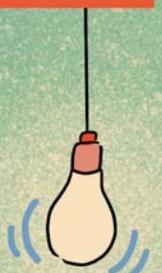


KOMPUTER SAPIENS

Revista de Divulgación de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial

Año 14

Volumen 1
Enero-Abril 2022



**INTELIGENCIA
ARTIFICIAL EN
LA
INTERACCIÓN
HUMANO
COMPUTADORA**

¡HOLA!
¿En qué puedo
ayudarte?

**AGENTES CONVERSACIONALES PERSONIFICADOS
LA I.A. EN LA VIDA DIARIA
IN A.I. WE TRUST?**

**COCHES AUTÓNOMOS
MOUSES INALÁMBRICOS PARA PACIENTES TERAPLÉJICOS
INTERFACES TANGIBLES E IA**

**VIDEOJUEGOS CONSCIENTES PARA NIÑOS
ROBOTS DE SERVICIO EN
ASISTENCIA AL ADULTO
MAYOR**





©Komputer Sapiens, Año XIV Volumen I, enero-abril 2022, 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 31 de diciembre 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.

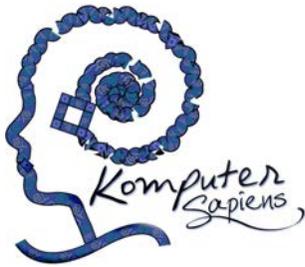
Los artículos y columnas firmados son responsabilidad exclusiva de los autores y no reflejan necesariamente los puntos de vista de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial. La mención de empresas o productos específicos en las páginas de Komputer Sapiens no implica su respaldo por la Sociedad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

Presidente	Directorio SMIA	Directores Fundadores
Vicepresidente	Ildar Batyrshin	Carlos Alberto Reyes García
Secretario	Oscar Herrera Alcántara	Ángel Kuri Morales
Tesorera	Francisco Hiram Calvo Castro	
Vocales:	María de Lourdes Martínez Villaseñor	Comité Editorial
	Obdulia Pichardo Lagunas	Ildar Batyrshin
	Sabino Miranda Jiménez	Oscar Herrera Alcántara
	Roberto A. Vázquez Espinoza de los Monteros	Jesús Favela Vara
	Hiram Erendin Ponce Espinosa	Sofía Natalia Galicia Haro
	Noé Alejandro Castro Sánchez	Miguel González Mendoza
	Iris Iddaly Méndez Gurrola	Raúl Monroy Borja
	Omar Montaña Rivas	Eduardo F. Morales Manzanaras
	Néstor Velasco Bermeo	Leonardo Garrido Luna
	Gustavo Arroyo Figueroa	Carlos Alberto Reyes García
	Sofía Natalia Galicia Haro	Antonio Sánchez Aguilar
	Juan Crisoforo Martínez Miranda	Luis Enrique Sucar Succar
	Iván Olvera Rodríguez	Ángel Kuri Morales
	Leobardo Morales Tiburcio	José A. Martínez Flores
	Gilberto Ochoa Ruiz	Juan Manuel Ahuactzin Larios
	David Eduardo Pinto Avendaño	Manuel Montes y Gómez
	Antonio Marín Hernández	Ofelia Cervantes Villagómez
	César Jesús Núñez Prado	Alexander Gelbukh
		Grigori Sidorov
	Komputer Sapiens	Laura Cruz Reyes
Director general	Ildar Batyrshin	Ramon Brena Pimero
Editora en jefe	Karina Mariela Figueroa Mora	Juan Humberto Sossa Azuela
Editor científico	Héctor Gabriel Acosta Mesa	
Editores asociados	Marco Antonio Aguirre Lam	Árbitros
	Laura Cruz Reyes	Adriana Íñiguez Carrillo
Editores invitados	Pedro César Santana Mancilla	Saul Domínguez-Isidro
	Laura Sanely Gaytán Lugo	Víctor Castillo
	Silvia Berenice Fajardo Flores	Ángel Sánchez García
	Osvaal Antonio Montesinos López	María del Rosario Peralta Calvo
Coordinadora de producción	Viridiana Mena Gómez	Antonio Marín Hernández
Estado del IArte	Reyna Carolina Medina Ramírez	César Cárdenas
	Jorge Rafael Gutiérrez Pulido	Luis Castro
Sakbe	Claudia G. Gómez Santillán	Carmen Mezura-Godoy
	Laura Cruz Reyes	Marisol Wong-Villacres
	Laura Gómez Cruz	Saiph Savage
IA & Educación	María Lucía Barrón Estrada	Jessica Beltrán
	J. Julieta Noguez Monroy	Efrén Juárez Castillo
	María Yasmín Hernández Pérez	Daniel Fajardo-Delgado
Asistencia técnica	Alan G. Aguirre Lam	Erica Janet Rechy Ramírez
Corrección de estilo	Gilberto Rivera Zárate	Jessica Rivera Villicana
	Marcela Quiroz Castellanos	Mónica Perusquia-Hernández
	Ruth Esmeralda Barreda Guajardo	Homero Vladimir Ríos Figueroa
	Sonia Lilia Mestizo Gutiérrez	Jorge Ríos Martínez
	Guillermo de Jesús Hoyos Rivera	Sandra Muñoz
	Susana Aurora Velasco Montiel	
	Nicandro Cruz Ramírez	
	Claudia Leticia Díaz González	
	Leonardo Romero Muñoz	
	Nelson Rangel Valdez	
	José Antonio Camarena Ibarrola	
Portada	María Fernanda Hernández Arroyo	



Contenido

La inteligencia artificial en la vida diaria

Pág. 6 ⇒ Angel Guadalupe Chavarín Fajardo, Omar Avalos Alvarez, Jorge de Jesús Gálvez Rodríguez Y Erik Cuevas

Interfaces Tangibles de Usuario e Inteligencia Artificial: Historias Enlazadas

Pág. 11 ⇒ Edgard Benítez-Guerrero y Carmen Mezura-Godoy

Videojuegos para salud conscientes de la personalidad y las emociones de los niños

Pág. 16 ⇒ Ismael Espinosa-Curiel, Humberto Pérez-Espinosa, Juan Martínez-Miranda y José Alberto Fernández-Zepeda

¿Cómo los coches autónomos “hablarán” con las personas?

Pág. 23 ⇒ Juan Guerreo-Ibañez, Juan Contreras-Castillo y Pedro C. Santana-Mancilla.

Interacción espacial humano-robot, robots de servicio en asistencia al adulto mayor

Pág. 28 ⇒ Adrian Loya Sabido, Jorge Ríos Martínez, Jorge Gomez Montalvo.

Agentes Conversacionales Personificados: Sistemas Inteligentes para la Interacción Humano - Computadora

Pág. 33 ⇒ Juan Martínez-Miranda.

Mouse Inalámbrico Controlado por Movimientos de Cabeza para Pacientes Tetraplégicos

Pág. 39 ⇒ Carlos Sánchez-López.

IN AI WE TRUST? — Un modelo sistemático de la confianza para el análisis de las interacciones Humano - Computadora

Pág. 45 ⇒ Diego Vázquez Díaz.

Columnas

Sapiens Piensa.
Editorial [pág. 2](#)

Estado del IArte [pág. 4](#)

Sakbe [pág. 5](#)

IA & Educación [pág. 50](#)

Sapiens Piensa

Pedro C. Santana, Laura S. Gaytán, Silvia B. Fajardo y Osva A. Montesinos

Al desarrollar aplicaciones de Inteligencia Artificial (IA), es importante incorporar el área de la Interacción Humano-Computadora (IHC) para que los sistemas de IA se diseñen con un enfoque centrado en las personas y resulten útiles satisfaciendo las necesidades de los usuarios y al mismo tiempo sean aceptados por ellos. Este número especial de la revista Komputer Sapiens tiene como objetivo proporcionar un espacio para discutir y promover investigaciones relacionadas a la aplicación de la IA en la IHC. De un total de 17 artículos recibidos se aceptaron 9; los trabajos aceptados, permiten observar una emocionante y gran diversidad de aplicaciones que tienen estas dos áreas en conjunto, además de los retos y desafíos a los que se enfrentan los profesionales del área.

En el artículo *La inteligencia artificial en la vida diaria* se narra cómo la tecnología se encuentra inmersa en los distintos ámbitos de la vida diaria, particularmente en cuestiones laborales. Se hace un énfasis especial en cómo a través de la IA desde el área de las ciencias computacionales, es posible crear soluciones inteligentes basadas en el análisis de datos para la toma de decisiones en diferentes escenarios o ámbitos de la vida diaria.

En el artículo *In AI We Trust?: Un modelo sistemático de la confianza para el análisis de las interacciones humano-computadora* se expone cómo la confianza es un elemento clave en la IHC, pero al mismo tiempo resulta un tema de debate. Los autores comparten una propuesta de un modelo sistemático de la fiabilidad computacional, el cual defiende la idea de que la confianza en la IA debe ser entendida como una "confianza difusa" que se distribuye en las instancias y agentes sociales que posibilitan su desarrollo, distribución y uso con el fin de establecer nuevos modos de pensar y relacionándolos tecnológicamente.

En el artículo *Agentes Conversacionales Personificados: Sistemas Inteligentes para la Interacción Humano-Computadora* se presentan las características principales de los agentes conversacionales personificados, así como una de las técnicas utilizadas para generar de forma autónoma su comportamiento durante la interacción con el usuario. Además, el autor comparte algunas consideraciones de diseño y aspectos éticos, los

cuales maximizan los beneficios que se obtienen a través de dichos agentes.

En el artículo de *Videojuegos para salud conscientes de la personalidad y las emociones de los niños*, los autores describen su investigación para desarrollar una plataforma de videojuegos para salud conscientes de las emociones y de la personalidad de los niños.

En el artículo *Interfaces Tangibles de Usuario e Inteligencia Artificial: Historias Enlazadas* los autores conceptualizan una interfaz tangible como un agente inteligente, para tratar aspectos ligados a su percepción, razonamiento, actuación y aprendizaje. Argumentan que las interfaces tangibles del futuro usarán extensivamente a la IA para ofrecer nuevos y mejores servicios.

En el artículo *¿Cómo los coches autónomos "hablarán" con las personas?* los autores comparten propuestas de interfaces diseñadas para la interacción entre personas y vehículos autónomos. Comparten además, la idea de cómo los sensores están jugando un papel clave en la comunicación entre estos.

En el artículo *Interacción espacial humano-robot, robots de servicio en asistencia al adulto mayor* se habla acerca de la navegación autónoma de robots consciente del contexto y la aplicación de este concepto en la asistencia del adulto mayor. Así también, se aborda un marco de trabajo en el cual se desarrollará este tipo de navegación, se profundiza cada una de las herramientas que se utilizarán para desarrollar el ciclo de navegación y cómo ésta se convierte en consciente del contexto.

En el artículo *Mouse Inalámbrico Controlado por Movimientos de Cabeza para Pacientes Tetraplégicos* se describe una novedosa interfaz inalámbrica humano-computadora de bajo costo el cual utiliza fotorreceptores de luz infrarroja y sistemas microelectromecánicos. El sistema desarrollado permite que personas tetraplégicas puedan no solamente desplazar el puntero del mouse sobre la pantalla de una computadora a través del movimiento de la cabeza, pero también puedan realizar un clic sencillo, doble clic, arrastrar comandos y modificar archivos sobre la pantalla mediante el uso de guiños voluntarios.*



Pedro C. Santana-Mancilla es profesor e investigador en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Sus intereses de investigación se centran en la Interacción Humano-Computadora, Internet de las Cosas y Sistemas Inteligentes; y tecnologías de apoyo a adultos mayores y al aprendizaje. Es miembro de la Academia Mexicana de Computación, se desempeña como presidente de la Asociación Mexicana de Interacción Humano-Computadora y líder del cuerpo académico de Ambientes inteligentes, interactivos y accesibles.



Laura S. Gaytán Lugo es profesora e investigadora de la Universidad de Colima, adscrita a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Se enfoca en el área de Interacción Humano-Computadora y sus intereses incluyen juegos serios, accesibilidad y computación social. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Se desempeña como Co-coordinadora del Comité Latinoamericano de la ACM SIGCHI (SLAC). Participa en la mesa directiva de la Asociación Mexicana de Interacción Humano-Computadora (AmexIHC). También es parte del Comité Ejecutivo de la ACM-W Norteamérica.



Silvia Berenice Fajardo Flores es Doctora en Ciencias Computacionales por la Université Paris 8 Vincennes-Saint-Denis, Francia. Desde 2004 se desempeña como Profesora e Investigadora de Tiempo Completo en la Facultad de Telemática en la Universidad de Colima. Es integrante del Comité de Accesibilidad del Grupo de Interés Especial de Interacción Humano-Computadora (SIGCHI), y del Laboratorio de Interacción Humano-Computadora (IHCLab) de la Universidad de Colima. Trabaja en las áreas de interacción humano-computadora, accesibilidad digital, usabilidad y tecnología educativa para la inclusión.



Osva Antonio Montesinos-López es doctor en estadística y biometría por la Universidad de Nebraska, Lincoln Nebraska, Estados Unidos. Ha publicado 97 artículos científicos en revistas nacionales e internacionales. Pertenece al Nivel I del Sistema Nacional de Investigadores. Sus áreas de interés son la estadística y machine learning aplicados a las ciencias biológicas. Ha impartido cursos de predicción genómica, muestreo, estadística y machine learning en México, Estados Unidos de América, Brasil, Perú, Nigeria, Francia e India.



Estado del IArte

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

Inteligencia artificial en la interacción humano computadora

Todos los seres vivos interactúan entre sí y con su entorno. Los seres humanos, sociales por naturaleza, hemos desarrollado infinidad de formas de interacción, por ejemplo, el lenguaje hablado, los gestos, entre otras. Éstas han sufrido cambios con la incorporación de tecnología en la última década. Tradicionalmente, la interacción humano computadora (HCI por sus siglas en inglés), o persona computadora, ha sido considerada una disciplina de las ciencias computacionales dedicada a diseñar, evaluar e implementar software interactivo para el uso humano. Recientemente la HCI ha incorporado componentes de inteligencia artificial para realizar mejor sus actividades de *instruir, conversar, manipular, explorar, y responder*. Para realizar las actividades mencionadas, no sólo las interfaces de computadora han jugado un papel primordial, sino también los diversos accesorios que se integran en el entorno de interacción. Desde que se presentó el *sketchpad*¹, en la década de los 60's, una cascada de dispositivos de interacción han sido creados, el ratón, los controles de videojuegos, diferentes tipos de lectores, entre otros mucho más sofisticados, para lograr lo que se conoce como ambientes inmersivos, de realidad aumentada y virtual. En los últimos años hemos visto una gran cantidad de dispositivos de interacción por medio de la voz. En el número anterior de esta columna presentamos una revisión de chatbots educativos. A continuación, describimos brevemente otro tipo de HCI realmente fascinante.

Las interfaces cerebro computadora (BCI por sus siglas en inglés) son dispositivos que brindan una forma de comunicación entre las ondas cerebrales de una persona y dispositivos externos. Las BCI están siendo utilizadas tanto para controlar videojuegos, volar aviones, como para habilitar personas paralizadas. Éstas usan sensores de diversos tipos para muestrear señales provenientes de grupos específicos de neuronas.

Desde hace cuatro años, las universidades de California en San Diego, Baylor, Brown, así como Qualcomm han trabajado en un nuevo tipo de BCI que coordina a

cientos de sensores con el fin de estudiar el cerebro más a profundidad y generar nuevas terapias. Su estudio fue publicado en agosto pasado en la revista *Nature Electronics*. Para saber más²(en inglés).

Blackrock, con más de 20 años de experiencia en el área, creó *Neurotech* una BCI desarrollada en conjunto con el laboratorio de ingeniería de rehabilitación neuronal de la universidad de Pittsburgh. *Neurotech* es usada para controlar, de manera bidireccional, una prótesis de personas con tetraplegia causada por lesiones de espina dorsal. Para saber más³(en inglés).

Una persona que sufrió un infarto hace más de 15 años se ha convertido en la primera persona en producir palabras directamente de su cerebro vía una BCI. Tras muchos años de investigación, los investigadores de la Universidad de California en San Diego y San Francisco publicaron en julio pasado, en la *New England Journal of Medicine*, un estudio donde identifican las señales del cerebro que controlan el habla. Así mismo, estos investigadores presentaron BRAVO1 (BCI Restoration of Arm and Voice), una mejora de su prototipo anterior con el cual aumentaron la velocidad y precisión de la decodificación de las palabras. Para saber más⁴(en inglés). De manera adicional, investigadores de la Universidad de Stanford han estado trabajando en una BCI que incorpora componentes de inteligencia artificial para convertir letras *visualizadas* en texto; su estudio publicado en la revista *Nature* en Mayo pasado describen como este tipo de HCI permitirían crear texto a personas amputadas o con parálisis severo. Para saber más⁵(en inglés).

Todos los sistemas mediados por computadora realzan la interacción entre las partes. Como hemos visto, las BCI han sido desarrolladas principalmente con fines de investigación. Sin embargo, algunas se han convertido también en producto a la venta. Las empresas con más éxito son: BrainGate, NextMind, NeuroPro, NeuroSky, MindMaze, Kernel, Emotiv, BrainCo, y Neuralink las cuales ofrecen sus BCI con precios que van desde los \$1000 dólares. Sus aplicaciones diversas: terapias de salud, reducir el estrés, controlar videojuegos, y también para desarrollo e investigación. En otra ocasión hablaremos más acerca de éstas.*

¹https://youtu.be/6orsmFndx_o

²<https://www.nature.com/articles/s41928-021-00631-8>

³<https://blackrockneurotech.com>

⁴<https://www.nejm.org/doi/10.1056/NEJMoa2027540>

⁵<https://www.nature.com/articles/s41586-021-03506-2>

Sakbe

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



AMexIHC ⇒ En México desde el 17 de diciembre del 2011, en San Luis Potosí, fue fundada la Asociación Mexicana de Interacción Humano-Computadora (AMexIHC) A.C., que es un capítu-

lo de la ACM. Dicha asociación cumple con el objetivo de promover la investigación y el desarrollo tecnológico en Interacción Humano-Computadora (<http://www.amexihc.org/acerca-de-mexihc/>). Ellos organizan un evento cada dos años desde el 2006 hasta la fecha en algún estado de la República Mexicana. En este 2021 el evento se realizará del 1 al 3 de diciembre de manera virtual, más información la pueden encontrar en <http://www.mexihc.org/>.

<http://www.mexihc.org/>



AmexComp ⇒ La Academia Mexicana de Computación en su página <http://amexcomp.mx/> incluye una sección de libros escrito por los investigadores adscritos a la academia. Una de las temáticas que han abordado es la interacción Humano-Computadora y aplicaciones en México. El libro se realizó con el apoyo del CONACyT, Proyecto I1200/28/2019. Los libros publicados en dicha página tienen el objetivo de difundir la ciencia y la tecnología computacional en México, además de fomentar la comunicación entre la comunidad de computación y los órganos del Estado responsables de la ciencia y el desarrollo tecnológico, la educación, y la cultura. Se pueden encontrar en <http://amexcomp.mx/index.php?r=site/page&view=libros>.

<http://amexcomp.mx/files/Castro-Rodriguez-LibroIHC-ISBN.pdf>



Softtek ⇒ En su página <https://softtek.eu/tech-magazine/user-experience/nuevas-tendencias-en-human-computer-interaction-hci/> presentan las nue-

vas tendencias en Interacción Hombre-Computadora para este 2021. Ellos esperan que las interfaces de usuario impacten directamente en la vida cotidiana de las personas, a través de las nuevas tecnologías de búsqueda por voz o seguimiento ocular, con el objetivo de encontrar una mayor usabilidad global y una mejora de la calidad de vida de los usuarios, a través de sus dispositivos personales personalizando sus interfaces en función de la personalidad de cada uno. Entonces trabajan en proponer nuevas maneras de interactuar entre personas y nuevos sistemas tecnológicos, los cuales intentan crear sistemas prácticos y operativos que satisfagan las necesidades de las personas que los emplean.

<https://softtek.eu/tech-magazine/user-experience/nuevas-tendencias-en-human-computer-interaction-hci/>

ARTÍCULO ACEPTADO

La inteligencia artificial en la vida diaria

Angel Guadalupe Chavarín Fajardo, Omar Avalos Alvarez, Jorge de Jesús Gálvez Rodríguez y Erik Cuevas

La tecnología se encuentra presente en múltiples situaciones de la vida diaria y en diferentes áreas del conocimiento humano. Como herramienta de trabajo, la tecnología es utilizada para diversas tareas que agilizan, optimizan y mejoran los procesos industriales, ingenieriles, educativos, entre otros. Una de las áreas del conocimiento humano donde predomina el uso de la tecnología son las ciencias computacionales. En las últimas décadas las ciencias computacionales se han apoderado de los procesos de manufactura, administración y mejora haciéndolos más eficientes. El uso de los servicios de internet y las arquitecturas múltiples en la nube han permitido la conectividad entre varios dispositivos donde el análisis de datos masivos ha tomado una parte fundamental en las tareas cotidianas. La inteligencia artificial es un área dentro de la disciplina de las ciencias computacionales, la cual ha emergido recientemente con el propósito de crear soluciones inteligentes basadas en el análisis de datos para la toma de decisiones en diferentes entornos, inclusive en múltiples aplicaciones en el día a día. En este manuscrito se describen brevemente las principales aplicaciones de la inteligencia artificial y el impacto que estas tienen en la vida cotidiana.

Los algoritmos evolutivos (AE) son estructuras computacionales basadas en la evolución biológica de los individuos o en el comportamiento colectivo de los mismos, de los cuales normalmente solo los mejores individuos (soluciones) pasan a la siguiente generación. Esta selección es conocida como selección elitista; aunque existen diferentes tipos de selecciones, este criterio es de los más utilizados. En estas técnicas se engloban los algoritmos bio-inspirados y fisio-inspirados que permiten resolver problemas de optimización basados en distintos fenómenos físicos y químicos, de igual manera que el comportamiento de ciertas especies animales y vegetales. El objetivo de los AE es determinar la mejor solución a problemas complejos; sin embargo, al incrementar la dificultad de los problemas, los AE tienden a quedar atrapados en soluciones subóptimas, por lo que se ha necesitado la generación de nuevas técnicas con el fin de superar estas dificultades, como se aborda en el artículo titulado “No Free Lunch Theorems for Optimization” [8].

El cómputo evolutivo tuvo sus orígenes gracias al profesor J. H. Holland [1], el cual menciona que la programación y la solución de problemas debería seguir los pasos de la naturaleza. Al darse cuenta de que esta misma idea siempre la manera de adaptarse a las circunstancias de su entorno. Holland desarrolló un algoritmo llama-

do “algoritmo genético”, el cual emula el cruzamiento de genes en el que se involucran dos padres para generar un valor nuevo (hijo) con base en la combinación de sus genes. Si el hijo representa una mejor solución que sus padres pasa a la siguiente generación, de no ser así se descarta. En la Figura 1 se presenta el proceso general de un algoritmo evolutivo. Después a la creación del algoritmo genético, se ideó otro algoritmo basado en el comportamiento animal y no en las características de recombinación genética: el algoritmo de optimización por enjambre de partículas [4]. A pesar de sonar complicado, es uno de los algoritmos más fáciles de implementar. Consiste en el comportamiento de un enjambre de partículas que cooperan entre sí para encontrar su fuente de alimentación (el punto con la respuesta óptima al problema dado). Al momento de encontrar una ruta hacia él, todo el enjambre seguirá al individuo con mejor valor. Existe una gran cantidad de metáforas que se encuentran en estos algoritmos, como el algoritmo de optimización del lobo gris (GWO) [7], el algoritmo de búsqueda del cucúidos (CS) [2], o el algoritmo de las luciérnagas (FA)[5], entre muchos otros. Una de las técnicas de optimización más usadas basadas en enjambre es el de la colonia artificial de abejas (ABC por sus siglas en inglés), propuesta por Karaboga [3], la cual se basa en el comportamiento colectivo de las abejas para encontrar fuentes de alimento (Figura 2).

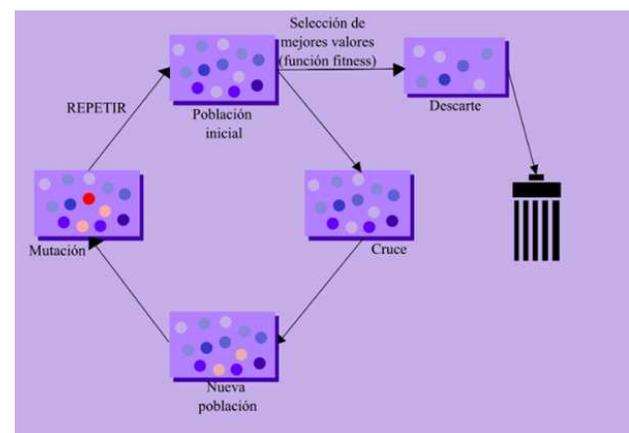


Figura 1. Representación gráfica del proceso iterativo de un algoritmo evolutivo.



Figura 2. Comportamiento colectivo de las abejas.

Aplicaciones de los algoritmos evolutivos presentes los problemas de la vida diaria.

A pesar de ser ampliamente utilizados desde hace años, los algoritmos evolutivos están comenzando a tener una mayor relevancia en las ciencias computacionales, en parte gracias al desarrollo de la tecnología capaz de mostrar buenos resultados en un tiempo razonable. Uno de los mejores ejemplos que existen es en el área de medicina, puesto que muchas imágenes utilizadas (como las resonancias magnéticas, tomografías, histologías o radiografías) pueden ser tratadas para resaltar características de estas y lograr un mejor diagnóstico, lo que se traduce en más vidas salvadas. Una de las aplicaciones que se utilizan para el tratamiento de imágenes médicas es la segmentación, lo cual consiste en una representación de la imagen original eliminando información redundante generada directamente de la intensidad de los pixeles en escala de grises, lo que puede realzar ciertas características en la imagen segmentada para facilitar su análisis. Un claro ejemplo de la segmentación de imágenes médicas con el uso de algoritmos evolutivos se muestra en la Figura 4 [6] en comparación con la imagen original presentada en la Figura 3.



Figura 3. Imagen MRI cerebral.



Figura 4. Imagen MRI cerebral segmentada.

Generalmente, estas técnicas son utilizadas para el estudio de los casos médicos en los que no sea del todo claro que está sucediendo, y se suelen utilizar para muchos problemas existentes, aunque su mejor aplicación es en problemas que tiendan a ser costosos computacionalmente hablando, o en problemas no lineales, que otros métodos no puedan resolver.

Otro de los usos prácticos de los algoritmos evolutivos es la determinación de los elementos internos que conforman las celdas solares para la máxima generación de energía, esto con el objetivo de incrementar el uso de energías renovables debido al uso excesivo de energías contaminantes. Para esto, se utilizan los circuitos equivalentes que modelan a las celdas solares, como se muestra en la Figura 5. Bajo este criterio, los algoritmos evolutivos determinan los valores de las resistencias (R 's) y corrientes (I 's) con el objetivo de estimar los valores con los cuales más energía es generada por el modelo equivalente de la celda. Al igual como se muestra en la Figura 5, existen diferentes esquemas, los cuales cuentan con arreglos de más de un solo diodo para la estimación de sus parámetros, dichos esquemas son representados mediante ecuaciones que se obtienen del análisis de corrientes y voltajes de los circuitos.

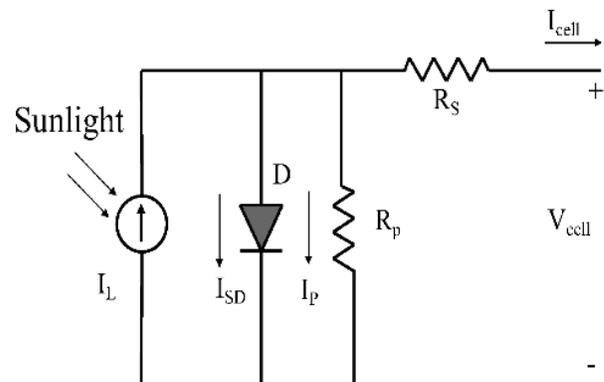


Figura 5. Modelo aproximado de celda solar con un diodo.

