www.komputersapiens.org

KOMPUTER SAPIENS

Año 15
Volumen 1
Enero - Abril 2023

Revista de Divulgación de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial

APLICACIONES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA MEDICINA



¿Pudo la IA ayudar a los médicos durante la pandemia de **COVID-19?**

Pandemia y Tecnología: IA para la **predicción de casos letales** de COVID-19

Señales electroencefalográficas para detectar movimiento en extremidades

Control de un prototipo **de prótesis** mediante comandos de voz

Identificación de **Frecuencias Respiratorias Anormales** con señales Wi-Fi

IA en la salud: **procesamiento de imágenes** para el médico

Bastón Ultrasónico para personas con debilidad visual

Detección de **dolor en la señal cerebral** usando **IA**

Diabetes, IA e IoT Médicas: Nuevas tendencias en la medicina

IA para el diagnóstico temprano del **Cáncer de Mama**

Robótica Médica para **Rehabilitación** de Miembro Superior

ISSN 2007-0691

©Komputer Sapiens, Año XV Volumen I, enero-abril 2023, 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 14 de enero de 2023.
Reserva de derechos al uso exclusivo número 04-2009-111110040200-102 otorgado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor. ISSN 2007-0691.
Los artículos y columnas firmados son responsabilidad exclusiva de los autores y no reflejan necesariamente los puntos de vista de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial. La mención de empresas o productos específicos en las páginas de Komputer Sapiens no implica su respaldo por la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial.
Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio, de la información aquí contenida sin autorización por escrito de los editores.
Komputer Sapiens es una revista de divulgación en idioma español de temas relacionados con la inteligencia artificial.
Creada en LaTeX, con la clase **papertex** disponible en el repositorio *CTAN*: Comprehensive TeX Archive Network, http://www.ctan.org/
Indizada en el IRMDCT de CONACYT y en Latindex.

Directorio SMIA

Presidente	Ildar Batyrshin
Vicepresidente	Oscar Herrera Alcántara
Secretario	Francisco Hiram Calvo Castro
Tesorera	María de Lourdes Martínez Villaseñor
Vocales:	Obdulia Pichardo Lagunas
	Sabino Miranda Jiménez
	Roberto A. Vázquez Espinoza de los Monteros
	Hiram Erendin Ponce Espinosa
	Noé Alejandro Castro Sánchez
	Iris Iddaly Méndez Gurrola
	Omar Montaño Rivas
	Néstor Velasco Bermeo
	Gustavo Arroyo Figueroa
	Sofía Natalia Galicia Haro
	Juan Crisoforo Martínez Miranda
	Iván Olvera Rodríguez
	Leobardo Morales Tiburcio
	Gilberto Ochoa Ruiz
	David Eduardo Pinto Avendaño
	Antonio Marín Hernández
	César Jesús Núñez Prado

Komputer Sapiens

Director general	Ildar Batyrshin
Editora en jefe	Karina Mariela Figueroa Mora
Editor científico	Héctor Gabriel Acosta Mesa
Editores asociados	Marco Antonio Aguirre Lam
	Laura Cruz Reyes
Editores invitados	Arturo López Pineda
Coordinadora de producción	Viridiana Mena Gómez
e-Tlakuilo	Karina Figueroa
	Rosa María Valdovinos
Estado del IArte	Reyna Carolina Medina Ramírez
	Jorge Rafael Gutiérrez Pulido
Sakbe	Claudia G. Gómez Santillán
	Laura Cruz Reyes
	Laura Gómez Cruz
Deskubriendo Konocimiento	Alejandro Guerra Hernández
	Gildardo Sánchez Ante
Asistencia técnica	Alan G. Aguirre Lam
Corrección de estilo	Gilberto Rivera Zárate
	Marcela Quiroz Castellanos
	Sonia Lilia Mestizo Gutiérrez
	Guillermo de Jesús Hoyos Rivera
	Susana Aurora Velasco Montiel
	Nicandro Cruz Ramírez
	Leonardo Romero Muñoz
	Nelson Rangel Valdez
	José Antonio Camarena Ibarrola
	Luis Miguel García Velázquez
	Héctor J. Fraire Huacuja
Portada	María Fernanda Hernández Arroyo

Directores Fundadores

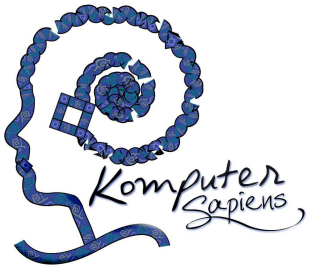
Carlos Alberto Reyes García
Ángel Kuri Morales

