es proporcional a la frecuencia de los valores representados [6].

Estos planos son características esenciales en los ambientes humanos y particularmente en el hogar, pues estas superficies las usamos para colocar objetos, como por ejemplo en las superficies planas de mesas, libreros, repisas, etc.; pero también pueden ser consideradas superficies aproximadamente planas (cuasi-planas) las de las sillas, sofás o camas, que sirven para sentarse o acostarse, las cuales también son muy regulares en estos ambientes.

En la Figura 7 se muestran tres histogramas de las alturas de los puntos en una nube con respecto al marco referencial del robot en su base. Como puede observarse, existen particularidades para cada uno de los histogramas de cada uno de los muebles de los cuales fueron obtenidos, estos fueron: una cama, una mesa de comedor y una cómoda. Independientemente de la distribución de puntos, la cual en sí misma, ya es una característica de cada mueble, nos enfocaremos en los picos más pronunciados en cada histograma.



Figura 8. Planos horizontales en un hogar, reconstruidos por un robot móvil autónomo. En las imágenes superiores se observa una mesa de comedor con sus sillas y en las inferiores una recámara.

Estos picos corresponden particularmente a superficies planas o cuasi-planas, es decir, segmentando los puntos correspondientes a dichos picos en los histogramas podemos determinar los planos horizontales de cada uno de los muebles. Más aún, caracterizar cada uno de estos picos, nos proporciona información pertinente acerca de las particularidades de cada una de estas superficies, por ejemplo: la distribución de los puntos en el pico correspondiente al histograma de la cama es más ancha que la de la mesa. Esto es debido, a que los puntos en la mesa corresponden a una superficie más regular (un plano) y

los de la cama a una superficie con mayores variaciones (cuasi-plano).

Esta información es de suma importancia para un robot, pues caracterizando cada uno de estos planos, el robot puede saber si, el plano en donde desea colocar un vaso con líquido es suficientemente regular para poder colocarlo y que este no se caiga o mueva y por ende se riegue el líquido en él. En la Figura 8 se muestran los datos 3D (sin y con color asignado) de una mesa y una cama. Podemos observar que, aunque el tamaño de sus superficies es similar, la caracterización de estos planos mediante los picos de los histogramas permite hacer una discriminación entre ellos.

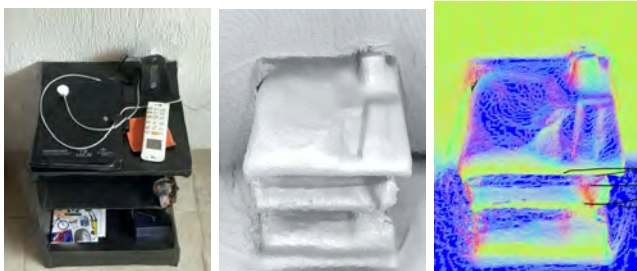


Figura 9. La mesa de noche con objetos, a la izquierda se ve una imagen de color, al centro los puntos 3D obtenidos por el robot y a la derecha los mismos puntos y sus vectores normales.

Finalmente, en la Figura 9 se muestran los datos 3D de una mesa de noche. Como puede observarse la mesa está llena de diversos objetos y por ende el robot no puede determinar, en función de las características de los planos o secciones de él, ¿en dónde colocar un vaso con agua? El robot en este momento puede, en función de información adicional determinar que es una mesa de

noche, sin problema, pero falta tomar la decisión de qué objetos mover y en donde colocarlos, pero eso será un tema para otra ocasión.

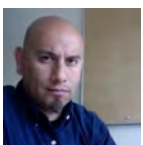
Conclusiones

Los robots “inteligentes” de servicio serán dispositivos muy útiles en los hogares del futuro cercano. Aún faltan varios detalles que se tienen que resolver para que estos robots puedan de manera eficiente y robusta, resolver una gran variedad de problemas, considerando muchas de las variaciones a las cuales los expondremos en los hogares. Pero podemos decir con seguridad que estamos en el camino para lograrlo. Se requerirá de más algoritmos y posibilidades de combinación entre ellos, para darles a estos robots las herramientas suficientes para lograr el éxito en estas tareas. Por ello se requiere incrementar el número de estudiantes e investigadores en el área.*