El aprendizaje máquina y el aprendizaje profundo

El aprendizaje máquina y el aprendizaje profundo son dos ramas de la inteligencia artificial que pueden resolver problemas de forma sencilla. El objetivo principal de estas técnicas es dotar de “inteligencia” a una máquina para realizar una tarea específica, esto se puede llevar a cabo mediante el uso de un árbol de decisión, regresión logística, métodos de ensamblado, entre otros; de forma que llegue a una conclusión efectiva en menos tiempo. Por otra parte, el aprendizaje profundo utiliza el concepto de la neurona artificial, análoga a la neurona biológica, con el fin de crear redes de una o más capas para simular el aprendizaje de un cerebro biológico. La principal diferencia, aparte de la estrategia de aprendizaje, es que en el aprendizaje máquina es necesario un elemento que realice la extracción de características para poder realizar la clasificación de estas utilizando alguna técnica de las antes mencionadas. En la Figura 6, se muestra el funcionamiento general de una técnica de aprendizaje máquina utilizando un esquema de rama, en el cual se espera que como resultado final, después del entrenamiento, la técnica sea capaz de identificar las clases o tipos de datos que entran al método directamente relacionado con las características de los mismos, así, cuando un nuevo dato ingrese al sistema, este será capaz de saber a cuál grupo pertenece debido al aprendizaje previo. Por otro lado, las técnicas de aprendizaje profundo son capaces de clasificar los datos que entran sin necesidad de realizar una extracción previa de características de los datos, sino que en esta se realiza la separación de clases dentro de su funcionamiento natural. Algo que debemos tomar en cuenta es que el funcionamiento de la etapa de aprendizaje puede llevarse a cabo de diferentes maneras: supervisado (en el que se le muestra al sistema datos con información previamente etiquetados), no supervisado (es aquel donde el sistema es entrenado con datos de los cuales no se tiene conocimiento alguno) y el reforzado (en donde el sistema es recompensado o penalizado dependiendo del resultado obtenido en la etapa de aprendizaje). Dichos procesos pueden llegar a ser complejos, pero el objetivo de este manuscrito es presentar un preámbulo general de algunas técnicas de inteligencia artificial y las aplicaciones en las que estas son utilizadas.

Cabe destacar que el aprendizaje profundo es una sub-rama del aprendizaje máquina, como lo muestra la Figura 7, por lo que ambos pueden resolver problemas similares; su elección se dará con base en los requerimientos del usuario y la capacidad del cómputo a utilizar. El aprendizaje máquina y las redes neuronales, si bien no son tan conocidos por los usuarios, están muy presentes en todos los dispositivos, por ejemplo, en las aplicaciones con detección de rostro como Snapchat y TikTok. Estas aplicaciones poseen un algoritmo de aprendizaje máqui-

na que detecta el rostro de las personas y les aplica un filtro sin importar el tipo de rostro o las diferencias entre uno y otro. También sirve para el desbloqueo de aplicaciones, como Facebook, cuentas de banco y otros. Todo ello con la idea de que todos los rostros son diferentes; y se podría pensar que los gemelos podrían desbloquear estas cuentas, pero eso no es posible debido a que los rostros poseen pequeñas diferencias formadas con el tiempo, haciéndose similares a las huellas digitales, es decir, son únicas para cada individuo.

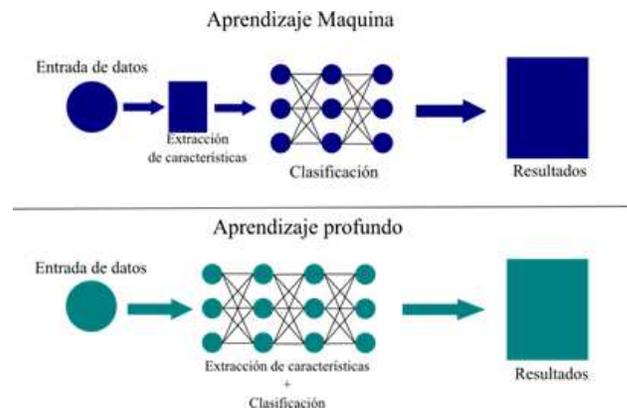


Figura 6. Estrategias de aprendizaje de las ramas del aprendizaje máquina.

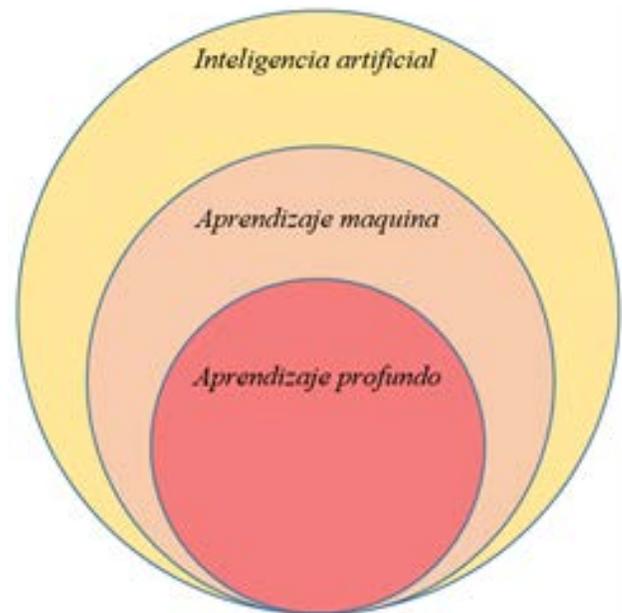


Figura 7. Organización del aprendizaje máquina dentro de la inteligencia artificial.

De igual forma, el reconocimiento de voz es usado en diferentes aparatos como el Chromecast o el asistente Alexa, de Amazon. Estos asistentes detectan la voz de una persona y descifran lo que están diciendo para

poder cumplir los comandos que se les dan. Dependerá del asistente y de lo desarrollado que esté, pero es común que posean una red neuronal profunda (de 2 o más capas) para aprender acerca del usuario que les habla. De manera que después de un tiempo el asistente esté personalizado para el dueño.

Otra aplicación para la inteligencia artificial es el marketing personalizado, que permite mostrar anuncios de artículos que pudieran ser de interés para los usuarios con base en sus gustos y aficiones. Incluso, empresas como Google, Amazon o Mercado libre utilizan la Inteligencia Artificial (IA) para mostrar al usuario algunos artículos que el mismo usuario no sabía que necesitaba, gracias a los patrones de sus búsquedas y compras. Esto es muy común y es la principal razón por la cual las personas comprenden cosas curiosas de internet que pudieran no necesitar, pero al aparecerles como anuncio se sienten muy tentadas a poseer dicho artículo.

En la medicina, a diferencia de los algoritmos de optimización, los algoritmos de aprendizaje máquina pueden trabajar en tiempo real, siendo capaces de detectar problemas de salud que podrían pasar por alto hasta los mejores médicos; por ejemplo, un coágulo de algunos milímetros de diámetro podría no ser notado, y esto ocasionaría en el paciente varios problemas que pueden ser más o menos severos. En donde más brillan estos algoritmos es en la oncología, puesto que los tumores empiezan como pequeñas masas de tejido anormal, sin importar el área en la que se encuentren. Y es que el cáncer en etapas muy tempranas es casi imposible de detectar.

La IA también se encuentra presente en aplicaciones industriales; el ejemplo más claro es el control de calidad de los productos. Cuando un producto necesita ser muy preciso en cuanto a cantidades o calidad, es necesario implementar un algoritmo que encuentre la solución óptima al problema dado. El trabajo de un ser humano siempre es afectado con el tiempo, el estado de ánimo y la condición física del mismo. Los trabajadores que tienen una tarea repetitiva y lenta tienden a tener muchos fallos a largo plazo; esto es solucionado al implementar un sistema de inteligencia artificial que revise todos los procesos, desde manufactura hasta empaquetado, mejorando la productividad y abaratando los costos de los productos.

Una práctica muy usada y que es muy cercana a todos es el uso de estos algoritmos en los antivirus, los cuales son diseñados para detectar cada vez mejor al malware existente, gracias al uso de bases de datos que permiten actuar al antivirus como un verdadero sistema inmunológico para la computadora que lo tenga. Por lo general, los antivirus tienden a ser seguros por que almacenan la información que consideran maliciosa, y

esto permite que compare la muestra sospechosa con la información, y a partir de ello, decide si es un virus o no.

Conclusiones

A pesar de su desconocimiento, la IA ha tomado un espacio muy importante en la vida diaria de las personas en todas sus variantes; esto se debe a que se da por sentado el trabajo de esta tecnología sin necesidad de cuestionarse cómo funciona, pero como sucede con todas las tecnologías, llegan solo a mejorar la vida de los usuarios en mayor o menor medida. El único problema con las técnicas de IA es el hardware en los que están contenidos, por lo que, a mayor capacidad de cómputo, mejor desempeño tendrá. La seguridad de las IA ha mejorado sustancialmente desde su invención, al igual que su complejidad y capacidad de aprendizaje. En unos años se estima que la IA va a llegar a un punto en el cual tenga la capacidad de pensar por sí misma y formular criterios propios; la llamada singularidad tecnológica. No hay que alarmarse por esto, gracias a que las redes neuronales son fuertemente controladas para evitar que “se salgan de control”, en otras palabras, se le limita el aprendizaje debido al miedo de la población en general. Por ahora, solo hay que preguntarse si nuestra asistente virtual está conectada, o si compro algo que no queríamos por internet que alguna IA nos ha sugerido y de igual manera disfrutar las bondades y beneficios que esta nos brinda hoy en día.*

REFERENCIAS

- Hidalgo, I. y Cervigon, C. (2015). Una Revisión de Los Algoritmos Evolutivos y Sus Aplicaciones. *Revista Chilena de Ingeniería*, 24(7), 663-79.
- Joshi, A.S., et al. (2017). Cuckoo Search Optimization- A Review. *Materials Today: Proceedings*, 4(8), 7262-69.
- Karaboga, D. y Bahriye, B. (2007). A Powerful and Efficient Algorithm for Numerical Function Optimization: Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm. *Journal of Global Optimization*, 39(3), 459-71.
- Kennedy, J. y Eberhart, R. (1995). Particle Swarm Optimization. En *Neural Networks, Proceedings., IEEE International Conference On*, 4, 1942-48.
- Kaushik, K., et al. (2019). Firefly Algorithm. *Optimizing Engineering Problems through Heuristic Techniques*, 51-59.
- Loizou, C.P., et al. (2009). Brain MR Image Normalization in Texture Analysis of Multiple Sclerosis. *Final Program and Abstract Book - 9th International Conference on Information Technology and Applications in Biomedicine*.
- Seyedali, M., et al. (2014). Grey Wolf Optimizer. *Advances in Engineering Software*, 69, 46-61.
- Wolpert, D.H., y Macready, W.G. (1997). No Free Lunch Theorems for Optimization. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 1(1), 67-82.

SOBRE LOS AUTORES



Angel Guadalupe Chavarín Fajardo nació en Guadalajara, Jalisco, estudió en el Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías la carrera de Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica, y la Maestría en Ciencias de la Electrónica y la Computación. Ha participado en diferentes proyectos de robótica móvil y social a lo largo de su trayectoria, como los robots conocidos como “Marisol” y “Melisa”; actualmente, se dedica al estudio del Doctorado en Ciencias de la Electrónica y Computación, y su área de estudio es el aprendizaje máquina y los algoritmos bio-inspirados.



Omar Avalos Alvarez obtuvo el grado de Doctor en Ciencias con Orientación en Control Automático y Sistemas Inteligentes en la Universidad de Guadalajara. Cuenta con experiencia en la docencia en ingenierías y ha impartido talleres sobre diversas áreas de la ingeniería. Forma parte del núcleo académico básico de la Maestría en Cómputo Aplicado que se oferta en el Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías (CUCEI). Sus líneas de investigación son el cómputo evolutivo, procesamiento de imágenes, aprendizaje máquina, aplicaciones en energía.



Jorge de Jesús Gálvez Rodríguez se tituló de la Licenciatura en Informática y de la Licenciatura en Ingeniería en Computación en la Universidad de Guadalajara. Obtuvo el título de Maestro y Doctor en Ciencias en Ingeniería Electrónica y Computación en la Universidad de Guadalajara. Actualmente es profesor investigador y coordinador de la Maestría en Cómputo Aplicado en el Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías de la Universidad de Guadalajara. Además, es miembro del Colegio de Profesionistas en Sistemas de Información de Jalisco y del Sistema Nacional de Investigadores con la distinción de nivel I.



Erik Cuevas es doctor en inteligencia artificial por la Universidad Libre de Berlín en Alemania. Desde el 2007, es Profesor-Investigador en la Universidad de Guadalajara. Actualmente, es miembro de Sistema Nacional de Investigadores (Nivel III). Además, es miembro editorial en diferentes revistas especializadas, tales como Expert System with Applications, Applied Soft Computing, Artificial Intelligence Review, Applied Mathematical Modeling, ISA Transactions, International Journal of Machine Learning and Cybernetics, Mathematics and Computers in Simulation y Computers in Biology and Medicine. Sus líneas de investigación son los algoritmos metaheurísticos.



Springer caracterizó a MICAI como la principal conferencia en Inteligencia Artificial. Es una conferencia internacional de alto nivel revisada por pares que cubre todas las áreas de la Inteligencia Artificial, tradicionalmente celebrada en México. La conferencia está organizada por la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial (SMIA) y auspiciada por el Centro de Investigación en Computación, Instituto Politécnico Nacional, en la Ciudad de México, México. El programa científico incluye conferencias magistrales, presentaciones de trabajos, tutoriales, paneles y talleres.

ARTÍCULO ACEPTADO

Interfaces Tangibles de Usuario e Inteligencia Artificial: Historias Enlazadas

Edgard Benítez-Guerrero y Carmen Mezura-Godoy

Introducción

Una interfaz de usuario es la parte de un sistema interactivo que se comunica con el usuario. El diseño de la interfaz de usuario incluye cualquier aspecto del sistema que es visible para el usuario. Cuando surgieron las primeras computadoras, los usuarios eran especialistas en cómputo y las interfaces consistían en cables, tarjetas perforadas y lotes de impresión. Hoy en día, muchos usuarios no especialistas ocupan teclados, ratones y pantallas para interactuar con la computadora a través de interfaces gráficas (GUIs, por sus siglas en Inglés) manipulando ventanas, íconos, menús y apuntadores.

Las interfaces de usuario tangibles (TUI por sus siglas en Inglés) [1] son un tipo de interfaz que vincula los mundos físico y digital, ofreciendo oportunidades para promover nuevos tipos de interacción física manipulando objetos en lugar de usar un teclado o un mouse. En una TUI, el usuario interactúa con un sistema digital a través de la manipulación de objetos físicos (llamados tokens), que están directamente vinculados a una determinada funcionalidad dentro del sistema, por lo que la manipulación afecta su comportamiento. Las TUIs aprovechan la ventaja del sentido háptico y periférico para hacer que la información pueda ser manipulable de manera intuitiva y sea percibida a través de los sentidos.

La elaboración de este tipo de sistemas requiere de hardware y software especializado. El hardware puede incluir dispositivos electrónicos (cámaras, videoproyectores, pantallas) y objetos de otros materiales (madera, plástico, papel). En cuanto al software, se hace necesario que tenga capacidades de detección de los tokens, de interpretación de los movimientos que el usuario haga con ellos, así como de retroalimentación al usuario. Esas capacidades no son triviales y requieren de modelos y técnicas de Inteligencia Artificial (IA).

Este documento discute los vínculos entre las interfaces tangibles y la IA. Primero, se modelan las TUIs y se describen sus características. Después, con el objeto de discutir ordenadamente los tópicos de IA en las TUIs, se propone conceptualizar una TUI como un agente inteligente, lo que permite a continuación discutir los aspectos ligados a su percepción, razonamiento, actuación y aprendizaje. Finalmente, se concluye este documento.

Interfaces Tangibles

Una TUI puede conceptualizarse mediante el modelo de interacción denominado Modelo-Control-Representación

(intangible y tangible) (MCRit) (ver Figura 1) [2]. Este modelo de interacción separa el mundo físico del digital. El modelo (la representación de los datos que opera el sistema) se encuentra del lado digital, mientras que el control (que gestiona los eventos de acceso al modelo) y las representaciones tangibles e intangibles se encuentran en el lado físico.

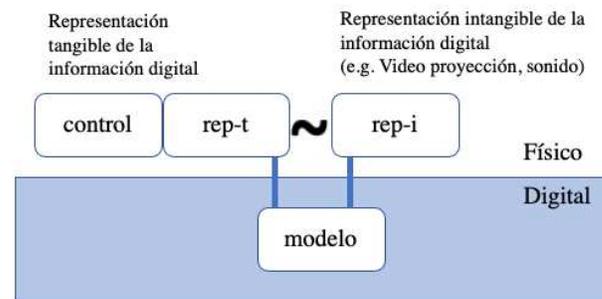


Figura 1. Modelo de interacción tangible MCRit (adaptada de [2]).

Las TUIs han sido utilizadas en distintos ámbitos aplicativos, como el entretenimiento, la música, la salud y la educación. Un ejemplo de este último es [3], donde se propone una TUI para el apoyo al proceso de enseñanza aprendizaje de la IA, particularmente de las redes neuronales. En nuestro grupo de trabajo también nos hemos interesado en el ámbito educativo y hemos desarrollado dos TUIs: TanQuery [4] y PaperTUI [5].

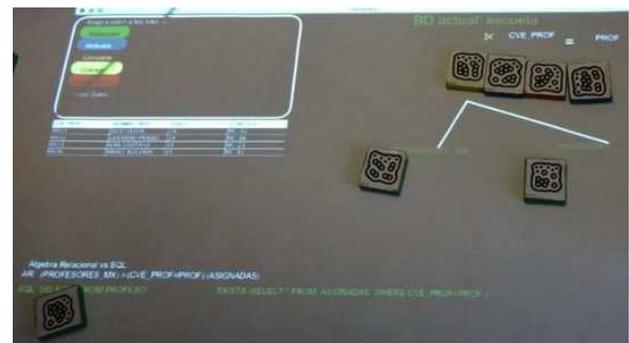


Figura 2. TanQuery [4].

TanQuery (ver Figura 2) es un sistema tangible que apoya el aprendizaje de álgebra relacional (AR) en el área de las bases de datos. En este sistema, los operadores y operandos de AR están representados por tokens de madera que el usuario puede manipular para crear

árboles de consulta de forma interactiva. Con fines educativos, TanQuery genera expresiones AR y SQL equivalentes a partir de los árboles de consulta creados por el usuario y ejecuta árboles de consulta sobre los datos para obtener un resultado. Por su lado, PaperTUI (ver Figu-

ra 3) es un sistema tangible que apoya el aprendizaje de conceptos de interfaces de usuario abstractas. A diferencia de TanQuery, en PaperTUI los tokens son piezas de papel que tienen impresos representaciones de elementos de interfaces gráficas de usuario.

En una Interfaz Tangible, el usuario manipula objetos para cambiar el comportamiento de un sistema



Figura 3. PaperTUI [5].

Las TUIs pueden clasificarse, independientemente de la aplicación a la que están dirigidas, en tres tipos principales [2]: superficie interactiva, montaje constructivo y token+restricción. En las TUIs del primer tipo, los objetos tangibles se colocan en superficies planas y el sistema puede interpretar la ubicación y la relación entre los objetos. En las TUIs del segundo tipo se usan elementos modulares que se pueden conectar a otros similares para crear modelos de construcciones físicas. El sistema puede interpretar tanto la organización espacial como las órdenes de acción. Finalmente, las TUIs del tercer tipo combinan dos clases de objetos físico-digitales. Las restricciones proporcionan una estructura que limita el movimiento y la posición de los tokens, al mismo tiempo que sirven al usuario como una guía táctil. Las restricciones pueden expresar y reforzar una sintaxis de interacciones.

Las TUIs representan un cambio de paradigma de interacción, acompañado de beneficios que se heredan a la hora de integrar objetos físicos. Además de los aspectos ligados a la manipulación de objetos, es posible distinguir otros relativos a la colaboración, a la contextualización y al pensamiento tangible [6]. Dada la naturaleza abierta de las TUIs, estas apoyan el trabajo colaborativo. Por otro lado, la interacción de las personas con estas interfaces se ubica en el espacio real y, por lo tanto, en lugares específicos, lo que implica que el significado de

la interacción puede cambiar según el contexto en el que se encuentren y, a la inversa, puede alterar el significado del lugar. Finalmente, el cuerpo y los objetos físicos con los que se interactúa juegan un papel importante en la formación de la comprensión del mundo. Las TUI aprovechan esta conexión entre el cuerpo y el conocimiento, facilitando el pensamiento tangible, el pensamiento a través de acciones corporales, la manipulación física y las representaciones tangibles.

Las limitaciones de las TUI también se heredan y se asocian principalmente con los objetos y sus limitaciones [6]. Un problema es el de la escalabilidad: las TUIs para problemas o conjuntos de datos pequeños a menudo no se adaptan a casos más complejos que requieren muchos parámetros y grandes volúmenes de datos, porque representaciones más grandes requieren más tokens y un espacio de trabajo más grande. Otros problemas se derivan de la falta de versatilidad y maleabilidad. Los objetos digitales se pueden crear, replicar, modificar y distribuir fácilmente, mientras que los objetos físicos tienden a ser rígidos, estáticos y de difícil elaboración. Finalmente, no se deben sobrestimar los efectos del peso, tamaño y forma de los objetos tangibles en la fatiga del usuario, por lo que se debe considerar la ergonomía y la variedad de interacciones a largo plazo que son necesarias para realizar las tareas.

Interfaces Tangibles como Agentes

Desde la perspectiva de la IA, una TUI puede ser conceptualizada como un agente, es decir, como un ente que es capaz de percibir su entorno a través de sensores, razonar sobre lo percibido y actuar sobre el entorno mediante actuadores [7]. En el caso de una TUI, la percepción del entorno se dirige hacia la detección de los tokens en el área de trabajo, el razonamiento se dirige a interpretar los movimientos que el usuario pueda hacer con los tokens, y la actuación versa en torno a la retroalimentación al usuario. Una característica adicional de un agente es la capacidad de aprender, que en el caso de una TUI puede traducirse en la posibilidad de que esta se pueda adaptar a sus usuarios para ofrecerles servicios personalizados (ver Figura 4).

Es importante señalar que sería posible también conceptualizar una TUI no como un agente individual, sino

como un sistema multiagente. En un sistema de este tipo, múltiples agentes cooperan para alcanzar una meta en común. Una TUI entonces puede verse como un sistema conformado por un conjunto de agentes, representando cada uno de ellos a un objeto físico o virtual, interactuando entre ellos y con el usuario en un entorno, en este caso, el área de trabajo.

Con el fin de favorecer la claridad en la explicación, en el resto de este documento consideraremos el modelo de un agente TUI único.

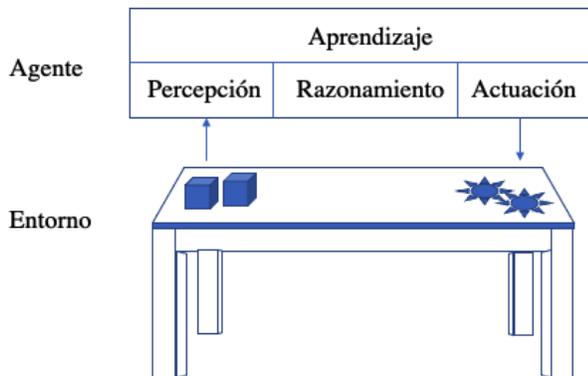


Figura 4. Agente TUI.

Percepción

La percepción del ambiente por parte del agente TUI se dirige principalmente a detectar los tokens en el área de trabajo. Para ello se han utilizado diferentes tipos de sensores. Se puede dotar a un token, por ejemplo, con un emisor de RFID (siglas en Inglés de “Identificación por Radiofrecuencia”) que puede ser leído por un lector adecuado. Dado que el lector está asociado al área de trabajo, se puede saber si el token está presente ahí. Esta solución, si bien es simple de implementar, tiene el inconveniente de que solo puede indicar la presencia de un token y no su ubicación u orientación. No obstante, trabajos como Senseboard [8], han buscado la forma de ubicar en un área objetos marcados con etiquetas de RFID cuadriculando el área y asociando lectores a cada cuadro.

Otro tipo de sensor que se ha utilizado es el de la cámara de video. Una cámara permite recuperar escenas de video que se analizan para detectar los tokens existentes en la escena. El análisis de las escenas pasa por la aplicación de técnicas de IA de visión por computadora que permiten detectar múltiples objetos al mismo tiempo, así como ubicación, orientación, color, tamaño y forma. Se pueden distinguir dos formas de aplicar la visión por computadora a la detección de tokens. Una forma es asociar a cada token un marcador; de esta manera, el trabajo del sistema de visión es encontrar los marcadores en una escena. Esto tiene como ventaja que el sistema de visión se optimiza para detectar diseños específicos

de marcadores y, por tanto, suelen ser más exactos en la detección. El inconveniente radica en que, como en el caso de las etiquetas de RFID, es necesario etiquetar los tokens de antemano. Una forma alternativa es evitar el uso de etiquetas y entrenar al sistema de visión para que detecte los tokens por sus características físicas. Esto tiene como ventaja que es una solución más general y menos intrusiva, pero también es computacionalmente más cara.

Razonamiento

Una vez detectados los tokens en el espacio de trabajo, es necesario razonar sobre el significado individual de cada uno de ellos, pero también sobre su significado respecto a otros tokens. En cuanto al significado individual, un token usualmente se interpreta como una variable o como una funcionalidad del sistema. En el primer caso, la asignación de un valor a la variable que representa el token pasaría por ejemplo por su rotación: cada vez que el token se rota, la variable adquiere un valor diferente de su dominio. En el segundo caso, la presencia del token indica que la funcionalidad asociada puede ser accedida y su rotación podría significar la adecuación de sus parámetros.

Ahora bien, es posible que en una TUI se encuentre más de un token en el área de trabajo en un momento determinado. Dependiendo de la aplicación, estos tokens pueden ser independientes o estar relacionados. Las relaciones entre tokens son necesarias porque nos ayudan a expresar restricciones o secuencias de operaciones. Relacionar dos o más tokens pasa por el razonamiento espacio-temporal para interpretar relaciones espaciales y operaciones espacio-temporales entre ellos. En cuanto a las relaciones espaciales, un token puede estar arriba, abajo, a la izquierda o a la derecha de otro, y cada una de ellas puede ser interpretada de acuerdo a una necesidad aplicativa. De igual forma, un token puede ser tocado por otro y ese toque puede ser interpretado como el establecimiento de un vínculo entre los dos tokens que se puede mantener incluso si se alejan uno de otro.

En este punto es importante indicar que un agente TUI puede contar con una base de conocimiento compuesta por hechos y mecanismos de inferencia que permiten inferir nuevos hechos a partir de los existentes. En este caso, los hechos más básicos son el resultado de la percepción, particularmente los tokens en el área de trabajo y su ubicación en ella. Estos hechos básicos pueden dar lugar, al aplicar el mecanismo de inferencia, a hechos de orden superior, como la interpretación de un token dentro del sistema y las relaciones que este guarda con respecto a otros. El resultado del proceso de inferencia deberá ser una acción a realizar en la fase de actuación.

Cabe señalar que los trabajos en el ámbito de las TUIs se han concentrado, en una primera etapa, en aspectos tecnológicos: diseño y creación de tokens, así

como mecanismos para su detección, su interpretación y para mejorar sus capacidades de actuación. Los avances en este ámbito han sido importantes; sin embargo, para que las TUIs alcancen su máximo potencial, es necesario que consideren aspectos centrados en el usuario, particularmente la personalización de los servicios que ofrecen. Para que un sistema ofrezca servicios personalizados, debe adecuarlos de acuerdo a lo que conoce del usuario, del dominio aplicativo y de la tarea que realiza. El modelado de usuario es un tema que ha sido abordado en el ámbito de la IA. Es posible, por ejemplo, tener modelos de usuarios novatos, intermedios o avanzados. Así, la base de conocimientos de un agente TUI puede ser enriquecida con este conocimiento y razonar sobre él con fines de personalización, por ejemplo, si el nivel de experiencia del usuario corresponde al nivel novato, es probable que requiera más ayuda con el uso del sistema que un usuario avanzado.

Actuación

Una vez que el agente TUI decide la acción a realizar como resultado de un proceso de razonamiento, pasa a ejecutar dicha acción mediante actuadores. Esa actuación, en el ámbito de las TUIs, está relacionada normalmente con la retroalimentación al usuario bajo la forma de elementos intangibles como los son imágenes o sonidos. Lo anterior se deriva porque usualmente los tokens son elementos pasivos, es decir, sin capacidades de actuación y, por ende, no pueden ser utilizados como elementos de salida.

Buscando una solución a esta limitante, trabajos de investigación están proponiendo el uso de tokens activos. Estos tokens son capaces de cambiar sus propiedades físicas (textura, color, peso, volumen, forma) y/o su disposición espacial (posición u orientación en el espacio de trabajo, velocidad de movimiento o de rotación).

En cuanto al cambio de las propiedades físicas de los tokens, trabajos como *aeroMorph* [9] han propuesto mecanismos que pueden crear comportamientos de cambio de forma sobre diversos materiales como papel, plástico y tela, haciendo uso del movimiento neumático.

Respecto al cambio de disposición espacial, una de las primeras propuestas que incorporaron tokens que podían moverse fue *Actuated WorkBench* [10]. En esta herramienta, el área de trabajo incluía internamente una matriz de imanes, donde el campo magnético de cada imán podía ser controlado individualmente. Así, al colocar un token metálico, este podía moverse al ir variando el campo magnético entre imanes vecinos. Es de notarse entonces que la capacidad de desplazamiento era dotada por el área de trabajo y no por el token mismo. Esto ha ido evolucionando, de forma que se fueron creando tokens cada vez más sofisticados que pueden moverse por sí mismos y que incluyen capacidades de recepción inalámbrica de comandos para que inicien y terminen sus

movimientos.

La tendencia es a tener tokens que no solo puedan moverse, sino que incluyan inteligencia individual e incluso colectiva, de manera que puedan actuar en conjunto con otros tokens. Esto se encuentra en la frontera con áreas de la IA, como la robótica de enjambre.

Aprendizaje

El aprendizaje se encuentra actualmente presente en la percepción del agente TUI, particularmente en las técnicas de visión por computadora utilizadas para detectar tokens. Dichas técnicas se basan en que el sistema aprenda a distinguir un objeto o una etiqueta de otros que se encuentren en una imagen, a partir de la presentación de ejemplos positivos y negativos de lo que se quiere que el sistema aprenda a reconocer.

Es importante mencionar que el aprendizaje en una TUI se puede dar en otros lugares, particularmente en la creación y/o mantenimiento del modelo del usuario mencionado anteriormente. Un modelo de usuario puede ser creado preguntándole directamente al usuario (lo que es intrusivo) o bien mediante el análisis del histórico de las interacciones del usuario con el sistema. En nuestro ejemplo, lo primero equivale a preguntarle al usuario si es novato, intermedio o avanzado en el uso del sistema, mientras que lo segundo implica determinar ese nivel de experiencia en función de las interacciones del usuario con los tokens al realizar una tarea. Para ello sería necesario que el sistema aprendiera a caracterizar ejemplos de usuarios en cada nivel en términos de las interacciones que realizan, para después aplicar lo aprendido con el usuario actual.

Conclusiones

En este documento se ha puesto de manifiesto el vínculo que existe entre las Interfaces Tangibles de Usuario y la Inteligencia Artificial. Las técnicas de visión por computadora, de representación de conocimiento e inferencia, así como de aprendizaje hacen posible la realización de las TUIs actuales y prometen estar aún más presentes en las TUIs del futuro.*

Agradecimientos Los autores agradecen a los revisores de este artículo por sus sugerencias para mejorarlo. Este trabajo fue financiado parcialmente por CONACYT México (proyecto de Cátedras “Infraestructura para Agilizar el Desarrollo de Sistemas Centrados en el Usuario”, ref. 3053).

REFERENCIAS

1. Ishii, H. (2008). The Tangible User Interface and its Evolution. *Communications of the ACM*, 51(6), 32-36.

2. Ullmer, B., Ishii, H., y Jacob, R. J. K. (2005). Token+Constraint Systems for Tangible Interaction with Digital Information. En *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 12(1), 81-118.
3. Raffaele, C.D., Smith, S., y Gemikonakli, O. (2018). An Active Tangible User Interface Framework for Teaching and Learning Artificial Intelligence. En *Proc. 23rd International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI 2018)*, 535-546.
4. Xohua-Chacón, A., Benítez-Guerrero, E., y Mezura-Godoy, C. (2017). TanQuery: A Tangible System for Relational Algebra Learning. En *Proc. XVIII International Conference on Human Computer Interaction (Interacción '17)*. Cancún, México, 1-8.
5. Paredes-Rendón, P. A. (2020). PaperTUI: Sistema Tangible para el Prototipado de Interfaces Gráficas de Usuario. Tesis de Maestría, Maestría en Sistemas Interactivos Centrados en el Usuario. Universidad Veracruzana, México.
6. Shaer, O. (2009). Tangible User Interfaces: Past, Present, and Future Directions. *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction*, 3(1-2), 1-137.
7. Russell, S. y Norvig, P. (2020). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Cuarta edición, Pearson.
8. Jacob, R. J., Ishii, H., Pangaro, G., y Patten, J. (2002). A Tangible Interface for Organizing Information Using a Grid. En *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Minneapolis, Estados Unidos, 339-346.
9. Ou, J., et al. (2016). aeromorph - Heat-Sealing Inflatable Shape-Change Materials for Interaction Design. En *Proc. 29th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'16)*, Tokyo, Japón, 121-132.
10. Pangaro, G. A., Maynes-Aminzade, D., y Ishii, H. (2002). The Actuated Workbench : Computer-Controlled Actuation in Tabletop Tangible Interfaces. En *Proc. 15th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'02)*, París, Francia, 181-190.

SOBRE LOS AUTORES



Edgard Benítez-Guerrero Doctor en Informática graduado de la Universidad de Grenoble en Francia. Maestro en Informática por la misma universidad y en Inteligencia Artificial por la Universidad Veracruzana. Ingeniero en Sistemas Computacionales por la Universidad de las Américas-Puebla. Actualmente es Profesor de Tiempo Completo de la Facultad de Estadística e Informática de la Universidad Veracruzana. Sus áreas de interés son Interacción Humano-Computadora, Inteligencia Artificial, Cómputo Colaborativo y Bases de Datos con aplicaciones a la Educación y a la Toma de Decisiones.



Carmen Mezura-Godoy Doctora en Informática graduada de la Universidad de Savoie en Francia, con maestría en Inteligencia Artificial por la Universidad Veracruzana y DEA Informatique por la Universidad de Grenoble, Francia. Licenciado en Informática por el Instituto Tecnológico de Tijuana. Actualmente es Profesor de Tiempo Completo de la Facultad de Estadística e Informática de la Universidad Veracruzana. Sus áreas de interés son: Interacción Humano Computadora, User eXperience, Trabajo Colaborativo Asistido por Computadora y Sistemas Multiagente.



Reactable, un ejemplo de instrumento musical electrónico de interfaz de usuario tangible.
 Imagen tomada de: <http://reactable.com/>.

ARTÍCULO ACEPTADO

Videojuegos para salud conscientes de la personalidad y las emociones de los niños

Ismael Espinosa-Curiel, Humberto Pérez-Espinosa, Juan Martínez-Miranda y José Alberto Fernández-Zepeda

Introducción

La interacción humano-computadora es la disciplina que estudia la manera en que interactúa el ser humano con las computadoras. En los últimos años, a esta disciplina se le han integrado exitosamente algunas técnicas de la inteligencia artificial (ej., aprendizaje máquina, representación del conocimiento y modelado de incertidumbre). Consecuentemente, las interfaces han evolucionado vertiginosamente siendo posible adaptarlas automáticamente a las características y necesidades particulares de cada usuario.

Los videojuegos, por ser aplicaciones altamente interactivas, son potencialmente propensos a la incorporación de los métodos automáticos de identificación y reconocimiento de características individuales de los usuarios donde el estado emocional y el tipo de personalidad de los mismos desempeñan un papel importante. Los videojuegos conscientes de las emociones y/o personalidad son capaces de identificar el estado emocional y el tipo de personalidad en tiempo real mientras interactúan con el usuario.

En la actualidad, existe una tendencia creciente hacia el desarrollo de dichos videojuegos enfocados a promover comportamientos saludables. En este artículo se describe el desarrollo de una plataforma de videojuegos para la salud consciente de las emociones y de la personalidad de los niños.

Videojuegos serios para salud

A partir de la década de 1980, los videojuegos se han convertido en un medio de entretenimiento generalizado en todo el mundo. Esta creciente adopción de los juegos en la vida diaria, junto con las facilidades de aprendizaje activo que éstos brindan, han fomentado un aumento continuo en el diseño y la aplicación de videojuegos con fines que van más allá del entretenimiento. Este tipo de videojuegos, llamados videojuegos serios, buscan educar, desarrollar habilidades, o promover cambios en la motivación, actitud y comportamiento de los jugadores. Para lograr su objetivo, los videojuegos serios integran tanto elementos para generar diversión (ej., historias, niveles de dificultad, recompensas y retroalimentación) como elementos serios (ej., simulaciones, recursos educativos y técnicas de persuasión para cambiar comportamientos). Este tipo de videojuegos se han utilizado con diversos propósitos en una amplia variedad de áreas como la mi-

litar, gubernamental, ecológica, política, educativa y promoción de la salud; siendo esta última una de las que ha tenido más crecimiento en los últimos años.

Los videojuegos serios que promueven la salud buscan apoyar la enseñanza, detección, seguimiento y tratamiento de problemas de salud (ej., obesidad, salud mental, dolor crónico y autismo). Los videojuegos realizan estas actividades a través de su capacidad para simular situaciones de la vida real, recopilar información que apoye la identificación de ciertas conductas, y brindar información y sugerencias para orientar cómo mejorarlas. Por consiguiente, estos videojuegos pueden apoyar a brindar servicios educativos y de salud a una población que no puede acceder a ellos por los altos costos, problemas logísticos o estigma. Dentro de la atención médica, un gran número de videojuegos serios tienen como propósito promover estilos de vida saludables. Por ejemplo, para mejorar comportamientos nutricionales, aumentar la actividad física, y fomentar el bienestar socio-emocional del usuario.

Personalización de los videojuegos serios para salud

La mayoría de los videojuegos serios de salud adoptan un enfoque de diseño único, esto es, consideran los contenidos y las mecánicas del juego iguales para todos los jugadores. Este enfoque tiene varios riesgos y limitantes, especialmente cuando se trata de motivar comportamientos relacionados con la salud del jugador. Omitir la influencia de las capacidades, habilidades, emociones y personalidad de un jugador en el juego puede tener un costo alto en su satisfacción, compromiso y desempeño. Un ejemplo común de esta limitación es que mientras que un jugador experimentado puede considerar que un videojuego es fácil, un jugador novato puede considerarlo difícil, resultando en ambos casos en una experiencia aburrida o frustrante.

La personalización de los videojuegos serios de salud, acorde al perfil del jugador, puede ser una solución para mitigar estas limitantes. Por ejemplo, un estudio encontró que la personalización basada en la cultura de un videojuego para apoyar el dejar de fumar ayudó a incrementar las creencias anti-tabaquismo de los jugadores [1]. Otro estudio encontró que la personalización de las recompensas y la dificultad del juego ayudó a igualar el

nivel de satisfacción y disfrute de usuarios novatos y expertos en un videojuego que fomenta la actividad física [2].

En los videojuegos serios para salud, especialmente en los que se promueve el cambio de comportamientos del jugador, existe una necesidad de que éstos sean conscientes de las emociones y la personalidad. La importancia de considerar la personalidad radica en que cada tipo de persona está motivado por un conjunto de estrategias persuasivas específicas. Más aún, las estrategias persuasivas que motivan a un jugador pueden desmotivar a otro, afectando su desempeño [3]. La importancia de considerar las emociones del jugador se debe a que éstas pueden cambiar completamente de una sesión a otra, o incluso, súbitamente durante la misma sesión. Además, el mismo contenido puede generar diferentes patrones de respuestas emocionales en distintos jugadores. Adaptar el diseño del juego al tipo de personalidad [3] y emociones del jugador [4] mejora significativamente su satisfacción y aumenta la efectividad del videojuego para promover la auto-eficacia, actitudes positivas, y la intención de cambiar el comportamiento.

Los videojuegos conscientes de las emociones y de la personalidad del jugador dependen del uso de diversos mecanismos adicionales para obtener dicha información. Para el caso de la personalidad, normalmente se usan cuestionarios de autoevaluación; mientras que para el caso de las emociones, se utilizan mecanismos de sentido biométrico multi-modal. Si bien, el uso de estos mecanismos es factible en ambientes de investigación, en entornos reales puede ser sumamente invasivo, complejo, susceptible a sesgo, o inviable en algunas ocasiones. Más aún, estos problemas se acentúan cuando los jugadores son niños. Lo anterior obedece a que dichos usuarios pueden tener necesidades especiales debido a que sus capacidades físicas, cognitivas y emocionales están aún en desarrollo.

Esta situación abre la oportunidad de integrar algunas técnicas de inteligencia artificial (ej. redes neuronales, ensambles de clasificadores, clasificadores basados en núcleos) para reconocer automáticamente, y en tiempo real, las emociones y la personalidad de los niños de forma menos invasiva. Además, el combinar estas técnicas en elementos lúdicos como los videojuegos, puede dar como resultado que los niños se pudieran sentir más cómodos y reflejar de manera más abierta sus emociones y personalidad.

Nuestra investigación

En la Unidad Tepic del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) se está realizando un proyecto de investigación para el desarrollo de videojuegos serios de salud conscientes de las emociones y de la personalidad de los niños. Esta investigación se compone de dos módulos principales.

El primero de ellos consiste en el desarrollo de una plataforma personalizable de videojuegos que promueve hábitos saludables en niños. Una plataforma es un sistema computacional de propósito específico que incorpora componentes tanto de hardware como de software. El segundo módulo consiste del desarrollo de algunos métodos automáticos basados en voz para detectar la personalidad y los estados emocionales en los niños analizando las propiedades paralingüísticas del habla [5]. A continuación se describen brevemente ambos módulos y los retos y acciones futuras para integrarlos.

IFitKids - plataforma personalizable de videojuegos serios

IFitKids es una plataforma personalizable de videojuegos serios cuyo propósito es educar y promover, de forma integral, la actividad física, la alimentación saludable y el bienestar socio-emocional en niños 8 a 11 años. *IFitKids* está diseñada como una plataforma interactiva que utiliza el sensor Microsoft Kinect V2 como su medio de interacción (ver Figura 1). Este sensor le permite al jugador interactuar con la plataforma sin necesidad de tocarla. En el desarrollo de *IFitKids* participó un grupo multidisciplinario de expertos en nutrición, psicología y actividad física.

IFitKids tiene un manejador de sesión para personalizar las actividades de acuerdo al perfil y desempeño del jugador a través de dos fases (ver Figura 2).

En la primera fase, el gestor de sesión principal define la secuencia general de la sesión de juego (qué actividades y en qué orden se deben realizar). *IFitKids* incluye actividades educativas, de ejercicio, de cambio de comportamiento, de motivación y persuasión, y de captura de información. Para determinar la secuencia de actividades, el gestor de sesión consulta primero un modelo o guía que especifica la secuencia general de una sesión de juego. Posteriormente, el gestor personaliza la secuencia de actividades tomando en cuenta los parámetros del jugador (ej., nivel de actividad física y estado de ánimo) y parámetros globales del juego (ej., avance en educación y en los comportamientos deseados). También utiliza los parámetros de la sesión (ej., duración de la sesión, actividades realizadas y resultados obtenidos), para ajustar la secuencia.

En la segunda fase, el gestor de sesión consulta a los gestores específicos sobre la actividad en particular que debe realizarse y los parámetros con los que debe llevarse a cabo. *IFitKids* incluye cinco gestores específicos: información, aprendizaje, actividad física, motivación-persuasión y cambio de comportamiento. De forma similar al gestor de sesión, cada gestor específico incluye un algoritmo o guía que toma en cuenta un modelo o patrón base, información del jugador, el desempeño global en ese tipo de actividad, e información de la sesión

actual. Dichos algoritmos están implementados en C# y tienen un funcionamiento basado en reglas de inferencia. A continuación, se describen los gestores específicos y los elementos que los componen.

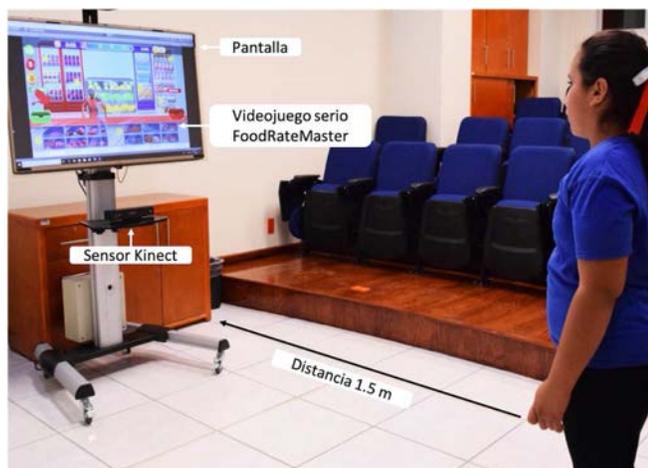


Figura 1. Sesión de juego en IFitKids.

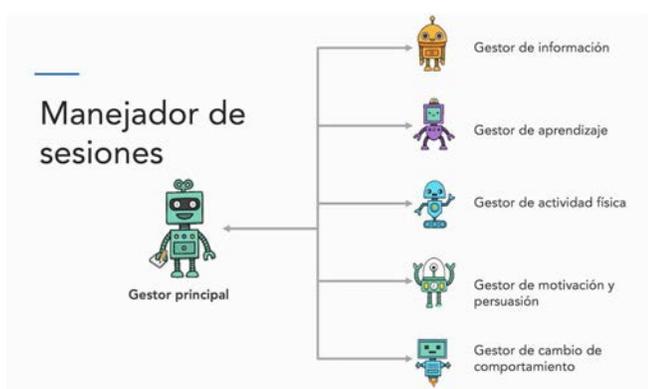


Figura 2. Manejador de sesión de IFitKids.

- **Información.** Se encarga de capturar y gestionar la información del jugador. Entre sus elementos se incluyen registros del perfil del jugador, diarios de alimentación y de actividad física (versión corta y extendida), y registros de estado de ánimo, metas, acciones, desempeño y resultados. Para asegurar la privacidad de los usuarios, el sistema encripta la información recopilada.
- **Aprendizaje.** Se basa en un modelo de aprendizaje para niños que incluye los siguientes temas de nutrición: grupos de alimentos, porciones de alimentos, alimentación correcta, alimentación saludable y no saludable, grasas, bienestar socio-emocional relacionado con la alimentación y el ejercicio, y salud integral. El modelo contempla que el aprendizaje se realice en forma gradual. Para enseñar

estos temas, el gestor integra un conjunto de mini-juegos de aprendizaje, a los cuales se puede adaptar la dificultad. Un ejemplo de estos videojuegos es FoodRateMaster [6].

- **Actividad física.** Se basa en un modelo de actividad física para niños que incluye actividades aeróbicas, ejercicios de alta intensidad (ej., salto de mariposa, salto de cuerda estático y taloneo), y ejercicios de fuerza (ej., sentadillas y desplante frontal). Este modelo toma en cuenta la condición física actual de los niños. Para realizar estas actividades, el gestor integra un conjunto de mini-juegos de ejercicio a los que se le puede ajustar la intensidad. Además, integra un algoritmo para determinar si se realizaron los ejercicios, y otro para estimar automáticamente, a través del sensor Kinect, el gasto energético de la actividad física del jugador.
- **Cambio de comportamiento.** Se basa en un modelo de cambio gradual para niños que incluye 44 técnicas de cambio de comportamiento. Algunos ejemplos de estas técnicas son el establecimiento y seguimiento de metas, monitoreo y retroalimentación, apoyo social, conformación de conocimiento, consecuencias naturales, asociaciones, recompensas, repetición y sustitución de comportamientos, y aprendizaje vicario u observacional. Estas técnicas están integradas a la plataforma a través de elementos interactivos (ej., registro de metas) o informativos (ej., pantallas de resultados o mensajes de retroalimentación). Además, el gestor incluye algunos mini-juegos para desarrollar el auto-control al esfuerzo, a la espera, y al impulso. Este gestor también incluye algoritmos que tienen como objetivo lograr la estabilización de los comportamientos (ej., el establecimiento gradual de metas y la homogeneización y reducción gradual de recompensas).

- **Motivación - persuasión.** Los elementos de motivación y persuasión que se incluyen son un conjunto de elementos gratificantes y/o persuasivos, entre los que destacan monedas y diamantes de salud, medallas y trofeos, mensajes persuasivos, resúmenes de desempeño anteriores, niveles de juegos, retos, y rangos de jugador.

IFitKids tiene avances significativos en la integración de algoritmos de personalización y adaptación tanto en el gestor de sesión como en los gestores específicos; sin embargo, la plataforma aún no toma en cuenta la personalidad del jugador ni las emociones para adaptar las sesiones de juego ni los mini-juegos de aprendizaje y cambio de conducta. Dado lo anterior, el trabajo de investigación actual en IFitKids consiste en incorporar en

la plataforma diversos métodos automáticos no invasivos como el análisis de audio y/o vídeo, y que además sean adecuados para niños para detectar sus rasgos de personalidad (ansiedad, extraversión y excitabilidad) y emociones (alegría, tristeza, enojo, miedo).

Métodos automáticos basados en voz para reconocimiento de emociones y personalidad en niños

En el área de detección automática de la personalidad, específicamente en entornos de interacción humano-computadora, se han estudiado los comportamientos del usuario durante la interacción, así como su historial de acciones en diferentes sesiones. Un ejemplo de estos estudios se enfoca en las conversaciones entre humanos y personajes artificiales, como agentes virtuales (personajes animados) y chatbots (asistentes virtuales que se comunican con el usuario a través de mensajes de texto). En estos mismos escenarios también se ha estudiado la estimación de la personalidad del usuario.

Por otro lado, para capturar las reacciones psicofisiológicas típicas de las emociones se han usado diferentes tipos de dispositivos como sensores de movimiento (ej., velocidad, orientación, fuerzas gravitacionales), sensores vestibulares (relojes inteligentes), electromiógrafos (sensores que miden la actividad de los músculos), cámaras de vídeo, sistemas ópticos, micrófonos, teléfonos inteligentes, entre otros. Se han implementado enfoques multimodales al aprovechar los medios por los que las emociones se manifiestan de manera sincronizada. Los resultados de distintos trabajos de investigación muestran la complementariedad de las diferentes modalidades para reconocer emociones y personalidades, ya que cuando éstas se fusionan, la eficacia y la robustez (habilidad de adaptarse a escenarios adversos) del sistema mejoran de forma significativa [7].

Sin duda, el habla es el medio más natural a través del cual las personas interactúan. Si una persona escucha la voz de un desconocido, dicha persona asocia instintivamente características específicas de ese individuo, incluidos los rasgos de personalidad y estado emocional. Tomando como base dicho principio, en el CICESE-UT3 se han realizado diversos trabajos de investigación en el área de la para-lingüística computacional para detectar automáticamente las emociones y la personalidad. Esta disciplina estudia la información transmitida en el lenguaje hablado sin tomar en cuenta las palabras usadas, es decir, usando únicamente las características acústicas de la voz (ej., intensidad, tono, timbre).

Una de las primeras actividades para el desarrollo de estos métodos fue la creación de un corpus de habla infantil emocional (IESC-Child). Un corpus de habla es un conjunto de grabaciones realizadas durante interacciones espontáneas. Para generar dicho corpus se usó un esce-

nario tipo Mago de Oz induciendo diferentes reacciones emocionales en niños durante interacciones habladas con dos robots. En este tipo de escenarios los participantes piensan que el sistema es autónomo, pero en realidad el sistema lo controla un humano

Este corpus contiene el habla, en español mexicano, de 174 niños (de ambos sexos) entre 6 y 11 años. El habla está segmentada a nivel de turno y transcrita. La duración de los segmentos está entre uno y diez segundos. Un grupo de seis personas etiquetó cada segmento asignándole sólo una de las seis emociones básicas sugeridas por Paul Ekman (ira, asco, miedo, alegría, tristeza y sorpresa) [8], además de la categoría neutral, que se usa cuando no hay una emoción perceptible. La etiqueta final se decidió por voto mayoritario.

Con estos datos se construyó un modelo de clasificación a través de un proceso de entrenamiento, alimentando algoritmos de aprendizaje máquina con vectores de atributos acústicos y sus respectivas etiquetas de diferentes aspectos paralingüísticos. Dado que los segmentos de voz son de longitud variable, se extrajeron estadísticas (desviación estándar, promedio, máximo, mínimo, entre otras) tomando en cuenta todas las ventanas de análisis de la señal. Con esto la longitud del vector de características es igual al número de funciones estadísticas aplicadas.

Usando estos modelos se construyó un sistema para clasificar automáticamente a cada segmento del corpus de acuerdo a las emociones de referencia establecidas [9]. Los resultados obtenidos muestran la gran dificultad de llevar a cabo dicha clasificación. El principal problema que se tuvo fue que el corpus no tenía la misma cantidad de grabaciones en cada una de las emociones, lo cual no es deseable. Se tuvieron muchas muestras de algunas categorías emocionales (ej., alegría y neutral) y muy pocas de otras (ej., asco y tristeza).

A partir de una nueva base de datos de inducción de emociones, obtenida durante la participación de 98 niños en una actividad lúdica con otro niño y con un robot, se desarrolló un método para evaluar automáticamente la personalidad de niños a partir del análisis acústico de sus voces [9]. La base de datos incluye etiquetas de cinco aspectos para-lingüísticos (emociones, estados mentales, actitudes, fenómenos para-lingüísticos y frases emocionales). Para evaluar la personalidad de los niños se utilizó el Cuestionario de Personalidad Infantil (CPQ) [10], el cual estima tres rasgos de personalidad (ansiedad, extraversión y excitabilidad).

El método desarrollado, basado en aprendizaje máquina, usa descriptores acústicos de alto y bajo nivel y combina el análisis de segmentos cortos (turnos) y largos del habla (sesiones completas). El método extrae características temporales y de frecuencia, clasifica aspectos para-lingüísticos como emociones y actitudes y se obtiene una clasificación de rasgos de personalidad de nivel primario, y finalmente hace una clasificación binaria (al-

to o bajo) de cada uno de los tres rasgos de personalidad de nivel secundario. Se obtuvieron buenos resultados para dos rasgos secundarios de personalidad, extraversión (0.88 F-Score) y excitabilidad (0.70 F-Score). El mejor desempeño obtenido para ansiedad (con la métrica F) fue 0.70 usando un ensamble de tres clasificadores: máquina de soporte vectorial, bosque aleatorio y bayesiano ingenuo. Estos resultados se obtuvieron usando un conjunto de características acústicas de bajo nivel con 5,148 atributos, aplicando un algoritmo de remuestreo al 30 % para balancear el número de muestras por categoría emocionales.

Considerando las emociones y personalidad de los niños en IFitKids

Tomando como base el trabajo para la identificación automática de los estados emocionales y el tipo de personalidad de los niños, las funcionalidades generales ofrecidas por IFitKids pueden personalizarse en dos clases:

- A partir del tipo de personalidad se puede elegir el tipo de misiones a ofrecer al jugador; definir el comportamiento de personajes no jugadores que interactúan con el usuario; el estilo de interacción utilizado para ofrecer información con objetivos de aprendizaje y evaluar el conocimiento del jugador; así como la narrativa del juego en general. Ejemplo de estas adaptaciones incluyen personalizar el nivel de dificultad de las misiones dentro del juego, en jugadores detectados con alta ansiedad para no causarles un estrés excesivo. Otro ejemplo es ofrecer misiones competitivas o colaborativas a jugadores con alta extraversión para motivarlos mediante una mayor interacción social.
- A partir de los estados emocionales que se vayan detectando a lo largo del juego, la dificultad de cada misión puede adaptarse al tipo de emoción detectada (tanto positivas como negativas), así como el contenido de los mensajes motivantes y persuasivos ofrecidos al jugador.

Además, se pueden personalizar los gestores específicos de la siguiente manera. El tipo de personalidad detectado complementará los datos del usuario en el gestor de información. El tipo de personalidad también lo puede utilizar el gestor de motivación-persuasión para personalizar el contenido de los mensajes y elegir la mejor manera de informar el desempeño del jugador. Este mismo gestor también puede utilizar la personalidad para elegir el tipo de retos y misiones que se deben cumplir. El gestor de cambio de comportamiento, a su vez, puede usar la información de la personalidad para definir las metas que el jugador debería alcanzar, el tipo de recompensas para el jugador, y el estilo de apoyo social que se le ofrece durante el juego.

De manera complementaria, los gestores de aprendizaje y de actividad física pueden utilizar los estados emocionales del jugador para adecuar el nivel de dificultad o intensidad de los ejercicios ofrecidos. Por ejemplo, si se detectan emociones positivas, la intensidad de los ejercicios físicos puede incrementarse; similarmente, el nivel de complejidad en las actividades de aprendizaje también puede incrementarse. Por el contrario, si se detectan emociones negativas, el juego puede ofrecer pausas en las actividades físicas o explicar de manera diferente los contenidos de aprendizaje, y así decrementar el nivel de dificultad de estas actividades.

Hacia la implementación de un IFitKids consciente de las emociones y la personalidad

Si bien nuestro grupo de investigación ya ha obtenido resultados positivos con IFitKids y además con algunos métodos automáticos para la identificación de emociones y de personalidad en niños [5, 9], estos elementos aún no se han integrado. Dicha integración implicaría tener una versión de IFitKids consciente de las emociones y la personalidad de los usuarios; sin embargo, para lograrlo es necesario resolver algunos retos importantes como los que se mencionan a continuación.