REFERENCIAS

1. Aracil, R., Balaguer, C., y Armada, M. (2008). Robots de servicio. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 5(2), 6-13.
2. Díez, J.E., y Moulines, C.U. (2008). Fundamentos de filosofía de la ciencia. Tercera edición. Editorial Ariel. ISBN 9788434487802, 527.
3. Serway, R., Jewett, J. (2008). “Física para Ciencias e Ingeniería, Volumen I”. Cengage Learning. ISBN 978-6075266695.
4. ROS (n.d). The Robot Operation System. Recuperado el 25 de abril de 2021, de <https://www.ros.org>.
5. Alonso-Ramirez, O., Marin-Hernandez, A., Rios-Figueroa, H.V., Devy, M., Pomares-Hernandez, S.E., y Rechy-Ramirez, E.J. (2018). A Graph Representation Composed of Geometrical Components for Household Furniture Detection by Autonomous Mobile Robots. *Applied Sciences: Advanced Mobile Robotics*, 8(11), 2234.
6. Brase, C. (2019). Estadística básica. Primera edición. Cengage Learning. ISBN 978-6075268217.

SOBRE LOS AUTORES



Antonio Marín Hernández es profesor-investigador del Instituto de Investigaciones en Inteligencia Artificial (IIIA) de la Universidad Veracruzana, en la ciudad de Xalapa, Veracruz. Obtuvo el grado de doctor en Robótica e Inteligencia Artificial en el Laboratoire d'Analyse et Architecture de Systèmes (LAAS-CNRS) en Toulouse, Francia en 2004. Sus intereses de investigación incluyen robótica móvil y de servicio, interfaces humano-robot y percepción activa.



Ericka J. Rechy Ramírez es profesora-investigadora del Instituto de Investigaciones en Inteligencia Artificial, Universidad Veracruzana. Obtuvo el grado de doctora en Ciencia de la Computación en la Universidad de Essex, Reino Unido en 2015. Sus intereses de investigación incluyen juegos serios, fusión de sensores, tecnología de asistencia e interacción humano-computadora.



Homero V. Ríos Figueroa obtuvo el grado de doctor en Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial en la Universidad de Sussex, Inglaterra, en 1994. Actualmente es profesor en la Universidad Veracruzana. El Dr. Ríos es miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I. Sus intereses incluyen el reconocimiento de patrones, visión por computadora y el aprendizaje automático.

IA & Educación

Julieta Noguez, Lucía Barrón y Yasmín Hernández
iaeducacion@komputersapiens.org

Los robots y la Educación

En la rápida evolución tecnológica que vivimos, los estudiantes enfrentarán nuevos desafíos y requerirán nuevas competencias y capacidad de resolver retos complejos para enfrentar, en un futuro, un mundo profesional centrado principalmente en las áreas tecnológicas. Las generaciones actuales han nacido y crecido como nativos digitales y, por lo tanto, se debe aprovechar esta fortaleza para prepararlos en un mundo donde los robots y los programas automatizados serán imprescindibles para la sociedad.

En 2017, en un artículo del *MIT Technology Review*, se expresó que el trabajo futuro requerirá importantes habilidades futuras, debido a que conforme los robots se hagan cargo de las tareas manuales y la Inteligencia Artificial pueda manejar trabajos que antes requerían un cerebro, lo que queda por hacer por los humanos, naturalmente, será diferente de lo que se hace hoy [1].

En este sentido, según el Foro Económico Mundial de 2020, en tan solo cinco años, más de la tercera parte de las destrezas, conocimientos y habilidades que se requerirán en el mundo laboral habrán cambiado por las capacidades de resolución de problemas complejos, la coordinación y el trabajo en equipo, el pensamiento crítico y la flexibilidad cognitiva [2].

Por esta razón nuestros niños y jóvenes requieren una formación diferenciada, donde la robótica educativa soportada por la inteligencia artificial es una solución que permite emplear procesos creativos y desarrollar las nuevas competencias que se requieren.

Se entiende por robótica educativa, al medio de entornos de aprendizaje o enseñanza interdisciplinaria basada en la iniciativa y la actividad de los estudiantes en el estudio de las ciencias y la tecnología. No sólo se trata de crear robots y programarlos, sino que incentiva la cohesión de grupo, la capacidad de reflexión, la resolución de problemas y el trabajo en equipo a través de recursos tecnológicos [3] por lo que a través de estos se promueve la autonomía, el aprendizaje dialógico y el aprendizaje cooperativo, concepciones útiles para convivir en sociedad.

Por otra parte, la pandemia del coronavirus SARS-COV2 ha acelerado el proceso de digitalización de muchas empresas y el teletrabajo ya no sólo es una alternativa para disminuir los contactos sociales, sino que ha llegado para quedarse. De igual manera, la interacción entre profesores y alumnos se ha planteado de manera

remota para no suspender la formación escolar y aprovechar el potencial de los robots para mejorar la interacción. Actualmente, existen diversas herramientas que ayudan a que los niños puedan desarrollar un pensamiento crítico en el momento de resolver problemas y contribuyen a despertar su curiosidad por la educación STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas, por sus siglas en inglés). Algunas como LEGO WeDo 2.0 o Lego Mindstorms, líneas de juguetes de robótica para niños fabricado por la empresa LEGO, poseen elementos básicos de teorías robóticas, como la unión de piezas y la programación de acciones en forma interactiva. También se tiene una versión educativa se llama Lego Mindstorms for Schools, y viene con un software de programación basado en la GUI (Graphical User Interface) de Robolab [4].