Uno de ellos es la manera de incentivar al jugador para que se exprese oralmente al inicio del juego (para así detectar su personalidad) y durante el desarrollo de las misiones del juego (para detectar sus diversos estados emocionales). Una estrategia puede ser incorporar, durante la introducción y presentación del juego, una actividad para que los niños se expresen lo suficiente para llevar a cabo la detección automática de su personalidad. Por ejemplo, esto puede hacerse incorporando un avatar que además de presentar las características y objetivo del juego, le haga preguntas directas al niño (ej., nombre, edad, gustos e intereses) con el fin de que éste se exprese de manera verbal. Al final de cada misión, el avatar también le puede preguntar su opinión acerca de su experiencia de juego con el objetivo de afinar la detección automática de su personalidad.

Para reconocer automáticamente el estado emocional del jugador, es necesario que sus expresiones verbales se recaben y analicen de manera continua a lo largo del juego, lo cual también es un reto interesante sobre todo en aquellos niños no tan expresivos. Una posible evolución de IFitKids es una versión multi-jugador. En esta versión, los niños pueden colaborar o competir entre ellos y utilizar audífonos y micrófonos para comunicarse, lo cual es bastante habitual en los actuales videojuegos comerciales de entretenimiento. De este modo, las misiones pueden irse adaptando a las emociones positivas o negativas detectadas para mejorar la experiencia del jugador acorde a sus características personales.

Otra estrategia es complementar estos métodos automáticos basados en voz con la información recolectada a través del sensor Kinect. También se pueden incorporar otras acciones del jugador y así desarrollar modelos de clasificación multi-modal. De manera complementaria, también es importante considerar información adicional del niño para que la adecuación de las mecánicas del juego basadas en la personalidad y las emociones tengan un efecto positivo en los objetivos de aprendizaje y cambio de comportamiento. Algunas características como la edad y el sexo pueden ser importantes para complementar adecuadamente la información obtenida de la personalidad del niño y crear perfiles acordes a estas características de acuerdo a las diferentes etapas de desarrollo del niño. Otro factor a considerar es que la respuesta emocional a ciertas acciones en sistemas interactivos presenta importantes diferencias en distintos rangos de edad en los niños [9].

La evolución de IFitKids para desarrollar una versión consciente de las emociones y de la personalidad de los jugadores permitirá estudiar si la adecuación de los contenidos y las mecánicas del juego, de acuerdo a las características individuales del jugador, mejora los resultados actuales. Lo anterior es un ejemplo claro del beneficio que la inteligencia artificial aporta a los sistemas de interacción humano computadora como son los videojuegos serios.

Conclusiones

Actualmente existe una tendencia creciente en desarrollar videojuegos serios para salud que tengan la capacidad de adaptarse automáticamente, y en tiempo real, a las características y necesidades particulares de los usuarios. Se destacan los estados emocionales y los tipos de personalidad como las características principales a considerar. La aplicación de estos videojuegos en entornos reales demanda métodos automáticos no invasivos de identificación y reconocimiento de estas características individuales.

En este artículo se describe el trabajo de investigación realizado para desarrollar una plataforma personalizable de videojuegos serios de salud diseñada para niños. También se describe el trabajo realizado en el desarrollo de métodos automáticos basados en voz para detectar la personalidad y estados emocionales en niños. La incorporación de dichos métodos en la plataforma desarrollada

plantea retos importantes relacionados con incentivar al jugador para expresarse por medio de voz, complementar los métodos desarrollados con información del sensor Kinect y desarrollar métodos automáticos de adaptación de la mecánica y contenido de IFitKids de acuerdo a las emociones y personalidad del jugador.*

REFERENCIAS

1. Khaled, R., Barr, P., Biddle, R., Fischer, R., y Noble, J. (2009). Game design strategies for collectivist persuasion. En *Proceedings of the 2009 ACM SIGGRAPH Symposium on video games*, 31-38.
 2. Berkovsky, S., Coombe, M., Freyne, J., Bhandari, D., y Baghaei, N. (2010). Physical activity motivating games: virtual rewards for real activity. En *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 243-252.
 3. Orji, R., Mandryk, R.L., y Vassileva, J. (2017). Improving the efficacy of games for change using personalization models. En *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 24(5), 1-22.
 4. Robinson, R., Wiley, K., Rezaeivahdati, A., Klarkowski, M., y Mandryk, R.L. (2020). Let's Get Physiological, Physiological! A Systematic Review of Affective Gaming. En *Proceedings of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*, 132-147.
 5. Pérez-Espinosa, H., Gutiérrez-Serafin, B., Martínez-Miranda, J., y Espinosa-Curiel, I.E. (2022). Automatic Children's Personality Assessment from Emotional Speech. *Expert Systems with Applications*, 187.
 6. Espinosa-Curiel, I.E., Pozas-Bogarin, E.E., Lozano-Salas, J.L., Martínez-Miranda, J., Delgado-Pérez, E.E., y Estrada-Zamarrón, L.S. (2020). Nutritional education and promotion of healthy eating behaviors among Mexican children through video games: design and pilot test of foodratemaster. *JMIR serious games* 8(2).
 7. Busso, C., Deng, Z., Yildirim, S., Bulut, M., Lee, C.M., Kazemzadeh, A., y Narayanan, S. (2004). Analysis of emotion recognition using facial expressions, speech and multimodal information. En *Proceedings of the 6th international conference on Multimodal interfaces*, 205-211.
 8. Ekman, P. (2003). Emotions Revealed: Recognizing Faces and Feelings to Improve Communication and Emotional Life. *Times Books*.
 9. Pérez-Espinosa, H., Martínez-Miranda, J., Avila-George, H., y Espinosa-Curiel, I.E. (2018). Analyzing children's affective reactions and preferences towards social robots using paralinguistic and self-reported information. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 34(5), 3313-3324.
 10. Porter, R.B., Cattell, R.B. (1985). Handbook for the children's personality questionnaire: (CPQ). Institute for personality and Ability Testing.
-

SOBRE LOS AUTORES



Ismael Espinosa-Curiel es Ing. en Sistemas Computacionales por el Instituto Tecnológico de Tepic, y tienen una maestría y doctorado en Ciencias de la Computación por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). Sus intereses de investigación se enfocan en interacción humano-computadora, diseño de sistemas interactivos, cómputo persuasivo, y videojuegos serios. Es investigador titular en la Unidad Nayarit del CICESE (CICESE-UT3) y es miembro del Sistema Nacional de Investigadores nivel I.



Humberto Pérez-Espinosa recibió el grado de Licenciado en Ciencias Computacionales en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) en 2004, el grado de Maestro en Ciencias Computacionales en 2006, y el grado de Doctor en Ciencias Computacionales en el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) en 2013. Sus intereses de investigación incluyen el aprendizaje de máquina, computación afectiva, computación paralingüística y el análisis inteligente de audio. Se desempeña como investigador titular en la unidad Nayarit del CICESE (CICESE-UT3) y es miembro del Sistema Nacional de Investigadores nivel I.



Juan Martínez-Miranda es Ing. en Sistemas Computacionales por el Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, tiene una maestría en Inteligencia Artificial por la Universidad Politécnica de Cataluña y un doctorado en Ingeniería Informática por la Universidad Complutense de Madrid. Ha trabajado como investigador en el Parque Científico de Barcelona, el Instituto Austriaco de Investigación en Inteligencia Artificial, la Universidad Politécnica de Valencia y actualmente es investigador titular en la unidad Nayarit del CICESE (CICESE-UT3). Es miembro nivel I del Sistema Nacional de Investigadores y sus intereses de investigación incluyen los sistemas multi-agentes, interacción humano-computadora y computación afectiva.



José Alberto Fernández-Zepeda Obtuvo los grados de Ingeniero Mecánico Electricista y Maestro en Ingeniería Eléctrica en la UNAM, en 1991 y 1994, respectivamente. Obtuvo el grado de Doctor en Filosofía en la Universidad Estatal de Luisiana en 1999. Desde el 2000, se desempeña como investigador titular en el Departamento de Ciencias de la Computación de CICESE. Es miembro nivel I del Sistema Nacional de Investigadores y sus interés de investigación se centran en el análisis y diseño de algoritmos.

Publique en Komputer Sapiens



ARTÍCULO ACEPTADO

¿Cómo los coches autónomos “hablarán” con las personas?

Juan Guerreo-Ibañez, Juan Contreras-Castillo y Pedro C. Santana-Mancilla

Introducción

En las últimas décadas, la industria automotriz ha evolucionado a pasos agigantados, impulsada por áreas como la computación, la electrónica y las comunicaciones. Esto ha cambiado el rumbo de la tecnología hacia la creación de coches más autónomos, creando el concepto conocido como coche autónomo (CA). Este concepto hace referencia a un coche que realiza la tarea de conducción sin la intervención de un conductor humano.

Para lograr esta meta, varias compañías como Volvo, BMW, Toyota y Mercedes Benz han invertido en la creación de un coche completamente autónomo en la próxima década. Sin embargo, la automatización se va desarrollando de manera paulatina, y en este sentido, la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE – por sus siglas en inglés Society of Automotive Engineers) definió niveles de autonomía de un coche que van desde un nivel sin asistencia automatizada, en el cual el conductor realiza todas las tareas en todo momento, hasta un nivel donde el coche tiene el control completo sin ninguna intervención humana (Figura 1) [1].

Sin embargo, los avances tecnológicos están modificando la relación entre el coche y las personas. En este sentido el conductor y el coche se han convertido en compañeros que controlan las actividades de conducción, coordinando la observación y reacción a cualquier situación externa. La clave de esta actividad compartida es identificar cómo se distribuyen cada una de las actividades de conducción.

En la medida que, el nivel de autonomía del coche se incrementa un elemento que puede ser la diferencia entre el éxito o fracaso de los CA es la interacción con los peatones. La interacción es muy relevante y compleja, ya que actualmente existen prácticas al momento de interactuar (entre usuarios de la carretera y CA) que no son posibles con coches sin conductor. Es común que el conductor y el peatón tengan una interacción informal mediante contacto visual, expresiones faciales o intercambien señales con la mano [2] aunque no nos percatemos, porque es algo que hacemos comúnmente; cuando decidimos cru-

zar un paso de cebra, las señales o expresiones que nos transmite el conductor influyen nuestro comportamiento y reacciones ante el coche; por ejemplo, verificamos si el conductor viene distraído, si tiene la intención de frenar o arrancar, o si mediante alguna señal nos cede el paso, entre otras interacciones.

Esta transformación tecnológica en el entorno de conducción vendrá acompañada de una transformación social ya que esa comunicación informal como alternativa a las regulaciones y reglas oficiales no existirá explícitamente [3]. Sin estos indicadores visuales, los peatones pueden sentirse inseguros o incluso poner en riesgo su vida. Aún más, aunque el CA haya detectado adecuadamente la intención de los peatones con ayuda de sus sensores y los algoritmos de inteligencia artificial aún queda la incertidumbre de cómo se comunicará directamente con los humanos.

Por esta razón, el nuevo entorno de conducción vial requerirá desarrollar elementos que permitan una interacción fluida y rápida e inteligente entre los CA y el entorno humano que los rodea, con el fin de permitir a los CA identificar lo que están haciendo los peatones ubicados dentro de su entorno de conducción para reaccionar o anticiparse en consecuencia a las acciones que decidan tomar. Además, las interfaces de interacción deben indicar a los peatones sobre el estado del coche y su comportamiento futuro. Al lograrse estos dos objetivos, se maximizará la seguridad y eficiencia para todos los usuarios del entorno vial y se incrementará la confianza y la aceptación de los CA.

Diversos estudios aplican interfaces humano-máquina que utilizan superficies externas alrededor del coche, conocidas como *External Human-Machine Interfaces* (eHMI), como una posible solución a los problemas de comunicación y difusión de información relevante (estado interno, aceleración y desaceleración del coche) hacia los usuarios del entorno vial [4]. En este trabajo se realiza una descripción de los trabajos más importantes en el área de interacción peatón-CA.

La interacción coche-peatón marcará diferencia entre el éxito o fracaso de la autonomía del coche.

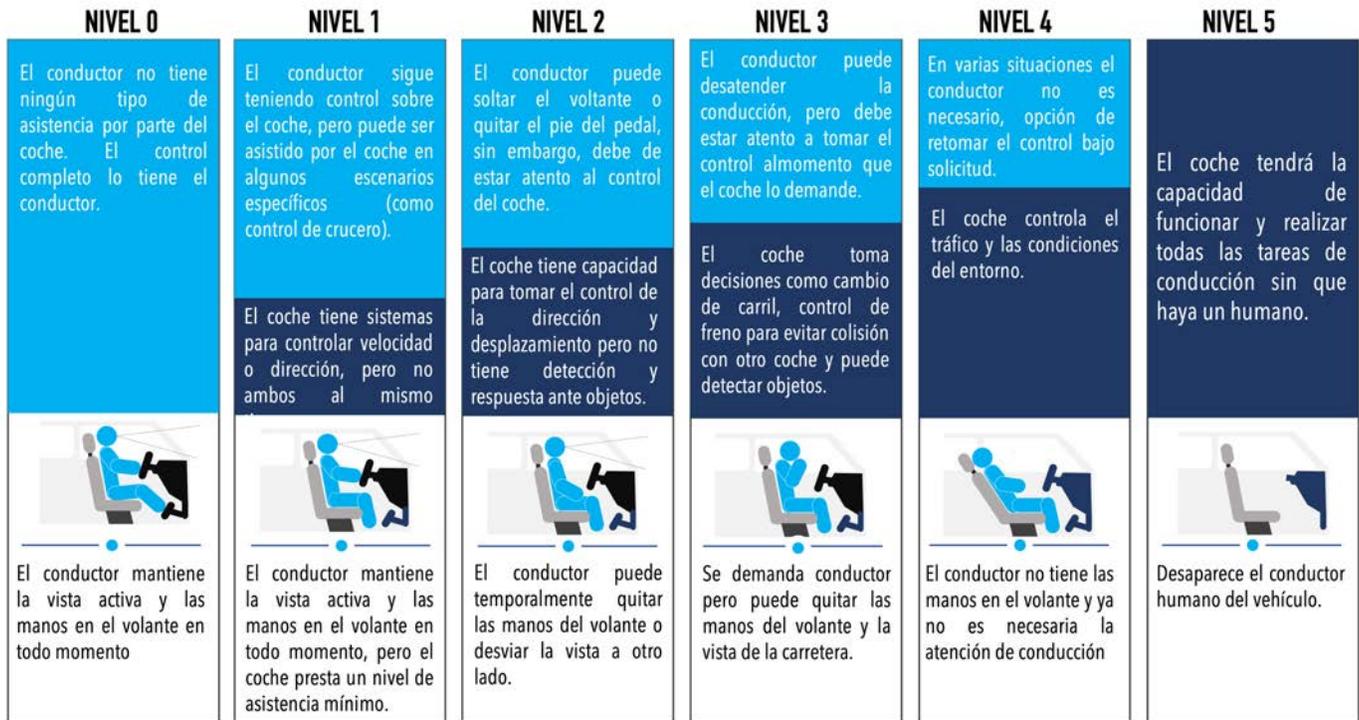


Figura 1. Descripción general de los niveles de autonomía definidos por el SAE.

Interfaces Externas Humano-Máquina para interacción peatón-CA

Con respecto a interfaces para interacción peatón-CA se han estudiado diferentes tecnologías y se han desarrollado una serie de prototipos por parte de fabricantes automotrices, compañías tecnológicas y grupos de investigación que se describen a continuación:

La comunicación actual entre peatones y coches se realiza de manera visual y auditiva, por lo que se desea conservar esta modalidad para que pueda ser fácilmente interpretada por los peatones. A continuación, mencionamos algunas tecnologías importantes que ayudarán a una mejor interacción entre peatones y CA.

Sensores

Los sensores realizarán la detección de los diferentes usuarios de la carretera y la identificación de objetos y características; esa información permitirá al coche predecir el comportamiento del peatón y enviarle la notificación más adecuada de acuerdo con la situación detectada. La Figura 2 muestra la ubicación de los sensores más utilizados para la detección de objetos y situaciones dentro del entorno de conducción del CA. El sistema de control del coche utiliza sensores (radares, LiDAR y cámaras) que trabajan sincronizados para detectar a los peatones y calcular la distancia a la que se encuentran, permitiendo al CA determinar patrones de movimiento, calcular su interferencia en la trayectoria y definir su interacción

con el peatón (frenar, desviarse o simplemente enviar un mensaje de comunicación mediante una interfaz).

Interfaces visuales

Una gran parte de las propuestas de interfaces eHMI se centran en el canal visual de comunicación peatón-CA. A continuación, se muestran algunas interfaces propuestas.

- **Pantallas:** Es uno de los primeros conceptos que se usó como sistema de interacción peatón-CA, del cual Google obtuvo su patente en el 2012 [5]. El concepto básicamente define una pantalla que se utiliza para desplegar mensajes mediante texto o iconos que pueden ubicarse en el frente o en la parte trasera del coche. Unos prototipos utilizan este concepto para desplegar mensajes de intención simples como “cruzar” o “alto” o mensajes compuestos como “esperándote para cruzar” para indicarle al peatón la acción que debería de realizar (Figura 3a). Además, puede desplegar su modo de operación mediante mensajes como “persona conduciendo” o “conducción autónoma” para notificarle a todos los usuarios del entorno vial que el coche está siendo controlado por un conductor humano o sin la asistencia de un conductor humano. Otros prototipos usan expresiones o gestos más amigables para el peatón (Figura 3b). El coche despliega un gesto para indicarle al peatón que: 1) ya fue detectado y 2) que se detendrá para cederle el paso.

En este sentido Semcom [6] desarrolló su interfaz “Smiling car”, donde despliega un gesto de “sonrisa” para comunicar la intención del coche. Cuando el coche detecta al peatón se despliega ese gesto para indicarle al peatón que es seguro cruzar.

- **Tiras de luces:** La interfaz utiliza luces leds ubicadas en el parabrisas o en la parrilla del coche (Figura 3c). Cuando un peatón es detectado las luces leds comienzan a parpadear. Por otro lado, para notificar la intención se utiliza una luz fija con diferentes colores tales como rojo (para que el peatón se detenga) o verde (para que el peatón cruce). Se ha demostrado que este tipo de interfaz, por su simplicidad y su ubicación no requieren entrenamiento a los peatones ya que es un tipo de código conocido ampliamente y que les permite a los peatones entender cuando es seguro cruzar [7].
- **Hologramas o proyecciones:** Es propuesta para difundir información hacia el exterior mediante su proyección (Figura 3d). La interfaz utiliza laser para proyectar información relevante sobre la superficie, por ejemplo, cuando el coche detecta que un peatón está esperando para cruzar la calle se proyecta una imagen o texto para indicarle al peatón que puede hacerlo con seguridad. Mercedes Benz usa una matriz de led para comunicación mediante texto y luces, además mediante un sistema de proyección laser despliega información en la calle, tal como un paso de cebra para indicarle al peatón que puede cruzar de forma segura [8].
- **Luces de frenos frontales:** La interfaz utiliza señales de frenado en la parte frontal del coche (Figura 3e). Conserva la idea de que ese tipo de señalización es ampliamente conocido por los peatones por lo tanto es intuitiva y fácil de implementar. Con respecto a esta interfaz se realizó un estudio [9] que demostró que este concepto ayudó a los peatones a tomar la decisión para cruzar la avenida mediante la identificación de la velocidad y desaceleración de un coche aproximándose.
- **Ojos virtuales:** En los últimos años ha surgido la idea de simular el contacto visual con los peatones. Mediante el rastreo de peatones y la simulación de una interfaz que muestre el “movimiento de ojos” del falso conductor (Figura 3f). Algunas propuestas hacen uso de luces que siguen el movimiento del peatón cuando éste es detectado por el coche. Algunos trabajos recientes colocaron un par de ojos falsos para hacer contacto visual con los peatones, cubriendo la carencia de contacto visual conductor-peatón. Este tipo de interfaz busca ser una forma de comunicación más intuitiva para los peatones [10].

Interfaces auditivas

La interfaz se usa como complemento a las interfaces visuales para extender la transmisión del mensaje a las personas con impedimentos visuales. Este tipo de conceptos ya se ha implementado en los sistemas de semáforos audibles, la idea de este nuevo concepto es incluir mensajes verbales claros y concisos tales como “Es seguro cruzar”.

Retos y oportunidades

Si bien es cierto que hay muchas propuestas de interacción entre el peatón y los coches autónomos, existen varios retos pendientes que deben ser resueltos en los próximos años.

- **Estandarización:** Si los coches quieren expresarse, necesitarán utilizar un lenguaje que sea entendible por todos los peatones. Es necesario crear una interfaz comprensible, que no necesite un nuevo aprendizaje para los peatones, la interfaz debe de ser indiscutiblemente clara, que no se necesite aprender un nuevo código o tipo de señales. La estandarización ayudará en la aceptación de los coches autónomos por parte de los usuarios.
- **Ubicación y número de las interfaces:** Otro de los retos a resolver está enfocado a la ubicación de las diferentes interfaces de interacción, ¿cuántas interfaces se deben de colocar? ¿cuál es el lugar más adecuado para ubicarlas?, con base en su ubicación ¿qué información debo desplegar en cada una de ellas? Supongamos una situación en la que hay dos coches, uno detrás de otro, y el coche delantero detecta a un peatón que desea cruzar, entonces si se tienen dos interfaces una en la parte frontal y otra en la parte trasera del coche, se podría desplegar un mensaje en la interfaz delantera “es seguro cruzar” indicándole al peatón que se le cede el paso y en la interfaz trasera se proyectaría “peatón cruzando” por si el coche que viene en la parte de atrás está siendo controlado por un conductor humano.
- **Información compartida:** Otro de los retos a los que se enfrentan las interfaces eHMI es ¿cuál es la información que el coche autónomo debe compartir o desplegar? Esa es una pregunta que no se ha contestado actualmente. Por ejemplo, el coche podría desplegar información de su estatus (modo de conducción automatizada o modo asistido), percepción del coche (peatón detectado) o la intención del coche (ceder el paso al peatón o continuar su curso).
- **Interfaces amigables:** Otro de los retos es generar interfaces que no haga diferencia entre los grupos de peatones, es decir, debe ser una interfaz

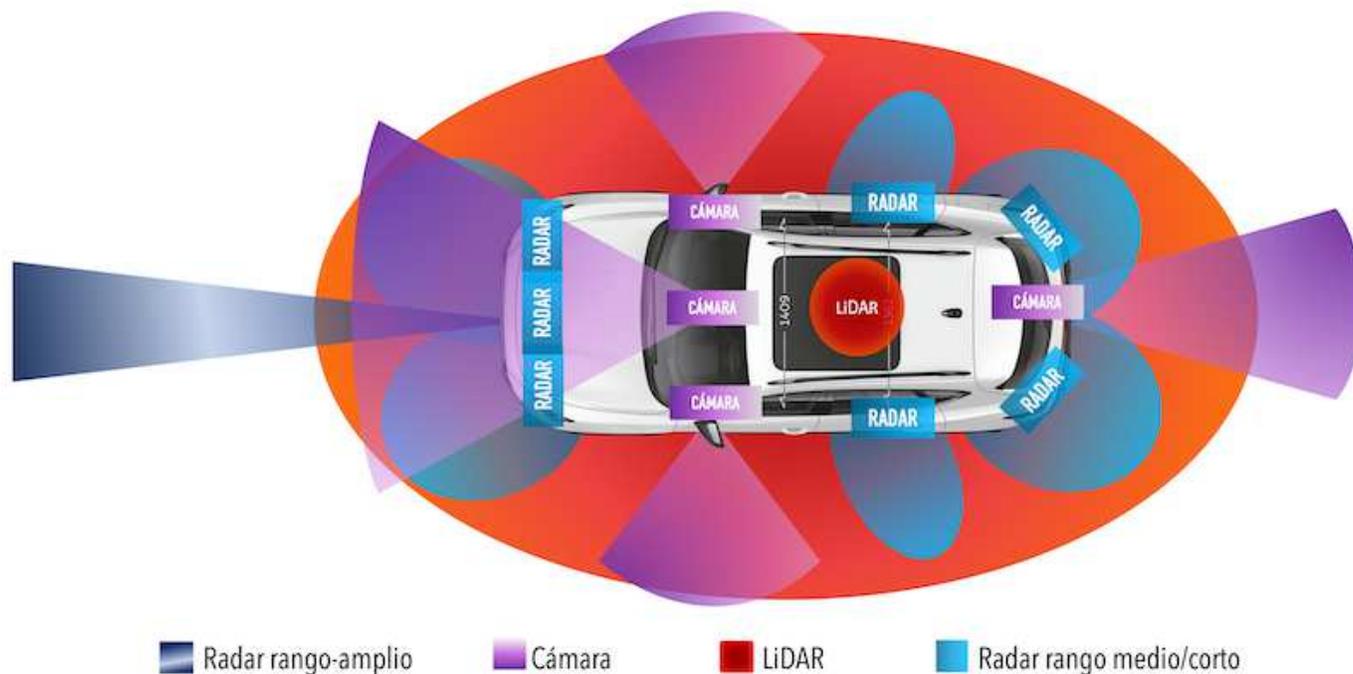


Figura 2. Tipo de sensores y ubicación en un coche.

inclusiva y entendible para todos los grupos: niños, jóvenes, adultos, adultos mayores.

- **Interfaces multi-modales:** Se refiere a la generación o creación de interfaces multi-modales que sean incluyentes, es decir, interfaces que no solamente sean visuales, sino que también sean auditivas para incrementar la inclusión social.
- **Educación de los peatones:** Finalmente, se requiere crear programas de entrenamiento para familiarizar a las personas con los CA y cómo interactuar con ellos. Los estudios de comportamiento humano frente a este tipo de coches han encontrado diversas reacciones que van desde el miedo hasta aquellas personas que tratan de engañar al coche autónomo para probar su inteligencia, comportamiento que puede ocasionar accidentes.

Conclusiones

La precisión con la que la Inteligencia Artificial es capaz de detectar peatones u otros usuarios de las carreteras y evitar colisionar con ellos, ha logrado un grado importante de efectividad. Sin embargo, fallas recientes en los coches autónomos han causado accidentes, poniendo en riesgo la adopción exitosa de los coches con grados de autonomía en el espacio público. Por eso, las compañías y científicos están trabajando en complementar los algoritmos de detección con interfaces de comunicación directas con las personas.

Este trabajo ha explorado algunos de los retos más importantes que se requieren resolver para mejorar esta Interacción Hombre-Máquina, por un lado, un robot inteligente como lo son los coches autónomos, y por el otro las personas que interactúan con ellos en las calles y carreteras. Las eHMI han hecho más eficiente la comunicación coche autónomo-peatón, introduciendo elementos visuales y auditivos en la interacción, logrando que los peatones sean siempre conscientes del estado del coche, brindándoles una sensación mayor de seguridad. *

REFERENCIAS

1. Society of Automotive Engineers. (2016). SAE J3016 Levels of driving automation. Recuperado el 20 de agosto de 2021, de <https://www.sae.org/binaries/content/gallery/cm/articles/news/2018/12/j3016-levels-of-driving-automation-12-10.jpg>.
2. Kitazaki, S. y Myhre, N.J. (2015). Effects of Non-Verbal Communication Cues on Decisions and Confidence of Drivers at an Uncontrolled Intersection. Public Policy Center: Iowa, IA, USA. 113-119.
3. Stanciu, S.C., Eby, D.W., Molnar, L.J., St. Louis, R.M., Zanier, N., y Kostyniuk, L.P. (2018). Pedestrians/bicyclists and autonomous vehicles: how will they communicate?. *Transportation Res. Rec.*, 2672, 58-66.
4. Rettenmaier, M., Albers, D., y Bengler, K. (2020). After you?! – Use of external human-machine interfaces in road bottleneck scenarios. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 70, 175-190.
5. Urmson C.P., Mahon I.J., Dolgov D.A. y Zhu J. (2015). Pedestrian Notifications. US8954252B1. *Google Patents*.
6. Semcon. (2021). Self-Driving Car that sees you. Recuperado el 22 de Agosto de 2021, de <https://semcon.com/smilingcar/>.

7. Habibovic, A., Andersson, J., Lundgren, V.M., Klingegård, M., Englund, C. y Larsson, S. (2019). External Vehicle Interfaces for Communication with Other Road Users?. En Meyer G., Beiker S. (eds) *Road Vehicle Automation 5. Lecture Notes in Mobility*. Springer Cham. 91-102.
8. Kessels, C. (2021). The eHMI: How autonomous cars will communicate with the outside world. Recuperado el 22 de Agosto de 2021, de <https://www.theturnsignalblog.com/blog/ehmi/>.
9. Petzoldt, T., Schleinitz, K. y Banse, R. (2018). Potential safety effects of a frontal brake light for motor vehicles. *IET Intelligent Transportation Systems*, 12, 449-453.
10. Chang C.-M., Toda K., Sakamoto D. y Igarashi T. (2017). Eyes on a Car: An Interface Design for Communication between an Autonomous Car and a Pedestrian. En *Proceedings of the 9th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*. Oldenburg, Germany. 65-73.