Otros ambientes como el ARDUINO, más reciente, se basa en un hardware libre con licencia de código abierto. Ofrece sistemas de fácil uso y baratos y es un proyecto colaborativo. Pretende fomentar el aprendizaje en electrónica y robótica. Permite el diseño y la fabricación de placas que se pueden programar y que se pueden utilizar en muchos sistemas electrónicos [5].

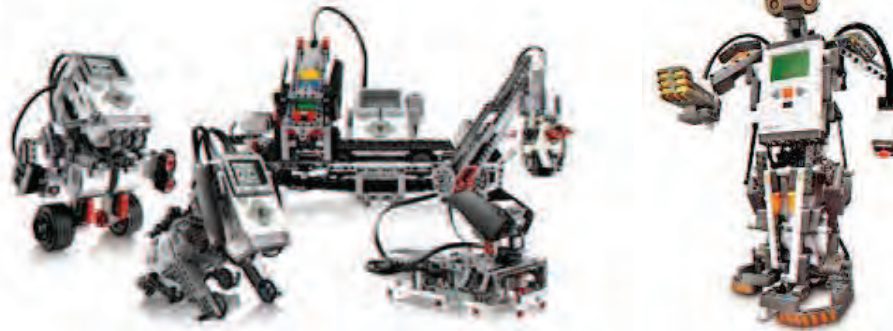
La robótica educativa ofrece grandes ventajas al alumnado en cualquiera de los niveles educativos en la que se trabaje. Algunos de los objetivos más importantes que se persiguen son: a) Aumentar la participación activa de los alumnos en su propio proceso de aprendizaje, b) Desarrollar el razonamiento, la lógica intuitiva, la percepción espacial y la psicomotricidad fina, c) Facilitar la comprensión de conceptos abstractos y ganar funcionalidad en el aprendizaje, d) Potenciar sus capacidades en la resolución de problemas, promoviendo el pensamiento computacional y de investigación, e) Trabajar el pensamiento creativo, la imaginación y la motivación del alumnado, f) Potenciar el aprendizaje basado en proyectos y g) Desarrollar entornos reales donde el estudiante pueda experimentar, favoreciendo así el aprendizaje significativo de conceptos teóricos, entre otros [6] [7].

La robótica educativa también se emplea como elemento social (a través de técnicas de gamificación) para facilitar la enseñanza en todas las áreas a través del aprendizaje divertido, más allá del aspecto tecnológico. Los esfuerzos recientes buscan que la robótica educativa se integre de manera transversal en todas las materias educativas para reforzar el interés, para educar motivando, jugando, en función de las necesidades de cada etapa educativa.

Finalmente, se espera que los empleos de las nuevas generaciones se creen en sectores como los cuidados de salud, las industrias tecnológicas de la Cuarta Revolución Industrial, la inteligencia artificial y en los campos de creación de contenidos, donde las tareas en las que los seres humanos con una formación más plena, mantengan su ventaja respecto a los robots, realizando con éxito actividades como la gestión y el asesoramiento, la toma de decisiones, el razonamiento, la comunicación y la interacción.*

REFERENCIAS

1. What Skills Will You Need to Be Employable in 2030?, MIT Technology Review, 2017. Disponible en <https://www.technologyreview.com/the-download/608981/what-skills-will-you-need-to-be-employable-in-2030/>. Consultado el 7 de abril de 2021.
2. Redacción Nius. El Foro Económico Mundial asegura que en cinco años la mitad de los trabajadores serán robots. 24 de octubre de 2020. [https://www.niusdiario.es/economia/macroeconomia/foro-economico-](https://www.niusdiario.es/economia/macroeconomia/foro-economico-mundial-asegura-cinco-anos-mitad-trabajadores-robots-covid-acelera-proceso_18_3032145120.html)
3. Quiroga, L.P. (2018). La robótica: otra forma de aprender. *Revista Educación & Pensamiento*. ISSN 1692-2697, 25, 151-164. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6592450>. Consultado el 8 de marzo de 2021.
4. Watters, A. (2015). Lego Mindstorms: una historia de robots educativos. <http://hackeducation.com/2015/04/10/mindstorms>. Consultado el 12 de abril de 2021.
5. Qué es la robótica educativa en 2020. Deus Artificial. 19 de febrero de 2020. <https://deusartificial.com/que-es-la-robotica-educativa-2020/>. Consultado el 14 de abril de 2021.
6. Moreno, I., Muñoz, L., y Serracín, J. (2012). La robótica educativa, una herramienta para enseñanza-aprendizaje de las ciencias y tecnologías. <https://www.redalyc.org/pdf/2010/201024390005.pdf>. Consultado el 18 de abril de 2021.
7. López, E., Baltazar, G., García, R., Ponce, P., Mazon, N., y Membrillo, J. (2019). RoboTICS: Implementation of a Robotic Assistive Platform in a Mathematics High School Class. En *2019 IEEE 28th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, Vancouver, BC, Canada, 2019, 1589-1594, doi: 10.1109/ISIE.2019.8781520.