SOBRE LOS AUTORES



Juan Guerrero-Ibañez es profesor e investigador de tiempo completo de la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Es ingeniero en sistemas computacionales y maestro en ciencias área telemática por la Universidad de Colima. Obtuvo el grado de doctor en ingeniería telemática por la Universidad Politécnica de Cataluña. Es miembro Nivel 1 del Sistema Nacional de Investigadores del CONACYT y líder del cuerpo académico Redes y Telecomunicaciones. Sus intereses de investigación son los vehículos autónomos y conectados, el Internet de las Cosas y sistemas inteligentes, y las redes de sensores.



Juan Contreras-Castillo obtuvo su licenciatura en sistemas computacionales por la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad de Colima en 1996 y la maestría en Ciencias de la Computación por el Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE) en 1998. Es Doctor en Electrónica y Telecomunicaciones por el CICESE. Es Investigador Nacional Nivel 1 del Sistema Nacional de Investigadores del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Sus intereses de investigación son redes vehiculares, redes de sensores y sistemas inteligentes.



Pedro C. Santana-Mancilla es profesor e investigador de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Sus intereses de investigación se centran en la Interacción Humano-Computadora, Internet de las Cosas y Sistemas Inteligentes, y Tecnologías de apoyo a adultos mayores y al aprendizaje. Es miembro de la Academia Mexicana de Computación, se desempeña como presidente de la Asociación Mexicana de Interacción Humano-Computadora y líder del cuerpo académico de Ambientes inteligentes, interactivos y accesibles. Ha publicado diversos textos científicos y de divulgación en libros, revistas y congresos académicos.

“La Inteligencia Artificial en los coches”



Imagen tomada de:

<https://revistacentrozaragoza.com/el-presente-y-futuro-de-la-inteligencia-artificial-ia-en-los-coches/>.

ARTÍCULO ACEPTADO

Interacción espacial humano-robot, robots de servicio en asistencia al adulto mayor

Adrian Loya Sabido, Jorge Ríos Martínez y Jorge Gómez Montalvo

Introducción

El envejecimiento es un proceso irreversible que genera limitaciones en las habilidades y capacidades de las personas. Estudios demográficos muestran un incremento de población en los adultos de la tercera edad, además, un análisis realizado por la Organización Panamericana de la Salud (paho.org) estima que para el 2030, 1 de cada 6 personas tendrán 60 años o más. El INEGI reporta en su último censo 2020 que el 12 por ciento de la población en México era de adultos mayores y que la edad mediana era de 29 años. Se puede considerar que México es joven, sin embargo, se deben atender las necesidades de la tercera edad antes de que sea un problema.

Por otro lado, la pandemia de COVID-19 está siendo mucho más grave con la población adulta mayor y en general se ha insistido en la reducción de interacción física entre humanos. En ese contexto, el uso de la tecnología y en particular el empleo de robots de servicio ha atraído la atención del público en general. Un ejemplo de tales propuestas son plataformas robóticas que monitorean la salud física de adultos mayores a distancia, les ayudan a encontrar objetos, les recuerdan la hora de sus actividades o incluso promueven su salud mental mediante juegos interactivos [1]. En este trabajo se discute una propuesta para mejorar la interacción espacial de los robots de servicio que dan asistencia a adultos mayores.



Figura 1. Interacción entre un adulto mayor y el robot NAO de SoftBank Robotics. Imagen de: www.softbankrobotics.com.

Los robots de servicio operan de manera parcial o completamente autónoma realizando tareas al servicio

de personas o equipamiento. En esta clasificación se excluyen los robots de manufactura. Las aplicaciones en robótica de servicio van desde el transporte de objetos y vigilancia hasta limpieza de hogares o entretenimiento de personas (Figura 1). Comercialmente la robótica de servicios representa un mercado factible, ejemplo de ello son empresas como MistyRobotics o Amazon con su robot Astro que ya ofrecen plataformas para desarrollar aplicaciones de asistencia.

Muchos ejemplos pueden encontrarse en la literatura donde robots asisten a las personas con éxito en aplicaciones específicas, a la fecha no hay una que presuma de ser una solución integral. Una capacidad fundamental que deberán tener los robots de asistencia será la de adaptarse al ambiente y a la persona asistida mientras se desplazan, lo que se conoce como navegación autónoma consciente del contexto [2]. El contexto involucra no solamente aspectos físicos que pueden obtenerse con los sensores sino también aspectos sociales de la gestión del espacio [3], características tanto de objetos como de personas y las posibilidades de interacción que se den entre ellos. La interacción de interés en este artículo es la espacial, es decir, aquella que se produce de manera implícita cuando el robot navega a la derecha porque es la convención social seguida por la persona asistida o cuando modifica su velocidad de acuerdo con las características del adulto mayor o incluso cuando navega al espacio de la cocina no por una orden directa sino porque es la hora de la comida e infiere que se requerirá de sus servicios. La Interacción Espacial Humano-Robot es así el estudio del movimiento conjunto de robots y humanos en el mismo espacio y las señales sociales que gobiernan esas acciones.

Se puede lograr la navegación autónoma consciente del contexto empleando técnicas de representación del conocimiento como las ontologías ([4], [5]) junto con la navegación que usa mapas semánticos. Dotar a un robot con ese modelo le permitirá mejorar su gestión del espacio y su interacción con el adulto mayor sobre todo cuando las condiciones para tomar decisiones de navegación cambian.

Navegación Autónoma Consciente del Contexto

La navegación autónoma consiste en el movimiento de un robot sin la supervisión de una persona. Para un robot, navegar en un ambiente interior involucra, al menos,

cuatro etapas: percepción, de mapeo y localización, planeación y ejecución. El proceso de percepción se basa en recolectar información del medio con el uso de sensores. El proceso de mapeo y localización simultánea permite crear mapas que concentran la información general de los objetos que se encuentran alrededor, además, esta información se utiliza después para determinar la localización del robot en el ambiente durante la ejecución. El proceso de planeación define cómo el robot realizará la misión de navegación asignada, para esto el robot intenta diseñar una ruta que le permita navegar de su posición actual a la posición objetivo evadiendo obstáculos. Por último, el proceso de ejecución se basa en el uso de los actuadores del robot para realizar el plan diseñado por el robot y así cumplir la misión asignada.

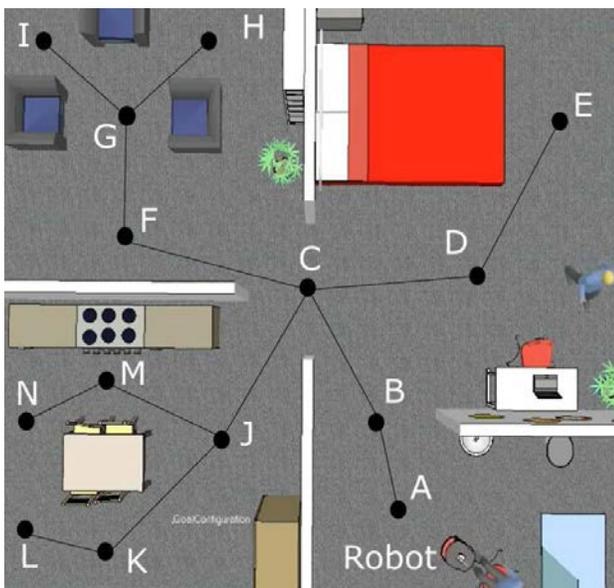


Figura 2. Un mapa topológico captura la conectividad del espacio donde conviven el robot y los humanos.

Los métodos actuales de navegación autónoma capturan las características del espacio de navegación con mapas. Uno de los más básicos es el mapa de celdas de ocupación el cual describe la posición (x,y) y la altura de los objetos, es decir, tienen la información para describir la posición espacial exacta de cualquier obstáculo. En estos se discretiza el espacio en forma de cuadrícula ya sea en dos o tres dimensiones.

Otro tipo de mapa es el topológico el cual se genera a partir de representaciones del espacio obtenidas mediante los sensores del robot. A dichas representaciones se les aplican algoritmos, por ejemplo, Diagramas de Voronoi, que recuperan la conectividad del espacio. La Figura 2 muestra un mapa topológico, un grafo que representa posiciones de interés en el ambiente por medio de nodos y conexiones entre ellos medio de aristas. Esta información puede usarse en conjunto con los mapas de celdas

de ocupación durante la navegación ya que capturan información espacial global de manera muy compacta.

Los mapas básicos anteriores pueden enriquecerse utilizando inteligencia artificial. Por ejemplo, en los mapas semánticos se añaden etiquetas a los obstáculos reconocidos en el ambiente. Es común el uso de redes neuronales artificiales para identificar, por ejemplo, muros, personas o sillas. Las personas son un tipo especial de objeto con características dinámicas. Un algoritmo de detección de objetos que puede emplearse involucra el uso de redes neuronales convolucionales, fue propuesto por Redmon en [6] y se conoce como You Only Look Once (YOLO). Para obtener la región que ocupa el objeto pueden emplearse técnicas de segmentación de imágenes como Mask R-CNN desarrollada por Facebook.

En la Figura 3 se muestra la segmentación de una escena correspondiente a una calle en objetos que después serán proyectados a su posición en el mapa de celdas de ocupación para generar el mapa semántico.



Figura 3. En un mapa semántico, además de la información geométrica, se identifican y segmentan los objetos de la escena mediante inteligencia artificial. Imagen de theaisummer.com.

En la interacción espacial con adultos mayores esos mapas pueden no ser suficientes para que el robot obtenga toda la información del contexto en el que se encuentra ya que existe una ausencia de conocimiento con respecto a las relaciones entre los objetos y humanos dentro del medio, así como de las características particulares del adulto mayor. Por ejemplo, supongamos que el adulto asistido tiene una discapacidad motriz y requiere apoyo de un objeto físico para moverse a su baño a una hora definida. El robot al navegar podría obstruir el espacio de acción entre el adulto mayor y su apoyo, ya que, no tiene manera de incluir información de uso del objeto y ni de las actividades del humano durante el día, es decir, del contexto.

La herramienta que se puede usar para incrementar información del contexto son las ontologías [5]. Las ontologías son conceptualizaciones explícitas de las relaciones que existen entre los objetos de un medio, con estas herramientas se puede “razonar” acerca del conocimiento

disponible tanto del contexto físico como de las acciones y comportamiento del humano asistido. La Figura 4 muestra un extracto de las relaciones que pueden representarse entre los objetos de la casa de un adulto mayor. Estas relaciones pueden ser explotadas por el sistema de toma de decisiones de navegación para adaptar las trayectorias del robot. Además, otra ontología se puede incluir para representar las actividades del adulto mayor y los espacios donde las realiza con los objetos que emplea.

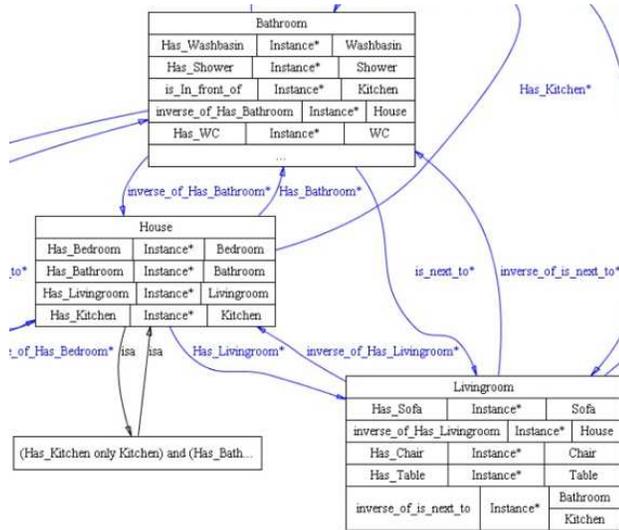


Figura 4. Extracto de una ontología para representar las relaciones espaciales de una casa generada con el software Protégé.

Una propuesta reciente de navegación autónoma consciente del contexto es la desarrollada por Joo et al [7], en ese trabajo se presenta un marco de trabajo compuesto de tres partes principales: un módulo de modelado semántico, un módulo de procesamiento de la información y un módulo de navegación semántica autónoma a lo que ellos le llamaron Tripletta Ontológica.

Generar consciencia del contexto durante la navegación permite al robot optimizar el tiempo de realización de sus tareas, además, el proceso de toma de decisiones tiene en cuenta las relaciones de los objetos y las necesidades particulares del adulto mayor.

Implicaciones para el diseño

Las ideas en esta sección completan el panorama para el diseño de soluciones de interacción espacial humano-robot que consideren el contexto. En este trabajo no se incluyeron por ser una prueba de concepto, pero las ontologías tienen la flexibilidad para incorporar tales ideas tanto en tiempo de diseño como en tiempo de ejecución.

Se deberá considerar el grado de aceptación del robot por parte de la persona asistida. El robot deberá desempeñar sus tareas de manera efectiva y al mismo tiempo

deberá lograr afectividad y apego en el adulto mayor para lograr una mejor interacción.

Otro aspecto es la facilidad de interacción o usabilidad, para esto se recomienda integrar una interfaz gráfica de usuario para simplificar el uso del sistema robótico [8].

En el mismo sentido, en el trabajo [9] se evalúan las características de un adulto mayor y se sugiere cómo diseñar un dispositivo tecnológico de acuerdo al perfil específico. Para discapacidad visual se recomienda el uso de interfaces amigables, en la discapacidad auditiva se recomienda un volumen ajustable, en la discapacidad motriz se recomienda el uso de pantallas con botones más grandes y en la discapacidad cognitiva se recomienda la retroalimentación con base en el puntaje de ciertas actividades mentales que puede realizar el adulto mayor.

Resumen de los principios y soluciones de diseño basados en el perfil del adulto mayor

Perfil del adulto mayor	Principios de diseño	Soluciones de Diseño
Ocular	Domesticación	Interfases amigables al usuario
	Sostenibilidad	Espacio entre elementos
	Atractivo emocional	Tamaño de fuente adaptable
	Atractivo Familiar	Contraste de Color
Auditivo	Satisfacción	Iluminación
	Usuario centrado	Volumen Ajustable
	Diseño de Privacidad	Respuesta por tecnología de voz
		Frecuencias de sonido adaptables
Motriz	Retroalimentación audible	Pantalla grande
		Botones Grandes
	Gesticulaciones mínimas	Menús simples
		Activación de control de objetivo
Cognitivo	Materiales no resbaladizos ni ligeros	Tiempo de acción incrementado
		Retroalimentación
	No tareas múltiples	Transparencia y controlabilidad
		Minimización de información
Asistencia de navegación	Textos en lugar de iconos	

Figura 5. Tabla de soluciones de diseño de acuerdo al perfil del adulto mayor, extraída de [9].

En general, mientras más capacidades de asistencia se implementen en el robot su costo se eleva haciéndolo poco rentable. Una idea a corto plazo para reducir costos es sacrificar la autonomía y enfocarse en mejorar la interacción en sistemas de telepresencia robótica.

Propuesta de navegación consciente del contexto

En esta sección se presenta la implementación de una navegación consciente del contexto, combinando mapas semánticos por celdas de ocupación con ontologías para mejorar la interacción espacial con el humano. El marco de trabajo elegido es el de [7] y los componentes de la arquitectura se muestran en la Figura 6.

Las herramientas seleccionadas para la implementación se describen brevemente a continuación. El elemento principal es ROS o Robot Operating System un software de tipo Middleware que permite comunicar diferentes módulos orientados a la robótica. Esos módulos contienen implementaciones de algoritmos del estado del

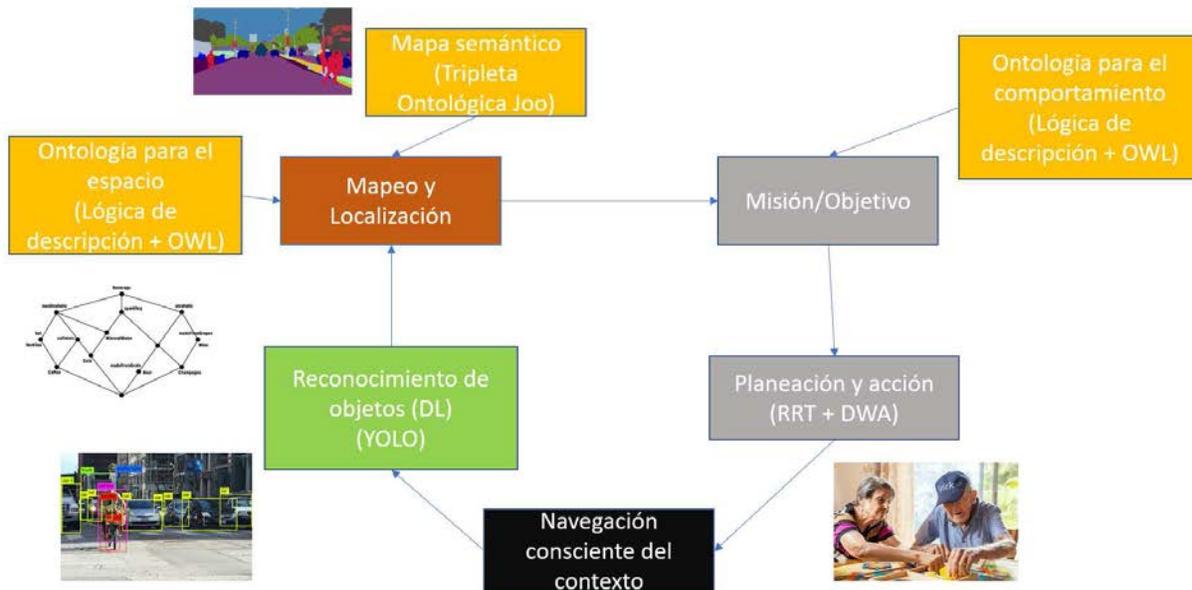


Figura 6. Implementación de la navegación consciente del contexto para aplicaciones de asistencia del adulto mayor.

arte. El reconocimiento de objetos se realiza con una biblioteca de software externa YOLO que se comunica con el módulo de percepción de ROS. El mapa de celdas de ocupación se construye con el paquete de software Gmapping (SLAM) usando una cámara de video RGB-D (simulada) para sustraer información del medio y la posterior localización del robot en el mapa se hace con el paquete de software AMCL. Por último, para el desarrollo de las ontologías se utiliza el lenguaje OWL de lógicas de descripción debido a que este lenguaje permite publicar y compartir datos mediante diferentes APIs que se comunican con ROS. La integración de todas estas herramientas se realiza en simulación en el software GAZEBO en una casa simple con un robot de tipo Turtlebot.

La tarea a desempeñar por el robot es la asistencia al adulto mayor en una llamada telefónica, la experimentación se lleva a cabo en el interior de una casa, considerando objetos dentro del recinto y restricciones como, la hora del día, el lugar específico donde se encuentra el adulto mayor. Con base en estas características el robot debe comportarse como se define en la ontología. Este escenario funciona como una prueba de concepto para la navegación autónoma de un robot que toma en cuenta aspectos del espacio físico y de las características del humano para mejorar la interacción espacial entre ambos. Para fines de validación este escenario se repetirá al menos en 50 ocasiones desde diferentes posiciones del robot y del humano. Además, se compararán resultados con la navegación autónoma estándar ya implementada en ROS para analizar diferencias en términos de tiempo y de gestión del espacio compartido.

Conclusiones

La navegación consciente del contexto propone mejorar el funcionamiento de la navegación autónoma de robots incluyendo elementos como el conocimiento de las relaciones entre los objetos y el conocimiento de las actividades de los humanos que comparten el espacio de dichos robots. Este modelo permite que, variando el diseño de las ontologías se obtenga un comportamiento acorde al nuevo contexto sin realizar cambios en el código de la navegación autónoma.

En este artículo se presentó una implementación del modelo anterior para la asistencia de adultos mayores con base en un marco de trabajo preexistente. La interacción espacial humano-robot resulta beneficiada ya que el robot tiene más información del contexto y se puede adaptar a las características del humano asistido.

Se discutió un trabajo para sistemas robóticos basados en navegación consciente del contexto con el enfoque de efectividad y se plantearon implicaciones en el diseño de esos sistemas. Se planteó la necesidad de incluir un estudio de usabilidad para la interacción con el sistema y aún más la introducción de técnicas para generar apego entre el humano y el robot, con esto la aceptación de este dispositivo por el adulto mayor se incrementará.

La interacción entre robots dotados de inteligencia artificial con los humanos es algo que debemos afrontar ya que conforme avanzan los años estas nuevas tecnologías se introducen en los hogares.

La interacción espacial de máquinas con adultos mayores es una tarea compleja. Este hecho ha sido demostrado con la gran cantidad de trabajos que se han propuesto en esa dirección con éxitos muy específicos, quizás es tiempo

de comenzar a integrarlos en una sola propuesta flexible como la que se propone aquí. En el corto plazo usar robots como herramientas de telepresencia puede ser una solución factible combinando navegación autónoma con el conocimiento del contexto del operador humano.

Por último se puede mencionar que los resultados finales de esta investigación se orientan a mejorar la calidad de vida del adulto mayor y a ampliar la perspectiva que se tiene acerca de la navegación consciente del contexto, por lo tanto, el mundo de la inteligencia artificial puede dar un gran paso hacia un futuro en el que las máquinas comiencen a exhibir consciencia del contexto similar a la humana.*

REFERENCIAS

1. Coşar, S., Fernandez-Carmona, M., Agrigoroaie, R., Pages, J., Ferland, F., Zhao, F., Yue, S., Bellotto, N. y Tapus, A. (2020). ENRICHME: Perception and interaction of an assistive robot for the elderly at home. *Springer Science and Business Media LLC*, 12(3), 779-805.
2. van Engelenburg, S., Janssen, M. y Klievink, B. (2019). Designing context-aware systems: A method for understanding and analysing context in practice. *Elsevier BV*, 103, 79-104.
3. Ríos-Martínez, J., Spalanzani, A. y Laugier, C. (2015). From proxemics theory to socially-aware navigation: A survey. *International Journal of Social Robotics*, 7, 137-153.
4. Gómez-Montalvo, J., Carrillo, C., Basto, L., Moo-Mena, F. y Meléndez, V. (2020). Opaieh: An ontology-based platform for activity identification of the elderly at home. *Computación y Sistemas*, 24, 481-495.
5. Hyun, G., Hong, I., y Suh, H. (2011). Ontology-based unified robot knowledge for service robots in indoor environments. *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, 41(3), 492-509.
6. Redmon, J. y Farhadi, A. (2017). YOLO9000: Better, faster, stronger. *IEEE*.
7. Joo, S., Manzoor, S., Goncalves, Y., Bae, S., Lee, S., Kuc, T. y Kim, M. (2020). Autonomous navigation framework for intelligent robots based on a semantic environment modeling. *MDPI AG*, 10(9), 3219.
8. Wang, M., Pan, C. y Kumar, P. (2021). Technology entrepreneurship in developing countries: Role of telepresence robots in healthcare. *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, 49(1):20-26.
9. Iancu, I. y Iancu, B. Designing mobile technology for elderly. a theoretical overview. *Elsevier BV*, 155, 119977.

SOBRE LOS AUTORES



Adrian Fernando Loya Sabido es Ingeniero Mecatrónico por la Universidad Autónoma de Yucatán, actualmente se encuentra estudiando el grado de Maestría en Ciencias de la Computación en la Universidad Autónoma de Yucatán. Su pasión principal es la automatización robótica y la implementación de las nuevas tecnologías creadas a partir de las ciencias de la computación aplicadas en el área de robótica.



Jorge Ricardo Gómez Montalvo Obtuvo en el año 2012 el grado de doctor por parte del Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas de Toulouse Francia. Actualmente, el Dr. Gómez Montalvo trabaja en la Facultad de Matemáticas de la Universidad Autónoma de Yucatán. Sus áreas de interés incluyen sistemas conscientes del contexto, representación del conocimiento, vida asistida por el entorno y gerontecnología.



Jorge Alberto Ríos Martínez Obtuvo los grados de Licenciado en Ciencias de la Computación y Maestro en Ciencias Matemáticas en la UADY, en 2002 y 2007, respectivamente. Obtuvo el grado de Doctor en Informática y Matemáticas aplicadas en la Universidad de Grenoble, Francia en 2013. Desde el 2013, se desempeña como profesor de tiempo completo en la Facultad de Matemáticas de la UADY. Sus intereses de investigación se centran en la robótica móvil y en aplicaciones del aprendizaje de máquina.

ARTÍCULO ACEPTADO

Agentes Conversacionales Personificados: Sistemas Inteligentes para la Interacción Humano - Computadora

Juan Martínez-Miranda

Introducción

El surgimiento del área de Interacción Humano-Computadora como disciplina dentro de las ciencias computacionales se puede ver estrechamente relacionado con el desarrollo de las computadoras personales en la década de los 70 del siglo pasado. A partir de los 80s, cuando el uso de estas computadoras personales se comenzó a realizar de manera masiva, fue evidente la necesidad de diseñar interfaces de usuario amigables y fáciles de utilizar por el público general sin conocimientos especializados de los sistemas operativos. La evolución de esta área ha pasado del desarrollo de interfaces de usuario útiles y amigables a la construcción de sistemas interactivos con capacidades de adaptarse a las características de éste para motivarlo e involucrarlo activamente en la ejecución de una determinada tarea.

El desarrollo de estos sistemas interactivos se ha dado en gran medida gracias al avance y aplicación de técnicas de Inteligencia Artificial. Un ejemplo claro de esto son los asistentes virtuales basados en voz como Alexa de Amazon o Siri de Apple, los cuales facilitan la comunicación con el usuario emulando una conversación de persona a persona. Estos sistemas conversacionales implementan técnicas de aprendizaje automático, tales como las redes neuronales, para mejorar el reconocimiento y procesamiento del lenguaje natural, generando así diálogos cada vez más coherentes y manteniendo conversaciones de las cuales se extrae información que puede ser utilizada para mejorar las capacidades de estos sistemas.

Cuando estos sistemas conversacionales son desarrollados con una apariencia humana, se denominan agentes conversacionales personificados (o en inglés Embodiment Conversational Agents - ECAs) [1]. La principal diferencia entre estos agentes conversacionales personificados y los asistentes virtuales de voz, es que los primeros implementan además de una comunicación verbal, una comunicación no verbal mediante expresiones faciales y movimientos corporales.

Esto hace que la interacción con un agente conversacional personificado sea todavía más parecida a la comunicación que se da de persona a persona y puede llegar a generar un vínculo social y un mayor nivel de confianza en el usuario, lo cual es un aspecto clave para conseguir un mayor nivel de adherencia de los usuarios hacia estos sistemas.

Un agente conversacional personificado es un ente autónomo cuyo comportamiento durante la interacción con el usuario es generado automáticamente por algoritmos que procesan la entrada del usuario (la cual puede ser mediante voz o acciones en la aplicación), y generan respuestas específicas tanto cognitivas como emocionales expresadas hacia el usuario mediante una comunicación verbal y no verbal. Dadas sus características, estos agentes han sido ampliamente utilizados en aplicaciones de entretenimiento (en videojuegos como personajes no controlados por el jugador); aprendizaje (como tutores virtuales); comercio electrónico (para ofrecer ayuda inmediata al comprador); culturales (como guías virtuales en museos) y de salud (en aplicaciones para ayudar al tratamiento remoto de ciertas patologías).

En las siguientes secciones se describe una de las estrategias para generar de manera automática el comportamiento de estos agentes, se presentan ejemplos de aplicación de este tipo de interfaces de interacción y se describen algunas consideraciones de diseño y éticas que deben tomarse en cuenta para su desarrollo.

Generación del Comportamiento

Como ya se ha mencionado, una de las principales ventajas de los agentes conversacionales personificados es su capacidad de comunicación no verbal. A través de sus expresiones faciales y movimientos corporales se puede complementar y reforzar lo que se desea comunicar al usuario. Es importante que este tipo de comunicación sea coherente de acuerdo al contexto de la aplicación para que el agente sea percibido de manera positiva. A través de las expresiones faciales, el agente puede comunicar diferentes estados emocionales que refuercen el mensaje que se quiere transmitir y, en muchas ocasiones, generar una empatía que ayude a construir una relación de confianza con el usuario.

El proceso de generar de manera automática estas reacciones emocionales en el agente está estrechamente relacionado con la generación de un comportamiento *inteligente*. Estudios actuales demuestran la importancia de las emociones en procesos cognitivos tales como la percepción, el aprendizaje, la comunicación y la toma de decisiones, por mencionar algunos [2]. De este modo, la idea de las emociones como un componente básico de la inteligencia ha propiciado el desarrollo de modelos y

arquitecturas computacionales de emociones con el objetivo de construir sistemas inteligentes.