Robots Mindstorm. Imágenes tomadas de: <https://www.educaciontrespuntocero.com/noticias/la-robotica-educativa-como-metodologia-de-aprendizaje/>



Lego Boost. Imagen tomada de: <https://www.ideal.es/tecnologia/gadgets/tecnologia-apodera-juquetes-20171224104301-ntrc.html>

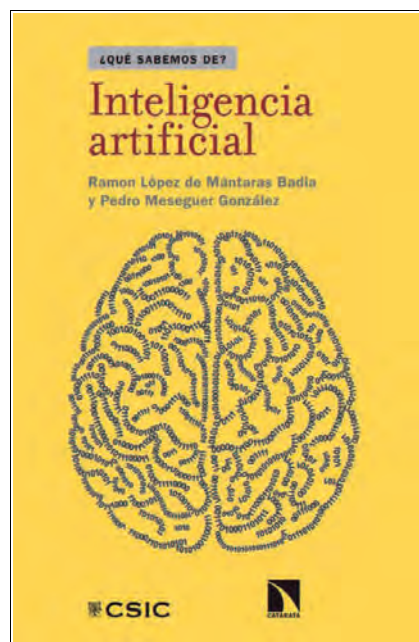
Deskubriendo Konocimiento

Alejandro Guerra Hernández y Leonardo Garrido
deskubriendokonocimiento@komputersapiens.org

Revisión de “¿Qué sabemos de? Inteligencia Artificial” *

Dr. Nicandro Cruz Ramírez

Universidad Veracruzana
Instituto de Investigaciones en Inteligencia Artificial



Portada de la revista.*

Hoy en día, la Inteligencia Artificial (IA) está en boca (y en los dispositivos) de todos: basta con dar una breve ojeada a las aplicaciones de nuestros teléfonos inteligentes para darnos cuenta de ello. Sin embargo, raras veces nos detenemos a reflexionar, incluyendo a los investigadores activos en esta área, sobre su objetivo original y último: cons-

truir una máquina que tenga una inteligencia similar a la humana; es decir, una inteligencia de tipo general. Desde el inicio del libro, y hasta el final, los autores nos recuerdan dicho objetivo. Debo decir que disfruté leer esta obra, pues ellos logran atrapar la atención del lector desde el capítulo introductorio con un lenguaje e ideas claros. En mi opinión, para apreciar tanto las limitaciones como los alcances de la IA, es necesario un recorrido histórico. Ramon y Pedro logran contextualizarla sin mayores problemas: un verdadero reto en la divulgación científica. Los autores nos conducen, y hacen emocionarnos, deprimirnos y esperanzarnos, por todas las etapas que ha recorrido la IA: desde sus inicios, pasando por sus primeros avances y reveses, hasta los desarrollos actuales que vuelven a emocionarnos y (casi) convencernos de que ese objetivo último puede ser posible.

Por otro lado, la excelente y clara presentación de los conceptos y áreas más importantes de la IA nos invita (y en cierto sentido nos reta) a leer el libro desde otra perspectiva: la de leer entre líneas. De dicha

lectura, me atrevo a inferir que los autores tienen en mente recuperar a la lógica como elemento principal en la construcción de entes artificiales con inteligencia general. Puedo aventurarme también a pensar que, sin minimizar los avances logrados con el aprendizaje profundo, no ven en ello un camino promisorio para lograr este tipo de inteligencia. Por el contrario, pareciera que lo ven más como una solución a problemas dentro de algún dominio específico; i.e., una inteligencia especializada. El aprendizaje supervisado, es otra área a la que ven más bien como una que puede desviarnos de lograr el mencionado objetivo último (sin menospreciarla tampoco). Parece que ven un mayor potencial en la consecución de ese objetivo en áreas como el aprendizaje no supervisado y en el razonamiento causal. Para lograrlo, su sugerencia (como yo la percibo) es retomar la investigación sobre la representación del conocimiento que nos permita incluir en nuestros entes artificiales el sentido común. En fin, estoy seguro que disfrutarán mucho la lectura de la presente obra.*

*López de Mántaras Badia, Ramon y Meseguer González, Pedro. ¿Qué sabemos de? Inteligencia Artificial. CSIC/Catarata, España, 2017.