Estas arquitecturas y modelos computacionales de emociones están basadas en diferentes teorías psicológicas y de las ciencias cognitivas. Algunos de estos modelos y arquitecturas, las teorías en las que se basan, así como sus principales características pueden consultarse en [3]. Una de las teorías más implementada por parte de los actuales modelos computacionales de emociones es la teoría de valoración cognitiva [4]. Esta teoría postula que los eventos que ocurren en el entorno de una persona son constantemente percibidos y evaluados por el individuo. Este proceso de evaluación (o valoración) produce una respuesta emocional (de acuerdo a la relevancia que el evento detectado tiene para la persona), y a su vez, esta respuesta emocional produce un comportamiento para hacer frente al evento o eventos percibidos.

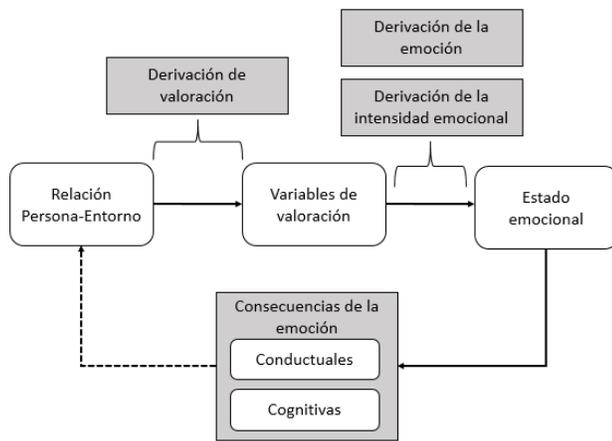


Figura 1. Componentes principales de un modelo computacional de emociones basado en la valoración cognitiva (adaptado de [3]).

La Figura 1 muestra los componentes principales de un modelo computacional basado en la teoría de valoración cognitiva de las emociones (ver detalles en [3]). El componente *relación persona-entorno* define la relación entre los eventos (reales o ficticios) percibidos y las metas, creencias o preferencias internas del individuo (agente). El componente *derivación de valoración* transforma la relación persona-entorno en un conjunto de *variables de valoración*, por ejemplo la *deseabilidad* indicando qué tan deseable/indeseable es el evento percibido (en función de las metas), o si lo percibido es algo *atractivo* o no (en función de las preferencias del agente). Los componentes *derivación de la emoción* y *derivación de la intensidad emocional* realizan el mapeo entre las variables de valoración y un estado emocional específico. Por ejemplo, si un evento es valorado como *indeseable* porque inhibe la consecución de una meta muy importante, la

emoción generada será negativa (ej. *frustración*) con una *alta intensidad*, dada la importancia de la meta inhibida.

Finalmente, el estado emocional generado produce un conjunto de respuestas cognitivas y/o conductuales para hacer frente al evento percibido. Las respuestas conductuales incluyen por ejemplo las expresiones faciales asociadas al estado emocional y el conjunto de acciones a realizar para hacer frente al evento detectado. Las respuestas cognitivas incluyen aquellas que pueden alterar las percepciones, preferencias o metas del agente. El resultado de estas respuestas conductuales y cognitivas a su vez puede modificar el entorno de la persona, creando nuevos eventos que volverán a ser valorados y producir un nuevo comportamiento en el agente.

Una de las razones por las cuales esta teoría es la más utilizada en modelos computacionales es la clara conexión entre las partes cognitiva y emocional, las cuales ayudan a generar comportamientos complejos -similares a los humanos- en sistemas artificiales. La implementación de modelos emocionales basados en la teoría de valoración cognitiva ha permitido el desarrollo de agentes conversacionales personificados que son utilizados para diferentes objetivos. En la siguiente sección se describen brevemente tres ejemplos de aplicación desarrollados con fines de aprendizaje y de ayuda al tratamiento en el área de la salud mental.

Aplicaciones

Aprendizaje

Una de las aplicaciones para la cual se han desarrollado los agentes conversacionales personificados es para facilitar el aprendizaje de diversas temáticas. Estos agentes pueden tomar el rol de un tutor virtual para complementar la explicación textual de los contenidos de aprendizaje a los estudiantes, o como personajes en escenarios simulados para facilitar el aprendizaje a través de la práctica (*learning by doing*) en un ambiente controlado. De este segundo tipo es el agente desarrollado en el contexto de un proyecto Europeo ¹ cuyo objetivo fue el desarrollo de un conjunto de juegos serios (es decir, juegos cuyo objetivo principal no es únicamente el entretenimiento sino facilitar el aprendizaje) para la enseñanza de diferentes dinámicas de colaboración, tanto a nivel organizacional como a nivel grupal e individual.

Uno de los juegos desarrollados consistió en presentarle al jugador una misión en la que debería llevar a cabo diferentes acciones para reducir la resistencia al cambio y facilitar la adopción de un nuevo sistema a un grupo de 22 directivos de una compañía ficticia. Estas acciones consistían, entre algunas otras, en solicitar reuniones cara a cara con alguno(s) directivo(s), impartir talleres para dar a conocer el nuevo sistema, llevar a cabo una prueba piloto del nuevo sistema, o enviar memorándums.

¹ http://cordis.europa.eu/project/rcn/80582_en.html

Cada una de estas acciones produce un efecto positivo o negativo para la adopción del nuevo sistema dependiendo de los directivos a los que se involucraban y el momento (dentro de un tiempo simulado) en que se implementan.



Figura 2. Agente Intermediario con personalidad *agradable* (arriba) y *desagradable* (abajo) [5].

Sin embargo, el jugador no podía implementar las iniciativas directamente en el juego sino a través de un agente intermediario con el que debía mantener una interacción a través de diálogos pre-definidos [5]. Este agente intermediario se desarrolló con el objetivo de poner en práctica estrategias de colaboración a nivel individual. En particular, se consideraron factores que determinan la motivación y capacidad de colaboración a partir de

intercambios conversacionales interpersonales y la posibilidad de influirlas a través de este tipo de interacción. Dependiendo del tipo de frases elegidas por el usuario desde el inicio de la interacción, y cómo el diálogo iba evolucionando, la relación interpersonal con el agente se iba construyendo fundamentada en los conceptos de *confianza* y *responsabilidad*.

Adicionalmente, se modelaron dos tipos de personalidad antagónicas en el agente intermediario: de manera aleatoria algunos jugadores interactuaban con un agente con personalidad *agradable* y otros con su opuesto (*desagradable*) (ver Figura 2). Estas personalidades se reflejan en el tipo de valoración que hace el agente a los diálogos elegidos y a las iniciativas solicitadas por el usuario. A partir de esta valoración, se generaban las respuestas (incluyendo las emocionales) hacia el usuario. Durante el transcurso del tiempo simulado y dependiendo del nivel de confianza alcanzado, el agente podría ser más o menos colaborativo.

En la modalidad colaborativa, el agente implementaba las iniciativas solicitadas por el usuario, le daba información que podría ser útil para alcanzar la misión e incluso implementar directamente aquellas iniciativas que generaran un resultado positivo. Por el contrario, un agente no colaborativo podría no hacer caso de las solicitudes del usuario o bien cambiar las iniciativas solicitadas por otras con un resultado negativo para la misión del juego. Al finalizar el juego, e independientemente de si el jugador lograba o no la misión encomendada, la persona que impartía la capacitación ofrecía una sesión de discusión y reflexión para valorar los diferentes aspectos, acciones y resultados obtenidos.

Salud Mental

Otra de las áreas de aplicación para la cual se han desarrollado diferentes agentes conversacionales personificados es la de salud. Un ejemplo de estas aplicaciones es la desarrollada en otro proyecto Europeo denominado Help4Mood². En este proyecto se desarrolló un agente conversacional personificado (Figura 3) para apoyar el tratamiento remoto de personas diagnosticadas con depresión mayor [6], [7]. La funcionalidad principal de este agente era la de obtener, a través de sesiones cortas de interacción, información del paciente sobre su estado de ánimo, patrones de sueño, cuáles eran los pensamientos positivos y negativos que tenía recurrentemente así como recomendar ejercicios y actividades que le ayudaran a mantener un mejor estado de ánimo. Todas las preguntas y actividades recomendadas por el agente estuvieron basadas en la terapia cognitivo-conductual, una de las más utilizadas en psicoterapia.

La característica principal de este agente es la incorporación de un modelo de empatía terapéutica para

²<https://cordis.europa.eu/project/id/248765>

la generación de respuestas emocionales adecuadas hacia los usuarios. Una preocupación de los especialistas clínicos era que el agente pudiera mostrar reacciones empáticas como respuesta a los estados emocionales o situaciones negativas reportadas por el usuario durante la interacción. Adoptar una emoción -empáticamente- negativa similar a la reportada por el usuario, podría ser clínicamente contraproducente tomando en cuenta las características de los usuarios objetivo. Debido a esto, en el modelo interno de generación de emociones se incluyó un mecanismo de regulación de emociones para modular la intensidad, y en consecuencia las respuestas, asociadas a estados de ánimo negativos.



Figura 3. Agente conversacional personificado como ayuda al tratamiento de la depresión mayor [6].

La implementación del mecanismo de regulación emocional se basó en el modelo de regulación de emociones propuesto por J.J. Gross [8], implementando dos de las cinco estrategias de regulación: la *re-valoración cognitiva* y la *modulación de la respuesta*. La primera de ellas consiste en buscar un significado alternativo a un evento inicialmente valorado como negativo. Por ejemplo, si durante la sesión interactiva, el usuario reporta al agente que siente un estado de ánimo bajo, inicialmente el agente puede valorar este evento como algo negativo en función de su meta de ayudar a mantener un buen estado de ánimo en el usuario. Sin embargo, el mecanismo de regulación emocional implementado realiza una búsqueda de alternativas posibles al evento detectado. En el ejemplo, el agente puede consultar en su memoria interna, cuál ha sido el estado de ánimo reportado por el usuario en las sesiones pasadas. Si se encuentra una tendencia de mejoría en el estado de ánimo respecto a lo reportado anteriormente, esto ayuda a re-valorar el evento como algo no tan negativo y esto a su vez se utiliza para informar al usuario de que a pesar de tener actualmente un estado de ánimo bajo, su condición ha presentado una mejoría, lo cual es algo positivo.

En el caso de que no se encuentre una alternativa positiva a un evento valorado inicialmente como negativo,

el mecanismo de regulación emocional implementa la segunda estrategia: modular la intensidad de la emoción negativa de acuerdo a unos valores que pueden predefinirse con base en la significancia de los eventos detectados durante la interacción con el usuario. De este modo, las reacciones emocionales negativas del agente no serán tan intensas evitando que sean interpretadas de manera incorrecta por parte del usuario.

En un proyecto más reciente y financiado por el CONACyT, se desarrolló un agente conversacional personificado como la principal interfaz de interacción en una aplicación móvil (ver Figura 4) para ayuda al tratamiento de personas detectadas con alguna conducta suicida: ideación, planeación o intento. Estas conductas suicidas están asociadas en un buen porcentaje a diversos problemas de salud mental, y existe ya evidencia de los beneficios que los agentes conversacionales personificados pueden aportar para la identificación, prevención y seguimiento de este tipo de conductas [9]. De manera similar al agente descrito previamente, el objetivo principal del agente desarrollado en este proyecto fue el de recabar información relevante del usuario asociada a la conducta suicida detectada y ofrecer actividades que le ayudaran a minimizar el riesgo de una recaída. Estas actividades, basadas en la terapia cognitivo-conductual, incluían ejercicios de relajación, identificación y abordaje de una problemática y recomendaciones de activación conductual.



Figura 4. Agente conversacional personificado para el tratamiento de personas detectadas con conductas suicidas [10].

Una de las diferencias principales, respecto al agente dirigido a personas con depresión mayor, es la implementación de un algoritmo para valorar el posible nivel de riesgo de suicidio del usuario. Utilizando un conjunto de datos tomados de la historia clínica psicológica del paciente y la información generada durante las sesiones interactivas previas con el agente, se estima un posible riesgo de suicidio. En caso de que el resultado arroje un riesgo alto de suicidio, se envían alertas vía SMS a un conjunto de personas -elegidas por el propio usuario- para promover un contacto directo. Estos SMS incluyen,

previo consentimiento del usuario, su geolocalización para facilitar el contacto directo con el objetivo de evitar la ocurrencia del acto suicida.

Es importante señalar que la recomendación para el uso de este agente conversacional personificado es una decisión del especialista clínico tomando en cuenta las condiciones particulares de cada paciente, así como la familiaridad y accesibilidad que cada persona tenga al uso de este tipo de herramientas tecnológicas. Antes de incorporarlo como un complemento al tratamiento clínico, este agente fue evaluado con un grupo inicial de usuarios obteniendo resultados positivos en términos de aceptabilidad, usabilidad y utilidad percibida como complemento al tratamiento psicoterapéutico [10]. Desde finales del año 2019 esta aplicación está siendo utilizada por diferentes unidades de salud pertenecientes a los Servicios de Salud de Nayarit.

Consideraciones de Diseño y Aspectos Éticos

Los ejemplos descritos en la sección anterior demuestran que los agentes conversacionales personificados pueden ser una herramienta bastante útil para facilitar la interacción humano-computadora y mejorar la experiencia del usuario en aplicaciones con diferentes objetivos. Sin embargo, es importante tener en cuenta las características particulares de los usuarios a los que van dirigidos, así como un conjunto de aspectos éticos durante las fases de diseño y desarrollo de estos agentes. Desde las fases iniciales de diseño en las que se definen las características del agente tales como la apariencia, sexo, edad, vestuario, tono de voz, etc., es importante involucrar a un grupo de usuarios finales para tomar en cuenta sus preferencias y maximizar la aceptabilidad de los agentes. Una buena estrategia en aquellas aplicaciones en la que es necesario mantener varias sesiones interactivas a lo largo del tiempo es definir un conjunto de agentes con diferentes características. De este modo, el usuario podrá elegir el agente con el que se sienta más cómodo para interactuar durante diferentes sesiones y ofrecerle siempre la oportunidad de cambiar y probar con un agente diferente.

Un aspecto importante para generar confianza en el usuario es presentar adecuadamente los objetivos y limitaciones del agente conversacional personificado. Para esto, se recomienda que durante la primera sesión interactiva, el propio agente describa cuál es su funcionalidad, dejar claro que no hay ninguna persona real detrás del agente (y las limitaciones que esto representa), y ofrecer alternativas para poder contactar a una persona en caso de ser necesario. En aquellas aplicaciones que recolectan información del usuario, se debe también explicar claramente qué tipo de información se almacenará, quién tendrá acceso a estos datos y para qué se utilizarán, así como pedir el consentimiento del usuario para esto.

Como ya se ha mencionado, una de las ventajas de estos agentes conversacionales es el poder representar reacciones emocionales que ayuden a tener un comportamiento realista y generen una relación de confianza con el usuario. Sin embargo, es importante tener en cuenta el efecto que ciertas emociones podrían provocar en usuarios con determinadas características. Se deben buscar estrategias y modelos para que las emociones mostradas por el agente hacia el usuario -y el nivel de intensidad de las mismas- sean las adecuadas según el contexto de la aplicación.

A pesar de que uno de los principales objetivos de estas interfaces es promover un alto nivel de adherencia en los usuarios hacia la aplicación, es también importante considerar estrategias para que esta adherencia no se convierta en adicción y una vez alcanzado el objetivo de la aplicación, el usuario pueda prescindir de estas sesiones interactivas sin mayores consecuencias. Particularmente para su uso en aplicaciones de aprendizaje y salud como las presentadas en este artículo, estos agentes deben verse como una herramienta complementaria a los servicios otorgados por el especialista (tutor o clínico), el cual debe identificar y supervisar la manera de utilización, así como el periodo de uso adecuado que maximicen los beneficios otorgados por estos agentes interactivos.

Conclusiones

Los agentes conversacionales personificados son una herramienta avanzada de Interacción Humano-Computadora en cuyo desarrollo se aplican diferentes técnicas de Inteligencia Artificial. Un componente principal de estos agentes es el mecanismo para generar de manera autónoma, un comportamiento cognitivo y emocional adecuado durante la interacción con el usuario. Dadas sus características de comunicación verbal y no verbal, la interacción con este tipo de interfaces es, para determinados contextos, más fácil, accesible y motivante para los usuarios. Las capacidades de interacción de estos agentes están en continuo desarrollo, incluyendo la detección automática de ciertas características en los usuarios, tales como estados emocionales, tipos de personalidad, perfiles socio-demográficos, preferencias, etc., para tener una interacción más personalizada con diferentes tipos de usuario. El desarrollo de nuevos y mejores algoritmos para el procesamiento del lenguaje natural, el análisis paralingüístico, o de visión por computadora están permitiendo generar una interacción multi-modal entre los agentes y los usuarios emulando aún más la comunicación que se da entre personas. Esto implicará que las ventajas ofrecidas por los agentes conversacionales personificados pueden ser aún mayores siempre que se tomen en cuenta buenas prácticas de diseño y cuestiones éticas durante su desarrollo.*

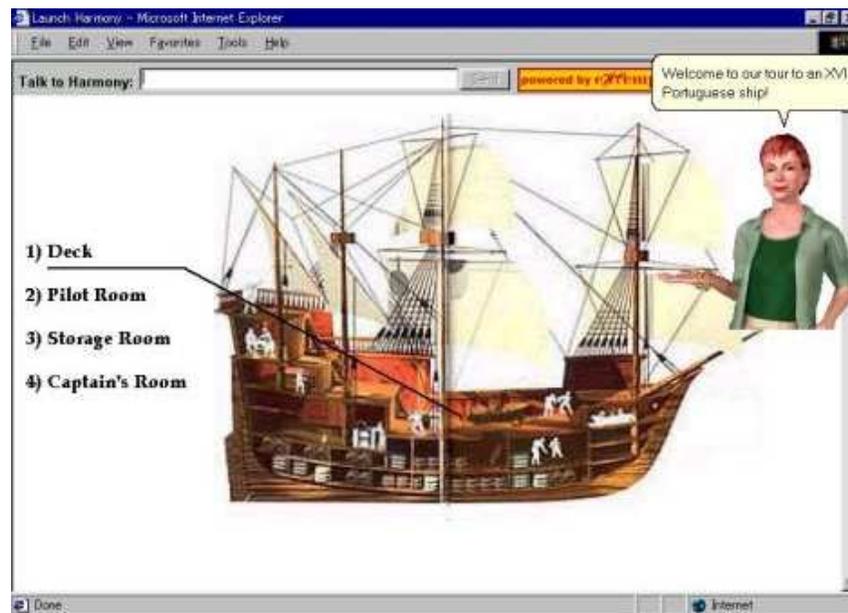
REFERENCIAS

1. Cassell, J., Sullivan, J., Prevost, S. y Churchill, E.F. (2000). *Embodied Conversational Agents*. The MIT Press.
2. Martínez-Miranda J. y Aldea A. (2005). Emotions in human and artificial intelligence. *Computers in Human Behavior*, 21(2), 323-341.
3. Marsella, S., Gratch, J., Petta, P. (2010). Computational Models of Emotion. En Scherer K. R., Bänziger T., Roesch E. B. (Eds.) *Blueprint for Affective Computing: A Sourcebook*. Chapter 1.2, 21-46.
4. Scherer, K.R., Schorr, A. y Johnstone., T. (2001). *Appraisal Processes in Emotion: Theory, Methods, Research*. Oxford University Press.
5. Martínez-Miranda, J., Jung, B., Payr, S. y Petta, P. (2008). The intermediary agent's brain: supporting learning to collaborate at the inter-personal level. En *Proc. of the 7th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, 3, 1277-1280.
6. Martínez-Miranda, J., Bresó, A., García-Gómez, J. M. (2014). Modelling two emotion regulation strategies as key features of therapeutic empathy. En Bosse T., Broekens J., Dias J., van der Zwaan J. (Eds.) *Emotion Modeling: Towards Pragmatic Computational Models of Affective Processes*, Springer, 115-133.
7. Martínez-Miranda J., Bresó A., García-Gómez J. M. (2014) "Look on the bright side: a model of cognitive change in virtual agents". En *Proc. 14th International Conference on Intelligent Virtual Agents (IVA 2014)*, pp. 285-294.
8. Gross, J.J., Thompson, R.A. (2007). Emotion regulation: conceptual foundations. En Gross J.J. (Ed.) *Handbook of Emotion Regulation*, The Guilford Press, New York, 3-24.
9. Martínez-Miranda J. (2017) "Embodied conversational agents for the detection and prevention of suicidal behaviour: current applications and open challenges". *Journal of medical systems*, Vol. 41, No. 9, pp. 1-14.
10. Martínez-Miranda, J., Martínez, A., Ramos, R., Aguilar, H., Jiménez, L., Arias, H., Rosales, G. y Valencia, E. (2019). Assessment of users' acceptability of a mobile-based embodied conversational agent for the prevention and detection of suicidal behaviour. *Journal of medical systems*, 43(8), 1-18.

SOBRE LOS AUTORES



Juan Martínez-Miranda es Ing. en Sistemas Computacionales por el Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, tiene una maestría en Inteligencia Artificial por la Universidad Politécnica de Cataluña y un doctorado en Ingeniería Informática por la Universidad Complutense de Madrid. Ha trabajado como investigador en el Parque Científico de Barcelona, el Instituto Austriaco de Investigación en Inteligencia Artificial, la Universidad Politécnica de Valencia y actualmente es investigador titular en la Unidad de Transferencia Tecnológica Tecpic (UT3) del CICESE. Es miembro nivel I del Sistema Nacional de Investigadores y sus intereses de investigación incluyen los sistemas multi-agentes, interacción humano-computadora y computación afectiva.



Un agente conversacional encarnado (ECA) es un ser humano virtual realista capaz de mantener conversaciones con humanos al comprender y producir el habla, los gestos con las manos y las expresiones faciales.

Imagen tomada de: https://www.chatbots.org/embodied_conversational_agent/.

ARTÍCULO ACEPTADO

Mouse Inalámbrico Controlado por Movimientos de Cabeza para Pacientes Tetraplégicos

Carlos Sánchez-López

Introducción

El mouse y el teclado son, sin ninguna duda, las más importantes y frecuentes interfaces humano-computadora utilizadas. Para la comunidad de personas con capacidades diferentes severas, sin embargo, el uso de estos dispositivos presenta un grave problema, ya que los usuarios tienen movimientos voluntarios limitados para comunicarse con su entorno. Algunos de ellos no solo pueden mover la cabeza, ojos y lengua, también pueden parpadear y realizar guiños de forma voluntaria. En este contexto, los dispositivos tecnológicos de asistencia se han desarrollado para ayudarlos a usar sus movimientos voluntarios, y así controlar no solo las computadoras, sino también sistemas electrónicos y mecánicos. Diferentes interfaces humano-computadora usan diferentes metodologías de diseño, y mientras que ninguna interfaz es perfecta, algunas son considerablemente más adecuadas para la interacción humano-computadora que otras. Un método para medir los movimientos relativos oculares es la técnica de seguimiento ocular [1], que se puede dividir en dos áreas. En la primera, se colocan electrodos sobre la piel alrededor del ojo para medir los cambios en la orientación de la deflexión de potencial que existe entre la córnea y la retina. Esta metodología se conoce como electrooculografía (EOG) [2]. Esta técnica requiere no solo que la cabeza esté inmóvil, exigiendo una alta concentración, sino también desde el punto de vista estético, ninguna persona con capacidades diferentes desearía tener muchos electrodos alambrados conectados sobre la cara. En la segunda área, se utiliza una cámara infrarroja, la cual se coloca sobre la pantalla de una computadora para rastrear algunas características del ojo y luego una computadora determina dónde está mirando el usuario. Esta técnica, aunque precisa y cara [3], no puede diferenciar entre una simple observación y la determinación de un punto de interés por parte del usuario. Por otro lado, el método de electromiografía (EMG) también se ha utilizado como interfaz hombre-máquina [4], donde las bioseñales provenientes de la contracción muscular se detectan mediante el uso de electrodos de superficie. Aunque esta técnica es no invasiva, su principal desventaja es el sistema de detección del biopotencial, el cual debe calibrarse para cada usuario y cada vez que se uti-

lice. Esta desventaja se debe a que para cada usuario, los datos recopilados se realizan durante una contracción mantenida (generalmente una fuerza constante), que es relativamente distinta para cada uno de ellos. Es importante señalar que en este artículo el término *no invasivo* se refiere a todos los métodos donde no es necesario realizar una cirugía para colocar sensores sobre el cuerpo humano. Por el contrario, el procesamiento de señales electroencefalográficas (EEG) [5] y electrocorticográficas (ECOG) [6] también se han utilizado ampliamente en interfaces hombre-máquina. En el primer método, utilizando una gorra con electrodos de superficie y colocada sobre el cuero cabelludo del usuario, se pueden capturar las señales cerebrales. Como consecuencia, varias interfaces cerebro-computadora han permitido el control directo de algunas aplicaciones que requieren alta resolución espacial y temporal, como cursores de computadora y teclados virtuales. A pesar de que la detección de señales EEG es un método no invasivo y ampliamente utilizado en interfaces hombre-máquina, su principal desventaja no solo es la adquisición de señales neurales, ya que a menudo se debe aplicar abrasión del cuero cabelludo y un gel conductor en cada electrodo de superficie para reducir la impedancia entre el cuero cabelludo y el electrodo, sino también se debe utilizar una caperuza con protección activa para 64 electrodos cableados del tipo Ag-AgCl sinterizados, y así evitar señales de interferencia. Nuevamente desde el punto de vista estético, a ninguna persona con capacidades diferentes le gustaría tener muchos electrodos alambrados conectados en la cabeza, y además, también se requiere una extensa capacitación del usuario para controlar la interfaz. Aunque el método EEG es seguro y económico, tiene una resolución espacial relativamente baja y es susceptible a interferencias como las señales EMG. En el segundo método, ECOG tiene mayor resolución espacial que EEG, ancho de banda amplio, mayor amplitud y menos vulnerabilidad a interferencias como EMG. Esto se debe a que la señal ECOG se registra mediante un conjunto de electrodos subdurales incrustados en una tira plana o rejilla que se coloca en la superficie subdural de la corteza cerebral. Por lo tanto, se requieren microelectrodos que penetren en la corteza.

Interfaces hombre-computadora utilizados por personas con capacidades diferentes deben ser higiénicos, no-invasivos, fáciles de usar y baratos.

Ya que ECOG es un procedimiento invasivo, se limita a pacientes que tienen implantes temporales de electrodos subdurales y cuya colocación de los electrodos está determinada por la necesidad clínica. Por lo tanto, la colocación de los electrodos varía entre los pacientes.

Debido a todas las limitaciones mencionadas, un considerable esfuerzo de investigación se ha centrado en el desarrollo de interfaces humano-computadora de bajo costo, no invasivas, higiénicas, precisas, robustas, estéticas, pequeñas, discretas e inalámbricas, con gran aceptación social y facilidad para ser utilizadas por personas con o sin discapacidad [1]-[6]. En este contexto, también se han reportado otras alternativas de interfaces humano-computadora, que utilizan técnicas de reconocimiento de silbido [7], voz y tarareo [8], etc. Otras interfaces se basan en el uso de la lengua [8], la boca [9] o la cabeza [10]. Sin embargo, aunque estas interfaces fueron desarrolladas para ayudar a la comunidad de personas con capacidades diferentes a operar computadoras, algunas de ellas no son realmente adecuadas, cómodas o convenientes para ser utilizadas por personas tetrapléjicas. Debido a que las interfaces desarrolladas a menudo son demasiado complicadas para ser utilizadas en el entorno operativo o demasiado caras, muchas familias de bajos ingresos no pueden permitirse comprarlas. Por ejemplo, en [10] se reporta un dispositivo controlado por la cabeza que utiliza dos sensores de inclinación. Este dispositivo se coloca en un auricular para determinar la posición de la cabeza. No obstante, son necesarios dos interruptores conectados en la mejilla del usuario para realizar un clic simple o doble y, como consecuencia, el dispositivo se vuelve difícil de controlar. Además, solo se controla el movimiento horizontal y vertical del cursor en la pantalla de la computadora. En [8] se informa de una interfaz inductiva lengua-computadora. La idea es cambiar la inductancia de una bobina de inducción con núcleo de aire, moviendo un material ferromagnético adherido directamente a la lengua. Ahora bien, las bobinas deben montarse en una placa palatina o retenedor dental, y la corriente que fluye a través de las bobinas debe aplicarse externamente, lo que resulta ser higiénica y cosméticamente inaceptable. En respuesta a esta necesidad, en este artículo se describe una nueva interfaz inalámbrica hombre-computadora de bajo costo basada en sensores infrarrojos y acelerómetros. La interfaz tiene pequeñas dimensiones, es no invasiva, discreta, estética e higiénica y consiste de tres elementos:

1. Detección de movimientos de la cabeza en dirección horizontal, vertical y diagonal mediante el uso de un acelerómetro colocado sobre un auricular. Para evitar dolores de cuello, se define un área de espacio libre y por lo tanto, el usuario puede moverse libremente sin ejecutar una instrucción.
2. Detección de guiños voluntarios basado en sensores infrarrojos y colocado en un par de gafas. Los guiños se utilizan para realizar un solo clic, hacer doble clic, arrastrar comandos y modificar archivos en la pantalla de la computadora, de manera similar a un mouse común.
3. Módulo de comunicación inalámbrica para transmitir los movimientos de la cabeza y los guiños voluntarios del usuario hacia la computadora y como una consecuencia, controlar el cursor en la pantalla de la computadora.

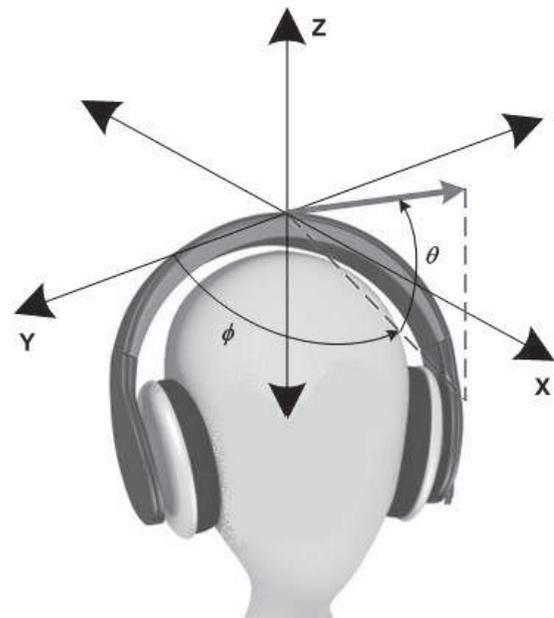


Figura 1. Angulos de inclinación para medir las fuerzas de aceleración estática en los ejes X y Y.

Los resultados indican que después de una sesión de capacitación de dos horas aproximadamente, las personas con o sin discapacidad pueden fácilmente utilizar la interfaz desarrollada.

Interfaces hombre-máquina tienen alta demanda porque mejoran la vida de personas tetrapléjicas y pueden comunicarse con su entorno.

Tabla 1. Voltajes de salida del acelerómetro respecto a sus ángulos de inclinación.

θ y ϕ	eje X (V)	eje Y (V)	Valor digital
-180°	2.5	2.5	No usado
-90°	1.5	1.5	76
0°	2.5	2.5	127
90°	3.5	3.5	178
180°	2.5	2.5	No usado

Por lo tanto, el dispositivo de interfaz humano-computadora proporciona grandes beneficios para la comunidad de personas con características tetrapléjicas y, por consiguiente, acceder al mundo a través de una computadora.

Detección de Movimientos de Cabeza

Un acelerómetro es un dispositivo electromecánico que mide las fuerzas de aceleración estáticas o dinámicas. En el primer caso, se puede medir el ángulo del dispositivo cuando está inclinado con respecto a la superficie de la tierra. En el segundo caso, se analiza la forma en que se mueve el dispositivo. En este trabajo, las fuerzas de aceleración estáticas debidas a la gravedad se miden y se utilizan para determinar la orientación de un objeto en el espacio. El acelerómetro ADXL203EB se coloca sobre un auricular y justo en el centro, donde se intersectan los ejes X, Y y Z, como se muestra en la Figura 1. Para este trabajo, el acelerómetro se utiliza para medir las aceleraciones de los ejes X y Y de los movimientos de la cabeza. El eje Z no se utiliza. Cuando los ejes X y Y del acelerómetro están orientados en paralelo a la superficie de la tierra, la única fuerza que actúa sobre el acelerómetro es la fuerza de gravedad y, por lo tanto, el ángulo de inclinación es el ángulo entre la fuerza de gravedad y el eje sensor del acelerómetro. Estos ángulos de inclinación se pueden calcular como

$$\begin{aligned}\theta &= \sin^{-1}\left(\frac{A_x}{g}\right) \\ \phi &= \sin^{-1}\left(\frac{A_y}{g}\right)\end{aligned}\quad (1)$$

donde A_x y A_y son salidas del acelerómetro, g es la aceleración debido a la gravedad, θ y ϕ son los ángulos de inclinación de los ejes X y Y, respectivamente. Debido a que las señales de salida del acelerómetro son voltajes en DC, estos valores se convierten a coordenadas (X,Y) para controlar el desplazamiento horizontal, vertical y diagonal del cursor del mouse en la pantalla de la computadora. La Tabla 1 muestra los voltajes de salida en los terminales X y Y del acelerómetro con respecto al ángulo de inclinación y de esta tabla, el rango de operación se selecciona en el intervalo de -90° a 90°. En esta tabla también se muestra el valor de cada voltaje en su formato digital. Para evitar dolores de cuello, se define un área de espacio libre de $\pm 8^\circ$ en cada eje X y Y. Por lo

tanto, el usuario puede moverse libremente sin ejecutar instrucciones. Por estas razones, los comandos de control para desplazar el cursor del mouse están en el rango: -90° a -8° y 8° a 90° para ambos ejes X y Y. Además, para lograr un buen rendimiento en el control del cursor del mouse, es deseable que la velocidad de desplazamiento del cursor sea proporcional a los ángulos de inclinación de la cabeza, es decir, si el ángulo de inclinación aumenta, la velocidad de desplazamiento del cursor también aumenta.

Dado que el desplazamiento del cursor del mouse depende de un tren de pulsos a una frecuencia de operación determinada, la cual se envía desde el mouse hacia la computadora, es evidente que esta frecuencia debe actualizarse de acuerdo con el ángulo de inclinación. Para lograr este objetivo, se introducen retrasos por cada valor digital entre los niveles binarios dados en la Tabla 1. Como una consecuencia, el movimiento horizontal, vertical o diagonal del cursor no es demasiado rápido ni demasiado lento, logrando una precisión exacta en la ubicación del cursor. Vale la pena destacar que los retrasos se calcularon experimentalmente a prueba y error, de tal forma que cuando el ángulo de inclinación es pequeño, el retraso es grande (del orden de milisegundos) y este disminuye cuando aumenta el ángulo de inclinación. Por ejemplo, para el nivel binario 76 que corresponde a -90°, la frecuencia del tren de pulsos con 5V de amplitud es de 416Hz y el retardo utilizado fue 0.4ms. Cabe mencionar que una alta frecuencia implica un movimiento rápido del cursor del mouse, y una baja frecuencia implica un movimiento lento. Como se ha mencionado anteriormente, el acelerómetro se coloca en un auricular, que incluye una protección contra descargas estáticas debidas al cabello. Esta protección consta de una caja de plástico, como se muestra en la Figura 2.

Detección de guiños voluntarios

Para emular el comportamiento de un mouse convencional, es necesario construir un sistema electrónico que realice funciones similares, tales como: simples clics, dobles clics, arrastre de comandos y modificar archivos en la pantalla sin usar las manos.



Figura 2. Acelerómetro colocado sobre unos auriculares con protección contra descargas estáticas.



Figura 3. Diodo emisor de luz infrarroja y fotoreceptor colocados lado a lado en unas gafas.

Estas tareas se pueden lograr detectando guiños voluntarios. Tenga en cuenta que la función principal del párpado es lubricar el ojo y esta acción se realiza normalmente entre 300ms y 400ms. Además, la acción de parpadear se realiza con ambos ojos mientras que el parpadeo de un solo ojo se llama *guiño* y su duración es de más de 500ms. En este sentido, un diodo emisor de luz infrarroja IR383-A junto con un fotoreceptor BP103BF con filtro para luz ambiental son utilizados. Vale la pena mencionar que la radiación infrarroja se clasifica de acuerdo a su longitud de onda como: infrarrojo cercano, de onda corta, medio, de onda larga, de onda muy larga y lejano. En este caso la primera es la menos dañina para el ojo humano [3]. Para cada ojo se usa un par de dispositivos y se colocan lado a lado en unas gafas, como se muestra en la Figura 3. Debe tenerse en cuenta que la intensidad de la luz infrarroja siempre es constante con el tiempo. Por consiguiente, el haz de luz infrarroja se proyecta en el glóbulo ocular izquierdo y derecho de cada ojo, el cual rebota y se detecta en el fotoreceptor. El voltaje de salida del fotoreceptor se envía al microcontrolador para su procesamiento. No obstante, observamos que la tensión de salida del fotoreceptor tiene variaciones con respecto a cada usuario y se debe principalmente a dos factores

1. La distancia entre los fotoreceptores y el glóbulo ocular
2. El tono de blancura del glóbulo ocular.

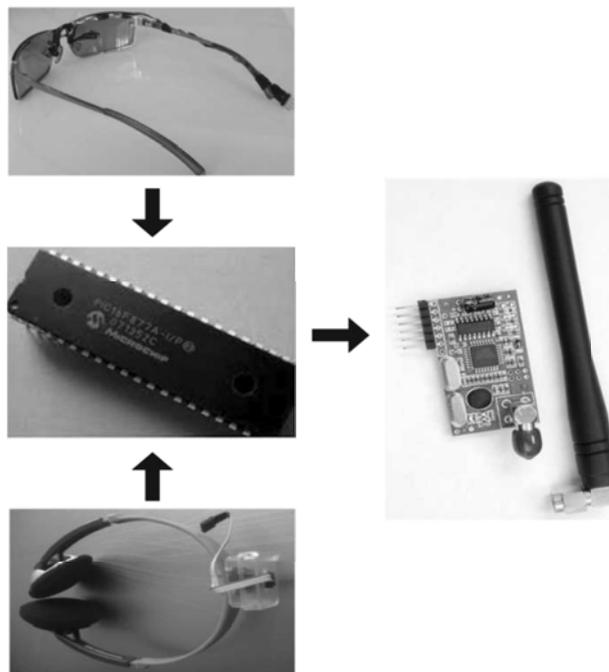


Figura 4. Módulo transmisor.

Por estos motivos, se debe considerar un sistema de calibración automática que tenga en cuenta estos dos factores. Dicho sistema se realiza mediante software y se programa en el microcontrolador PIC16F877A. La idea clave es leer la caída de voltaje del fotoreceptor cuando el ojo del usuario está abierto y el sistema de detección de guiños se utiliza por primera vez. Las pruebas experimentales muestran que la caída de voltaje está en el intervalo de 3.5V a 4.5V para diferentes usuarios. Esta primera caída de tensión se establece como tensión de referencia y se utiliza para comparar las nuevas caídas de tensión detectadas posteriormente. Como una consecuencia, se puede saber si el ojo está abierto o cerrado.

Transmisión inalámbrica de datos

Para transmitir datos de forma inalámbrica, el dispositivo HM-TR915/TTL se configura como transmisor. Debido a que el nivel TTL se maneja en el protocolo de comunicación, este dispositivo se conecta directamente al microcontrolador. La Figura 4 muestra la etapa del transmisor y consta de un microcontrolador, el sistema de detección de movimiento de la cabeza, el sistema de detección de parpadeo y el dispositivo HM-TR915/TTL.



Figura 5. Módulo receptor.

Para procesar los datos enviados por los sistemas de detección de parpadeo y movimiento de la cabeza, se conecta un segundo dispositivo HM-TR915/TTL a otro microcontrolador PIC16F877A. Para controlar el cursor del mouse a través del puerto USB, se utiliza un microcontrolador CY7C63001A-PC. Este dispositivo genera el protocolo de comunicación USB para realizar no solo el desplazamiento del cursor, sino también para accionar los clics. La Figura 5 muestra el módulo de recepción de datos. El microcontrolador CY7C63001A-PC tiene dos canales de entrada para codificar el eje X, dos para el eje Y y dos para el desplazamiento. En este trabajo, se usan los canales de entrada para los ejes X y Y. Para controlar los clics, se utilizan dos terminales de entrada lógica. Para realizar un clic derecho o izquierdo, se debe enviar un **0** lógico a los terminales 19 y 20 del microcontrolador CY7C63001A-PC, respectivamente, mientras que se debe mantener un **1** lógico en ambos terminales cuando los clics no son requeridos. En general, se requieren dos señales cuadradas con 90° de cambio de fase junto con dos señales lógicas para controlar el cursor del mouse, y estas señales son generadas por el microcontrolador PIC16F877A de la etapa de recepción.

Validación experimental

Tres hombres y dos mujeres entre 31 y 45 años con tetraplejía, fueron capacitadas para utilizar la interfaz desarrollada. Los sujetos no tenían experiencia previa con otras tecnologías de asistencia y se obtuvieron las aprobaciones necesarias para realizar ensayos con cada una

de ellas mediante la firma de un documento de consentimiento.



Figura 6. Ejemplo sobre el uso de la interfaz humano-computadora desarrollada.

Todas las personas con capacidades diferentes lograron desplazar el cursor del mouse en la pantalla de la computadora sin ningún problema. Sin embargo, para algunas de ellas se requirió más tiempo de entrenamiento para lograr controlar la interfaz, aproximadamente entre 3 y 4 horas. Este tiempo de formación se redujo drásticamente cuando se aplicó el sistema de calibración automática. Para ganar más experiencia, recomendamos que las personas tetrapléjicas tengan una fase de entrenamiento más larga. Para validar la precisión del sistema propuesto, se propuso una tarea específica a cada usuario. La tarea fue escribir las palabras **HOLA IVAN** en la pantalla de la computadora usando un teclado virtual. El tiempo promedio para realizar la tarea específica por cada usuario fue 17 minutos. La Figura 6 muestra cómo un usuario controla la interfaz propuesta. Finalmente, la interfaz completa humano-computadora se muestra en la Figura 7.

Conclusiones

Se ha descrito una nueva interfaz humano-computadora de bajo costo basada en movimientos de cabeza y guiños voluntarios. La interfaz propuesta permite a las personas tetrapléjicas controlar el cursor del mouse en la pantalla de cualquier computadora, ya que no se requiere la instalación de un software específico. Como resultado, un usuario puede cambiar archivos o navegar en la web sin usar las manos. La interfaz desarrollada es higiénica, precisa, robusta, estética, pequeña, discreta e inalámbrica, con gran aceptación social y facilidad para ser utilizada por personas con o sin discapacidad.



Figura 7. Interfaz final humano-computadora inalámbrica. Arriba, módulo transmisor; abajo, módulo receptor.

Estas afirmaciones se basan en lo expresado por las mismas personas con capacidades diferentes que utilizaron la interfaz desarrollada. Cabe resaltar que la interfaz desarrollada es no invasiva. A diferencia de [10], aquí solo se utiliza un acelerómetro y se presenta un sistema de calibración automática para detectar la caída de voltaje

del fotoreceptor. Finalmente, la interfaz diseñada puede ser utilizada por personas tetrapléjicas que tengan un control total del movimiento de su cabeza.*

REFERENCIAS

1. Jacob, R.J.K. (1991). The use of eye movements in human-computer interaction techniques: What you look at is what you get. *AMC Transactions on Information Systems*, 9(2), 152-169.
2. Aungsakun, S., Phinyomark, A., Phukpattaranont, P. y Limsakul, C. (2012). Development of robust electrooculography (EOG)-based human-computer interface controlled by eight-directional eye movements. *International Journal of Physical Sciences*, 7(14), 2196-2208. <https://doi.org/10.5897/IJPS11.1486>
3. Missimer, E. y Betke, M. (2010). Blink and wink detection for mouse pointer control. En *Proc. 3rd International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, 1-8.
4. Andrade, A.O., Pereira, A.A., Pinheiro, C.G. y Kyberd, P.J. (2013). Mouse emulation based on facial electromyogram. *Biomedical Signal Processing and Control*. 8(2), 142-152.
5. Chi, Y.M., Wang, Y.-T., Wang, Y., Maier, C., Jung, T.-P., y Cauwenberghs, G. (2012). Dry and noncontact EEG sensors for mobile brain-computer interfaces. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 20(2), 228-235.
6. Leuthardt, E.C., Gaona, C., Sharma, M., Szrama, N., Roland, J., Freudenberg, Z., Solis, J., Breshears, J. y Schalk, G. (2011). Using the electrocorticographic speech network to control a brain-computer interface in humans. *Journal of Neural Engineering*, 8(3), 036004-1-11.
7. Su, M.-C., Lee, Y.-H., Wu, C.-H., Su, S.-Y. y Zhao, Y.-X. (2004). Two low-cost human computer interfaces for people with severe disabilities. *Biomedical Engineering: Applications, Basis and Communications*, 16(6), 344-349.
8. Struijk, J.J. (2006). An inductive tongue computer interface for control of computers and assistive devices. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 53(12), 2594-2597.
9. Sporka, A.J., Kurniawan, S.H. y Slavik, P. (2006). Acoustic control of mouse pointer. *Universal Access in the Information Society*, 4, 237-245.
10. Chen, Y.-L. (2001). Application of tilt sensors in human-computer mouse interface for people with disabilities. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 9(3), 289-294.

SOBRE EL AUTOR



Carlos Sánchez-López recibió el grado de Doctor por del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica en 2006. En Enero-2006 se incorporó a la Universidad Autónoma de Tlaxcala (UATx), como profesor-investigador. De Junio-2008 a Octubre-2011, realizó una estancia de investigación en el Instituto de Microelectrónica de Sevilla, España. Desde Octubre-2011 se reincorporó a la UATx. Es autor de más de 100 artículos de revistas de investigación publicados en las áreas de modelado, simulación de circuitos y sistemas lineales y no lineales, osciladores caóticos. Ha desarrollado proyectos sobre tecnología asistida, interfaces hombre-máquina y predicción de señales bioeléctricas.

ARTÍCULO ACEPTADO

IN AI WE TRUST? — Un modelo sistemático de la confianza para el análisis de las interacciones humano-computadora

Diego Vázquez Díaz

Hoy en día muchas de nuestras experiencias cotidianas están mediadas por las tecnologías inteligentes. Actualmente es común, por ejemplo, depender de nuestros asistentes artificiales para gestionar nuestras agendas, conocer nuestro estado de salud en los reportes de relojes inteligentes o, incluso, determinar qué productos compraremos gracias a que las tecnologías de IA son capaces de familiarizarse con nuestras rutinas, gustos y necesidades. Los asistentes inteligentes recuerdan nuestros nombres, los reportes de salud están hechos a nuestra medida y las plataformas de venta de productos son capaces de intuir qué cosas deseamos adquirir. Así, nuestras interacciones tecnológicas son cada vez más personalizadas y amigables con los usuarios, lo cual nos ha permitido no solo depender, sino *confiar* en las tecnologías. Sin embargo, podríamos poner en duda que esta confianza sea de la misma naturaleza que aquella que depositamos en los asistentes y secretarios, en los médicos o en los gestores de ventas humanos. Por ello resulta necesario responder, en primer lugar, una pregunta fundamental: ¿es posible generar confianza en las tecnologías de Inteligencia Artificial?

En este artículo pretendo introducir al lector en el problema filosófico de la fiabilidad computacional para discutir la naturaleza de la confianza que interviene en las interacciones humano-máquina. Para ello, plantearé un panorama general del conflicto entre dos grandes acercamientos filosóficos al problema de la fiabilidad computacional: el que afirma que no es posible generar confianza en agentes no humanos y el que afirma que sí. Posteriormente, argumentaré que ambas perspectivas han errado al asumir una noción normativa de la confianza, que imposibilita comprender las particularidades de la relación entre agentes humanos y agentes artificiales. A través de una crítica a estos modelos, discutiré los beneficios que conlleva entender a la IA como *sistema* (que involucra a múltiples niveles y agentes de diferentes naturalezas) para el entendimiento de la interacción basada en la confianza que pone en relación a las computadoras y a los humanos.

Dos posiciones en conflicto

Algunas de las normativas que buscan el desarrollo de una IA fiable, como la generada por el Grupo Independiente de Expertos de Alto Nivel sobre Inteligencia Ar-

tificial, creado por la Comisión Europea, han buscado medidas para promover la confianza en estas tecnologías [1]. Sin embargo, poca atención ha sido puesta en una pregunta aún más fundamental que radica en saber si podemos confiar en la IA. Por un lado, algunos filósofos han afirmado la imposibilidad de generar confianza en las tecnologías de aprendizaje automatizado, mientras que otro importante número de teóricos han respaldado la idea de que *podemos* confiar no solamente en humanos, sino en cosas, y, especialmente, en agentes y ambientes computacionales, así como en las tecnologías de IA.

Los detractores de la confianza en la IA han defendido la idea de que una de las más importantes dificultades para evaluar a estas tecnologías radica en la tendencia de la gente por antropomorfizarlas [2]. De acuerdo con esta perspectiva no podemos confiar en la IA debido a que las tecnologías no tienen, en oposición a los seres humanos, estados emotivos, facultades morales ni pueden ser responsabilizados de los efectos de sus acciones. Este enfoque presupone que la racionalidad y la afectividad son condiciones necesarias para que algo sea objeto de confianza. Por ello, si partimos de un entendimiento de la fiabilidad como una actitud afectiva estaríamos imposibilitados a asumir que las tecnologías sientan un compromiso con nuestro depósito de confianza en ellas y que, por otro lado, posean categorías morales en las que podamos confiar. En este sentido, se ha afirmado que los agentes racionales y sensibles humanos no pueden hablar de confianza (*trustworthiness*) en las tecnologías computacionales, sino, acaso, de seguridad y dependencia (*reliability*). Desde esta perspectiva, al afirmar que confiamos en las tecnologías de IA en realidad querríamos decir que confiamos en los desarrolladores, en los vendedores o en quienes regulan a estos espectros.

Por otro lado, algunos partidarios de la fiabilidad computacional han promovido la idea de que podemos crear relaciones humano-IA de confianza basados en que la definición de “confiabilidad” no necesariamente está enfocada de manera exclusiva hacia los agentes humanos. Taddeo y Floridi, por ejemplo, han afirmado que podemos hablar de una confianza electrónica (*e-trust*) para referirnos a las interacciones que ocurren en espacios mediados por dispositivos digitales, en los que nos vemos comprometidos a confiar en los agentes con los que interactuamos, sean o no humanos [3]. En este senti-

do, sería correcto afirmar que en nuestra vida cotidiana confiamos en los resultados de los navegadores, en las respuestas de nuestros asistentes digitales o en los reportes de salud de nuestros *wearables*.

No obstante, la distancia entre estas interpretaciones de la fiabilidad, un problema fundamental radica en que ambas posturas buscan identificar de manera precisa quiénes son los agentes (humanos o computadoras) en los que se deposita la confianza y cuáles son los modos desde donde se construye y se expresa la fiabilidad, lo cual pretende universalizar un elemento no normativo de la vida humana. En contraposición a estas ideas, Buechner y Tavani han afirmado que un modelo de confianza difusa permitiría examinar la multiplicidad de agentes que se ven involucrados en las relaciones que establecemos con las tecnologías computacionales [4]. De este modo, la confianza que depositamos en las tecnologías debería ser comprendida como una confianza que se distribuye a lo largo de todo el conjunto de agentes humanos y artificiales que componen a la IA, no como un producto tecnológico, sino como un sistema. Si bien atribuir confianza en conjuntos completos de agentes no especificados puede resultar notablemente problemático, veremos que pensar en la IA como sistema puede servir para modificar nuestro entendimiento de la naturaleza de las interacciones humano-computadora.

La IA como sistema

Algunos teóricos como Piotr Sztompka han promovido la idea de que la confianza no necesariamente se deposita en sujetos ni en agentes humanos; en cambio, podemos afirmar que muchas de nuestras creencias son dirigidas no hacia individuos sino hacia sistemas. Además, el filósofo afirmaría que la confianza en la multiplicidad de sistemas abstractos es una parte necesaria para nuestra vida diaria hoy en día.

En su estudio sociológico sobre la confianza, Sztompka afirmó que los más tangibles blancos a los que va dirigida nuestra confianza son los productos y objetos que compramos y utilizamos todos los días. Para el teórico, “las telecomunicaciones, los sistemas de agua y energía, los sistemas de transporte, los sistemas de control del tráfico aéreo, las redes de comando militar, las redes computacionales, los mercados financieros, entre otros” son sistemas en los que hemos aprendido a confiar y “que organizan grandes áreas de los ámbitos materiales y sociales en los que vivimos actualmente” [5]. Estos sistemas no son objetos, cosas ni agentes humanos, sino que son el conjunto de una multiplicidad de elementos que se legitiman sistemáticamente. Pero ¿en qué medida podemos hablar de las tecnologías computacionales y de IA como sistemas?

Una definición estándar de lo que es un sistema computacional dirá, en resumidas cuentas, que es el conjunto de dos ontologías principales llamadas software y

hardware. La primera comprende a todos los elementos abstractos del sistema, como el algoritmo, los lenguajes de programación y los programas mismos. Por otro lado, el hardware comprende a los soportes materiales que tienen una existencia física, como los procesadores, los discos y las máquinas de cómputo. En realidad, esta distinción clásica ha tenido, desde los orígenes de las ciencias computacionales, un amplio número de críticas y detractores. Por ejemplo, James Moor habría afirmado que la falsa dicotomía entre ontologías materiales y abstractas era uno de los grandes mitos de la computación; para él, ambos espectros ontológicos se complementaban y la relación existente entre ellos era, en resumidas cuentas, la única ontología que debería importar a la computación [6]. Para Moor no existen programas como entes abstractos si no tienen una realización a través de soportes materiales. El filósofo afirmaría, por tanto, que si bien esta distinción tenía su validez en un espectro práctico, en realidad la frontera entre ambos lados de la ecuación no es tan clara.

Para resolver esta aparente dicotomía, la propuesta de la existencia de niveles de abstracción (LoA, por sus siglas en inglés) ha sido una de las más fecundas perspectivas. Los niveles de abstracción permiten comprender que un sistema tendrá elementos que son fácilmente perceptibles por el usuario de una computadora, por ejemplo, pero que también hay una serie de elementos menos tangibles —o más abstractos— que forman parte, del mismo modo, de la unidad del sistema computacional.

Así, el sistema podría comprender desde sus insumos puramente físicos y materiales hasta elementos tan abstractos como la intencionalidad en la creación del algoritmo o el lenguaje utilizado para su programación. Giuseppe Primiero afirmaría que estos niveles de abstracción se pueden resumir en seis elementos que comprenden la ontología de los sistemas computacionales digitales: (1) la intención como acto cognitivo que define los problemas a resolver por el sistema y que dependen de los agentes humanos que se los proporcionan; (2) las especificaciones entendidas como la formulación de los requisitos necesarios para el cumplimiento de la asignación; (3) el algoritmo que expresa los procedimientos provistos al sistema para la ejecución de su empresa; (4) las instrucciones en lenguajes de programación de orden superior que fungan como la implementación lingüística del algoritmo propuesto; (5) las operaciones de la máquina, que son el código compilado para la ejecución; y (6) la ejecución misma del código que se da en el nivel físico dada la arquitectura material del sistema computacional para hacer correr el programa [7] (Figura 1).

Una lectura de la ontología de los sistemas computacionales de esta naturaleza permite comprender que estos no son fácilmente escindidos entre su parte física y su parte abstracta. Así, se puede entender de mane-

ra holística y procesal la operatividad de los sistemas. Sin embargo, la contribución más grande que se puede extraer de la teoría de los niveles de abstracción es que el sistema no se cierra exclusivamente a los elementos técnicos de la construcción del mismo. No solamente el sistema comprenderá, entonces, a los programas de software y a los componentes físicos del hardware, sino que también será necesario incluir elementos tan abstractos como la intencionalidad de los desarrolladores, así como las elecciones de lenguaje o, incluso, los materiales de composición del soporte físico del computador.



Figura 1. . Niveles de abstracción según la propuesta de Primero.

Miguel Ángel Quintanilla, por ejemplo, llamaría la atención por pensar en los sistemas técnicos principalmente como sistemas intencionales de acciones en los que “además del subconjunto de agentes intencionales del sistema que conciben los objetivos y actúan para conseguirlos, existe al menos un subconjunto de componentes que son objetos concretos y cuya transformación o manipulación forma parte de los objetivos intenciona-

les del sistema” [8]. Así, podemos afirmar que un sistema computacional no es solamente el dispositivo técnico que procesa la información, sino que, como sugiere Sztompka, es un sistema abstracto que involucra otras esferas de la vida humana. De este modo, las fronteras de las tecnologías de IA tampoco se dibujan en torno a los dispositivos mismos, sino que involucran toda la red de agentes humanos y no humanos detrás de su desarrollo, distribución y uso.

¿En los sistemas de IA confiamos?

Los sistemas requieren confianza como una condición para su existencia. En su estudio sobre la familiaridad y la confianza, Niklas Luhmann introdujo el término “confianza sistémica” para hacer referencia a aquellas estrategias (principalmente legales) generadas por los colectivos humanos que pretenden asegurar el funcionamiento de las instituciones y del orden político y social. Más allá de la «familiaridad» y de la «seguridad» que cercioran, de cierto modo, estar libres de peligro, Luhmann propuso que la «confianza» era una vía para asumir los riesgos de la vida colectiva a través del reconocimiento de la complejidad de los sistemas sociales [9].