Durante la fase tres de la epidemia de COVID-19, el número de contagios crece de forma rápida, es por eso que debes quedarte en casa para reducir el número de casos que se pueden presentar.

El coronavirus es muy contagioso y, si hay más personas en las calles, seguramente habrá muchos enfermos que saturarían los hospitales.

¡No habría forma de ayudar a todos!

En cambio, si respetamos la sana distancia, habrá menos casos y más capacidad para que todos reciban atención.

Quédate en casa



Y no olvides:



Lavarte continuamente las manos con agua y jabón, al menos durante 20 segundos



Estornudar o toser en el ángulo interno del codo



Mantener tu casa ventilada y limpia

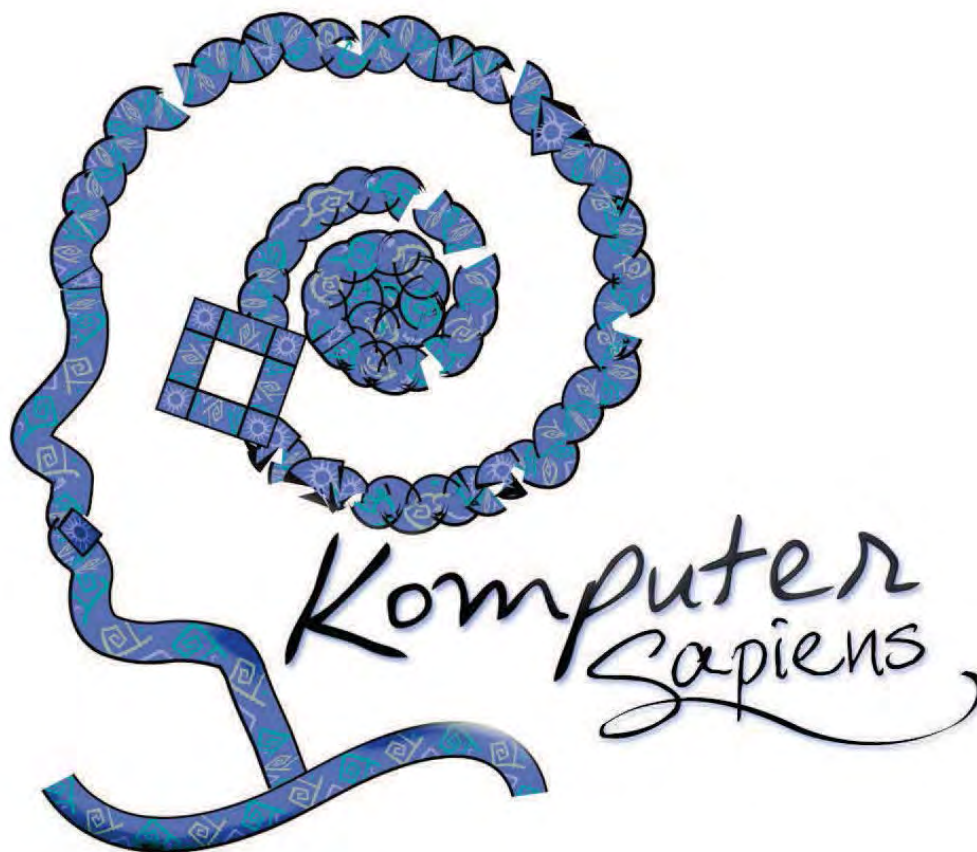


Desinfectar los utensilios y superficies de uso común

Quedándote en casa y cuidándonos unos a otros podremos salir adelante.

¡SI AISLAMOS AL VIRUS, LO VENCEREMOS!





¡Publique en Komputer Sapiens!



Komputer Sapiens solicita artículos de divulgación en todos los temas de Inteligencia Artificial, dirigidos a un amplio público conformado por estudiantes, académicos, empresarios, tomadores de decisiones y consultores. Komputer Sapiens es patrocinada por la SMIA, la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial



www.smia.org.mx

Instrucciones para autores e información general: <http://www.komputersapiens.org>
Síguenos en las redes sociales: www.facebook.com/Komputer.Sapiens, twitter.com/KomputerSapiens