Un problema creciente con el uso de sistemas computacionales de gran escala (como los sistemas de Inteligencia Artificial) es que, como hemos apuntado, tienen una diversidad de agentes y elementos involucrados en su funcionamiento que limita la identificación de un objetivo en el cual la confianza es depositada. Para Littlewood y Strigini es necesario, por tanto, partir de la evidencia en la multiplicidad y complementariedad entre las personas y las máquinas: entre usuarios y sistemas computacionales, y entre desarrolladores y recursos tecnológicos [10]. De acuerdo con esto, será importante considerar que, si bien no podemos confiar en la Inteligencia Artificial pensada como herramienta tecnológica, sí podemos confiar en la Inteligencia Artificial pensada como sistema: sistema que involucra una relación multiagente que asegura en su conjunto el funcionamiento de las tecnologías y posibilita una segura dependencia en ellas.

Podemos afirmar, entonces, que la fiabilidad depositada en estos sistemas comprenderá una confianza distribuida en el correcto funcionamiento de todos sus niveles de abstracción, así como en los agentes humanos y no humanos que forman parte de él. Pero ¿qué agentes se ven involucrados como agentes de estas tecnologías?

Un sistema computacional no es solamente un dispositivo técnico, sino que involucra otras esferas de la vida humana.

La inclusión tecnológica es más un desafío cultural y social que uno puramente técnico.

El Grupo Independiente de Expertos de Alto Nivel sobre Inteligencia Artificial, creadores de las Directrices Éticas para una IA Fiable, ha afirmado que existen una serie de partes interesadas que se ven directamente implicadas en el manejo ético de las tecnologías. De este modo, los agentes involucrados en el diseño, desarrollo, despliegue, aplicación y utilización de la IA, así como las empresas, organizaciones, servicios públicos, agencias gubernamentales, instituciones, organizaciones de la sociedad civil, particulares, trabajadores y consumidores, son para el grupo creado por la Comisión Europea algunos de los agentes humanos que se ven afectados por estas tecnologías (Figura 2)

Podríamos presumir, por tanto, que todos los agentes humanos que interactúan de manera directa o indirecta para el desarrollo, distribución y uso de las tecnologías forman parte del sistema tecnológico. De este modo, podemos reconocer que la confianza que situamos en las tecnologías representa una confianza en el orden general de la organización social: en las leyes promovidas para la regulación de la IA, en las buenas prácticas de los desarrolladores, en los médicos que utilizan los sistemas para la detección de tumores, en las grandes empresas que resguardan nuestra información privada e, incluso, en nosotros mismos.

AGENTES INVOLUCRADOS EN LOS SISTEMAS DE IA		
Desarrollo	Distribución	Uso
Programadores	Reguladores	Consumidores
Diseñadores	Transportistas	(médicos,
Inversionistas	Vendedores	empresarios,
Fabricantes	Representantes	académicos,
	empresariales	etcétera)
	Cámaras	Sociedad Civil

Figura 2. Ejemplos de agentes involucrados en el desarrollo, distribución y uso de la IA.

Si bien esta multiplicidad podría poner en cuestión nuestro común concepto de tecnología, un modelo sistemático de la fiabilidad computacional permite también comprender que la responsabilidad en el uso de estas tecnologías no recae en las herramientas mismas que, como hemos revisado, no tienen categorías morales para ello. Asimismo, no restringe la confianza exclusivamente a quienes producen los dispositivos o a quienes las venden. Afirmar la multiagencia en los sistemas de IA, por el contrario, puede ser una vía para asumir la responsabilidad

que todos los individuos en la sociedad tenemos para la procuración del bienestar colectivo. Asimismo, nos permite vislumbrar que la confianza no es un elemento que pueda ser normativizado y que la multiplicidad de relaciones de confiabilidad es dinámica y está en constante cambio.

Discusión y conclusiones

Littlewood y Strigini han afirmado que para poder generar confianza en las tecnologías digitales no basta con generar estrategias tecnológicas o conceptuales útiles para los núcleos de expertos computacionales. En cambio, resultaría necesario resolver paralelamente dificultades “no técnicas”, tales como la educación de los usuarios y desarrolladores, así como la creación de vías de comunicación entre comunidades tecnológicas. La actual agenda en investigación y desarrollo tecnológico no puede obviar, por tanto, los factores humanos involucrados en el despliegue de los sistemas de IA. En este tenor, podría sugerirse que la alfabetización tecnológica y la inclusión digital, por ejemplo, son algunos de los grandes retos para crear derivas de confianza en las tecnologías inteligentes, retos que se acentúan en los contextos latinoamericanos.

Asumir un modelo de la confianza sistemático puede servir para resignificar la importancia de las relaciones existentes entre agentes humanos, así como las que mantenemos con los agentes artificiales. Así, podríamos entender que la IA no debe ser solamente un tema de interés para los técnicos y desarrolladores; en cambio, debemos promover la idea de que la inclusión de las tecnologías en nuestras vidas es más un desafío cultural y social que uno puramente técnico. Asimismo, esta propuesta puede remarcar la necesidad por crear nuevas vías de involucramiento entre humanos y máquinas que permitan no solamente confiar en la IA de manera ciega, sino promover el conocimiento a partir de la educación, el acceso universal a las tecnologías y el desarrollo de normativas que regulen su uso para no solamente generar un orden tecnosocial inclusivo y seguro, sino cada vez mejor afianzadas interacciones humano-computadora.*

REFERENCIAS

1. Dirección General de Redes de Comunicación, Contenido y Tecnologías de la Comisión Europea. (2019). Directrices éticas para una IA fiable. Recuperado el 15 de Octubre de 2021, de <https://op.europa.eu/es/publication-detail/-/publication/d3988569-0434-11ea-8c1f-01aa75ed71a1>.
2. Ryan, M. (2020). In AI We Trust: Ethics, Artificial Intelligence, and Reliability. *Science and Engineering Ethics*, 26(5), 2749-2767.

3. Taddeo, M. y Floridi, L. (2011). The case of e-trust. *Ethics and Information Technology*, 12(1), pp. 1-3.
4. Buechner, J. y Tavani, H.T. (2011). Trust and multi-agent systems: applying the “diffuse, default model” of trust to experiments involving artificial agents. *Journal Ethics and Information Technology*, 13(1), 39-51.
5. Sztompka, P. (1999). *Trust: A sociological theory*. Reino Unido, Cambridge University Press.
6. Moor, J.H. (1978). Three Myths of Computer Science. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 29(3), 213-222.
7. Primiero, G. (2016). Information in the philosophy of computer science. En Floridi L. (Ed.) *The Routledge Handbook of Philosophy of Information*, Londres, Routledge, 90-106.
8. Quintanilla, M.A. (2017). *Tecnología: un enfoque filosófico y otros ensayos de filosofía de la tecnología*. Segunda edición. México, Fondo de Cultura Económica.
9. Luhmann, N. (2017). *Trust and power*. Nueva Jersey, Wiley.
10. Littlewood, B. y Strigini, L. (2000). Software reliability and dependability: A roadmap. En *ICSE '00: Proceedings of the Conference on The Future of Software Engineering*, Nueva York, Estados Unidos, 175-188.

SOBRE EL AUTOR



Diego Vázquez Díaz es estudiante de Doctorado en el programa de posgrado en Filosofía de la Ciencia de la UNAM. Ha impartido clases en posgrado y licenciatura sobre la relación entre tecnología, sociedad e imagen. Sus investigaciones más recientes pertenecen al área de los Estudios Filosóficos y Sociales de la Ciencia y la Tecnología. Actualmente desarrolla una tesis doctoral sobre la regulación en el uso de sistemas de IA como Dispositivos Médicos en México.

“¿Podemos confiar en la IA?”

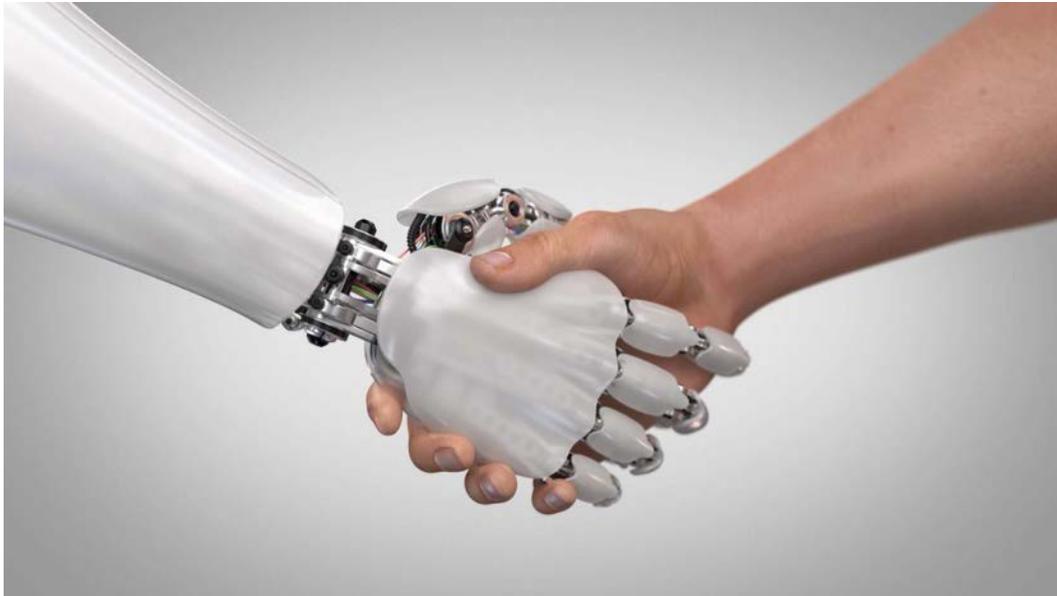


Imagen tomada de: <https://blog.re-work.co/can-we-trust-ai/>.

IA & Educación

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

Juegos en la educación

La educación es uno de los sectores con más impacto en la sociedad, por lo que las tecnologías que apoyen el proceso de enseñanza-aprendizaje son siempre bienvenidas. Se han desarrollado diversas herramientas educativas, desde la computación asistida por computadora hasta los ambientes inteligentes de aprendizaje, y en los últimos años se han incluido elementos de juego por su probada capacidad para motivar a los estudiantes.

Los juegos como herramienta de aprendizaje representan un enfoque prometedor debido a sus habilidades para enseñar y reforzar conocimiento, así como para desarrollar habilidades importantes como la resolución de problemas, el pensamiento crítico, la comunicación y la colaboración. Además, tienen una fuerte capacidad de motivar y de enganchar a las personas en la interacción. El objetivo de los juegos serios no es únicamente la diversión, si no que buscan aprendizaje, capacitación, desarrollo de habilidades, rehabilitación, entre otros fines.

La ludificación (del inglés *gamification*) es una técnica de aprendizaje que traslada los elementos de los juegos al ámbito educativo con el objetivo de conseguir mejores resultados. Su función principal es motivar y comprometer al estudiante con el juego, a través de retos y misiones, con la expectativa de obtener recompensas. Se define como el uso de elementos de diseño de juegos en contextos no lúdicos [1]. La ludificación difiere de los juegos educativos o juegos serios en que los juegos educativos involucran el diseño de juegos completos, mientras que las aplicaciones con ludificación solamente incluyen elementos de los juegos [2].

La ludificación ha tenido una rápida adopción por su potencial para influir en el comportamiento de los usuarios. Plataformas como [Stackoverflow.com](https://stackoverflow.com), codecademy.com y khanacademy.org, entre otras, utilizan elementos de juego para atraer y motivar a los usuarios [2].

Khan Academy es una plataforma educativa que brinda aprendizaje personalizado a los estudiantes. Se trata de una organización sin fines de lucro que ofrece una variedad de cursos para diversas materias, desde matemáticas, ciencias, gramática, economía, hasta música e historia mundial, y está disponible en más de 36 idiomas. Esta plataforma de aprendizaje lúdica utiliza un sistema de calificación basado en recompensas en el que los estudiantes reciben puntos de experiencia por completar los módulos del curso [3].

La investigación ha identificado los principios de diseño para la aplicación de la ludificación en la educación [2]. En la Tabla 1 se presentan los principios de diseño para incluir ludificación. Algunos de los principios de diseño son fundamentales y siempre están presentes en los sistemas educativos, pero es posible que deban adaptarse para ajustarse al paradigma de la ludificación. Por ejemplo, la retroalimentación debe ser inmediata o con ciclos más cortos. Algunos principios se han utilizados muy poco, y algunos son nuevos elementos de diseño tomados de los videojuegos [2].

Tabla 1. Principios de diseño de ludificación en la educación [2].

Principios de Diseño	
Metas	Metas específicas, claras, moderadamente difíciles, inmediatas
Desafíos y misiones	Tareas de aprendizaje claras, concretas y procesables con complejidad creciente
Personalización	Experiencias personalizadas, dificultad adaptativa; desafíos que se adaptan perfectamente al nivel de habilidad del jugador, aumentando la dificultad a medida que la habilidad del jugador aumenta
Avance	Avance visible hacia dominar el tema y la tarea
Retroalimentación	Retroalimentación inmediata o acortar los ciclos de retroalimentación; recompensas inmediatas en lugar de beneficios a largo plazo
Competencia y cooperación/ Calificación acumulada	Ciclos de participación social
Estado visible Acceso/Desbloqueo de contenido	Acumulación de puntos en cada sesión
Libertad de elegir	Reputación, credibilidad y reconocimiento social
Libertad para fallar Narración	Material que se muestra conforme se logran metas
Nuevas identidades y/o roles	Múltiples rutas hacia el éxito, permitir a los estudiantes elegir sus propios subobjetivos dentro de la tarea más amplia
Integración	Riesgo bajo de presentación, múltiples intentos
Restricción de tiempo	Juegos basados en historias
	Personajes, avatares, y roles para los usuarios
	Combinación de los diferentes elementos de juego
	Tiempo máximo para desarrollar las actividades

Por otro lado, se ha identificado que los elementos de la ludificación se clasifican en mecánicas y dinámicas. Las técnicas mecánicas consisten en la forma de recompensar al usuario en función de los objetivos que ha alcanzado (Ver Tabla 2), mientras que las técnicas dinámicas hacen referencia a la motivación del propio usuario para jugar y seguir adelante en la consecución de sus objetivos, por ejemplo: i) recompensas, obtener un beneficio merecido, ii) estatus, establecerse en un nivel jerárquico social valorado, iii) logro, superación o satisfacción personal, y iv) competencia [4].

Tabla 2. Mecánicas de juego [4].

Mecánica de juego	Descripción
Puntos	Se asigna un valor cuantitativo a determinadas acciones y se van acumulando a medida que se realizan
Niveles	Se define una serie de niveles que el usuario debe ir superando para llegar al siguiente
Premios	A medida que se consiguen diferentes objetivos se van entregando premios a modo de "colección"
Regalos	Bienes que se dan al jugador o jugadores de forma gratuita al conseguir un objetivo
Clasificaciones	Clasificar a los usuarios en función de puntos u objetivos logrados, destacando los mejores en una lista
Desafíos	Competencias entre los usuarios, el ganador obtiene los puntos o el premio
Misiones o retos	Resolver o superar un reto u objetivo, ya sea solo o en equipo

Diversos ambientes inteligentes de aprendizaje han integrado la ludificación como una parte fundamental para mejorar la interacción con el usuario. *EasyLogic* es un ambiente de aprendizaje para enseñar lógica algorítmica y programación a estudiantes de ingeniería, a través de un sistema en donde el estudiante gana puntos cada vez que lleva a cabo un ejercicio correctamente, y cada cierto número de puntos recibe un trofeo. *Easylogic* también mantiene una tabla de clasificaciones en donde se muestran los estudiantes con los mayores puntajes. El desempeño de *EasyLogic* se evaluó comparándolo con el desempeño del mismo sistema sin el reconocimiento de emociones y sin los elementos de ludificación. Los resultados y las pruebas estadísticas mostraron que el aprendizaje de los estudiantes es mejor si se considera el estado afectivo del estudiante y si es motivado por medio de la ludificación [5]. En la Figura 1 se muestra la interfaz de *EasyLogic*.



Figura 1. Interfaz de *EasyLogic* [5].

PLMan es un ambiente de aprendizaje que enseña Prolog a estudiantes de primer año de Ingeniería Informática y de Ingeniería Multimedia. Los estudiantes aprenden el lenguaje de programación Prolog, programando la inteligencia artificial de un personaje similar a Pac-Man y utilizan una base de conocimientos en Prolog. Para pasar cada nivel del juego, el personaje debe atravesar diferentes laberintos comiéndose los puntos y evitando a todos los enemigos [6]. En la Figura 2 se muestra un ejemplo de uno de los laberintos de *PLMan*.

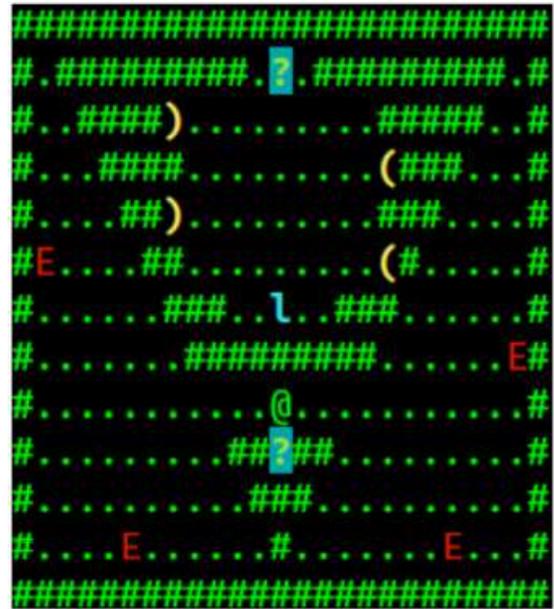


Figura 2.. Interfaz de *PLMan* [6].

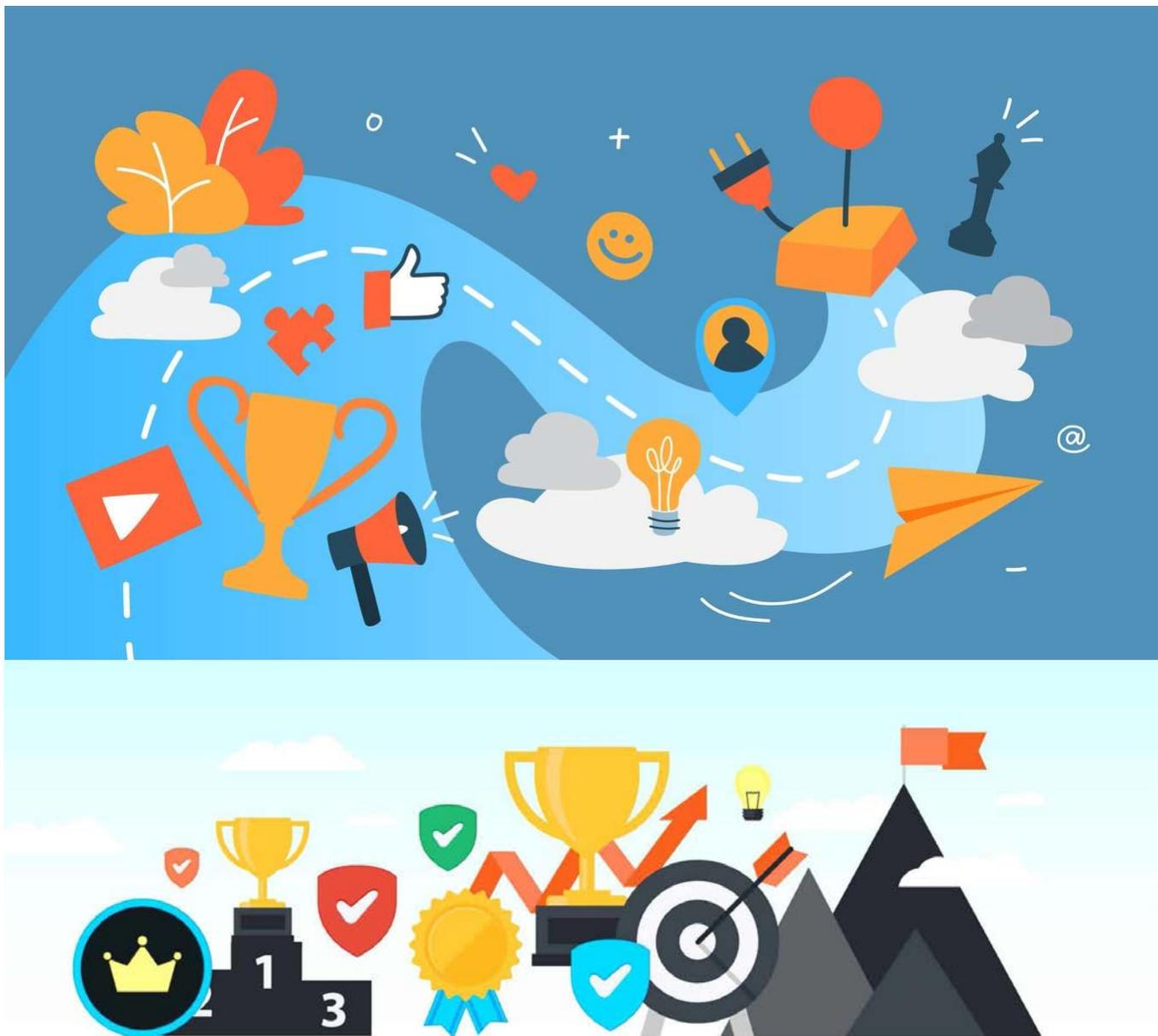
SQL-Tutor es un STI que enseña SQL y cuya eficacia ha sido probada en múltiples estudios. Los autores desarrollaron una versión de SQL-Tutor con ludificación con el fin de conocer los efectos de la ludificación en el aprendizaje. En esta versión lúdica incluyeron metas, evaluación y desafíos, estos son tres categorías de elementos del juego de la Teoría del Aprendizaje Lúdico [7]. Estos elementos se implementaron a través de 13 tipos de insignias divididas en tres categorías: básica, clásica y élite. Los autores encontraron que las insignias pueden aumentar positivamente el rendimiento de los estudiantes en el STI. También encontraron evidencia de que establecer objetivos, desafíos y comportamientos de autoevaluación, implementados como insignias, afectan de manera significativa los resultados del aprendizaje [8]. La ludificación se ha usado en diferentes sectores con mucho éxito, no solo en la educación. La aplicación de la ludificación en la educación es un campo de investigación de reciente nacimiento y promete resultados importantes por la capacidad que ha mostrado para motivar y captar la atención de los estudiantes, lo que deriva en un mayor aprendizaje. A través de la enseñanza lúdica, además de interiorizar el conocimiento, los estudiantes pueden desarrollar habilidades muy importantes.*

REFERENCIAS

1. Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R. y Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness: Defining 'gamification'. En *Proc. 15th Int. Acad. MindTrek Conf. Envisioning Futur. Media Environ. MindTrek 2011*, 2011.
2. Dicheva, D., Dichev, C., Agre, G. y Angelova, G. (2015). Gamification in education: A systematic mapping study. *Educ. Technol. Soc.*, 18(3), 75-88.

3. Van Roy, R., Deterding, S. y Zaman, B. (2018). Uses and gratifications of initiating use of gamified learning platforms. *Conf. Hum. Factors Comput. Syst. - Proc.*, 2018.
4. Gaitan, V. (2021). Ludificación: el aprendizaje divertido. *Educativa*.
5. Zatarain, S. (2018). Reconocimiento afectivo y ludificación aplicados al aprendizaje de Lógica algorítmica y programación. *Rev. Electrónica Investig. Educ.*, 20(3), 115.
6. Llorens-Largo, F., Gallego-Duran, F., Villagra-Arnedo, C., Compañ-Rosique, P., Satorre-Cuerda, R. y Molina-Carmona, R. (2016). Gamification of the Learning Process: Lessons Learned. *Rev. Iberoam. Tecnol. del Aprendiz.*, 11(4), 227-234.
7. Landers, R., Armstrong, M., y Collmus, A. (2017). How to use game elements to enhance learning: Applications of the theory of gamified learning. En *Serious Games and Edutainment Applications*, 2(3), 1-702.
8. Tahir, F., Mitrovic, A. y Sotardi, F. (2020). Investigating the effects of gamifying SQL-Tutor. *ICCE 2020 - 28th Int. Conf. Comput. Educ. Proc.*, 1, 416-425.

Juegos en la Educación





Si te cuidas **tú**, nos cuidamos **todos**

Todos podemos hacer algo para mitigar y contener la expansión de las enfermedades. Lo primero siempre es entender qué son, cómo se transmiten y cómo afectan.

En este caso, se trata del coronavirus SARS-COV2. Apareció en China en diciembre pasado y provoca una enfermedad llamada COVID-19, que se ha extendido por el mundo y fue declarada pandemia global por la Organización Mundial de la Salud.

Medidas de prevención



LAVA TUS MANOS
CON AGUA Y JABÓN



ACUDE AL MÉDICO SOLO EN
UNA URGENCIA



TOSE O ESTORNUDA
EN LA PARTE INTERNA
DE TU CODO

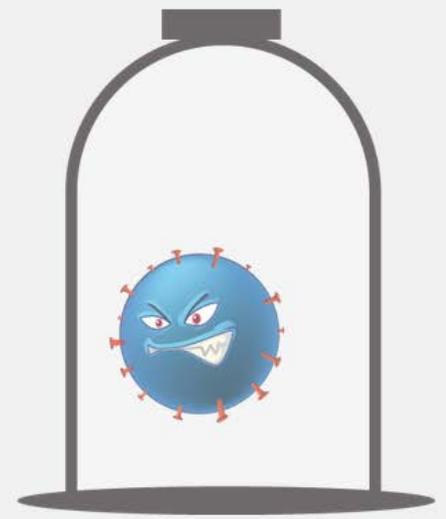


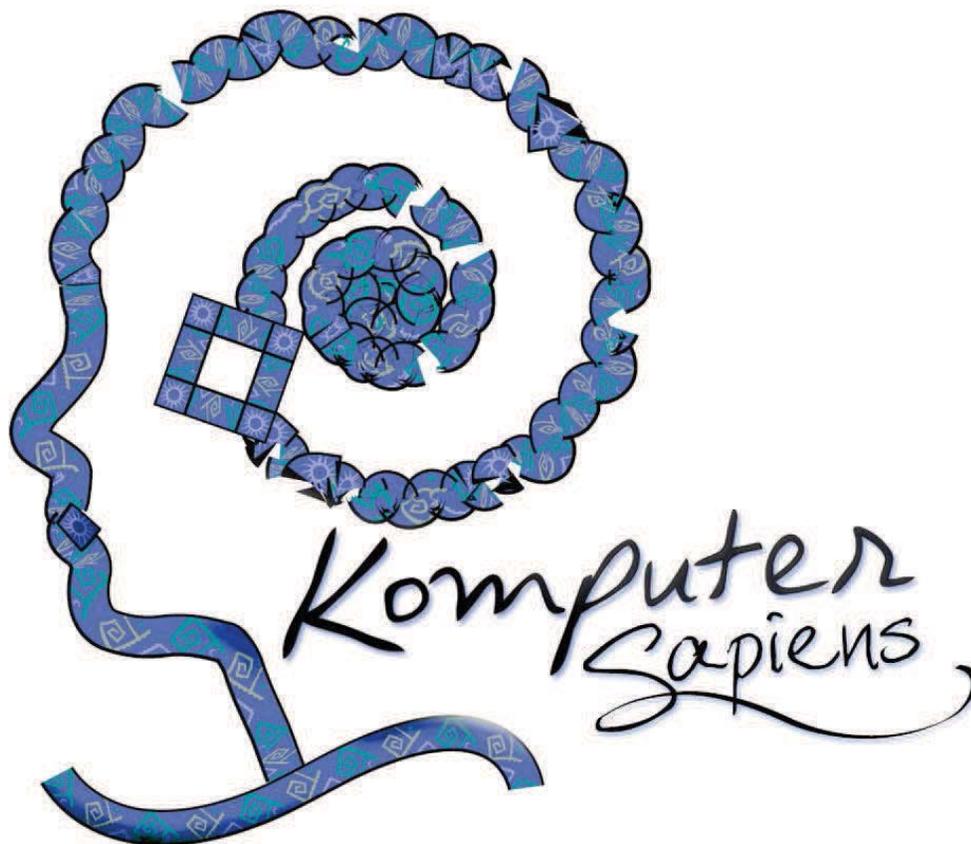
NO DIFUNDAS NOTICIAS
FALSAS

Atendiendo las normas de la Nueva Normalidad y cuidándonos unos a otros podremos salir adelante.

¡SI AISLAMOS AL VIRUS, LO VENCEREMOS!

Información tomada de: <https://coronavirus.gob.mx>





¡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