Comité Editorial

Ildar Batyrshin
Oscar Herrera Alcántara
Jesús Favela Vara
Sofía Natalia Galicia Haro
Miguel González Mendoza
Raúl Monroy Borja
Eduardo F. Morales Manzanares
Leonardo Garrido Luna
Carlos Alberto Reyes García
Antonio Sánchez Aguilar
Luis Enrique Sucar Succar
Ángel Kuri Morales
José A. Martínez Flores
Juan Manuel Ahuactzin Larios
Manuel Montes y Gómez
Ofelia Cervantes Villagómez
Alexander Gelbukh
Grigori Sidorov
Laura Cruz Reyes
Ramon Brena Pinero
Juan Humberto Sossa Azuela
Félix Castro

Árbitros

Héctor Acosta Mesa
Rocio Aldeco Pérez
Giner Alor Hernandez
Cleto Alvarez Aguilar
Rocío Barrientos Martínez
José Camarena Ibarrola
Juana Canul Reich
Victoria Cepeda Espinoza
Claudia Feregrino
Karina Figueroa Mora
Luis Miguel García Velázquez
Anel Gomez Garcia
Gilberto Gonzalez
Felix F. Gonzalez Navarro
Karina Gutiérrez Fragoso
Angélica Guzmán
Sergio Hernandez Mendez
Guillermo Hoyos Rivera
Ismael Kelly Pérez
Leopoldo Julian Lechuga Lopez
Adriana López Lobato
Arturo Lopez Pineda
Antonio Marin Hernandez
Aldo Marquez Grajales
Sonia Moreno Grau
Sandra Nava Munoz
Nancy Pérez Castro
María de la Concepción Pérez de Celis Herrero
Otniel Portillo Rodríguez
Ericka Janet Rechy Ramirez
Nora Reyes
Leonardo Romero
Victor Ruiz
Edgar Salazar Fernandez
Gildardo Sanchez Ante
Angel Sánchez García
Alejandra Silva
Joaquin Tripp Gudiño



Contenido

Caracterización de señales electroencefalográficas para detectar el movimiento de las extremidades superiores
Pág. 7 ⇒Karina I. Espinosa Espejel, Roberto W. Escorcia Varela, Liliam Rodriguez Guerrero, Rocío Ortega Palacios y Jesús Ricardo López Gutiérrez

Plataforma para Controlar un Prototipo de Prótesis de Mano mediante Comandos de Voz
Pág. 13 ⇒ Erick Javier Sánchez Garnica, Liliam Rodríguez Guerrero, Rocío Ortega Palacios y Omar Jacobo Santos Sánchez

Identificación de Frecuencias Respiratorias Anormales Utilizando Señales Wi-Fi y Aprendizaje Automático
Pág. 19 ⇒ Jesús A. Armenta-García, Félix F. González-Navarro, Jorge E. Ibarra-Esquer y Jesús Caro-Gutiérrez

Inteligencia artificial en la salud: Las investigaciones en procesamiento de imágenes como apoyo al médico especialista
Pág. 25 ⇒ Diego Oliva, Alfonso Ramos-Michel, Mario A. Navarro y Marco Perez-Cisneros

Bastón Ultrasónico para Personas con Debilidad Visual
Pág. 31 ⇒ Angel Mario Lerma Sánchez, Daniel López Piña, José Alan Franco Beltrán

Detección de dolor en la señal cerebral usando Inteligencia Artificial
Pág. 36 ⇒ Rogelio Sotero Reyes-Galaviz, Omar Mendoza-Montoya y Javier M. Antelis

Diabetes, Inteligencia Artificial e Internet de las Cosas Médicas: nuevas tendencias en la medicina
Pág. 41 ⇒ David Enrique Hernández-Calderón, José Guillermo Hernández-Calderón

Pandemia y Tecnología: Un enfoque de la Inteligencia Artificial para la predicción de casos letales de COVID-19
Pág. 45 ⇒ Irvin Uriel Nopalera Angeles, Ángel Hernández Castañeda, Everardo Efrpen Granda Gutiérrez, René Arnulfo García Hernández y Yulia Nikolaevna Ledeneva

Usos de la Inteligencia Artificial para el diagnóstico temprano del Cáncer de la mama
Pág. 50 ⇒ José Luis Llaguno Roque, Rocío Erandi Barrientos Martínez, Tania Romo González y Héctor Gabriel Acosta

¿Pudo la Inteligencia Artificial ayudar a los médicos con información oportuna durante la pandemia de COVID-19?
Pág. 54 ⇒ Jonathan Rojas-Simón, Yulia Ledeneva y René A. García-Hernández

Innovación en la Robótica Médica para la Rehabilitación de Miembro Superior
Pág. 59 ⇒ Issy Madelein Hernández Durán, Juana Mariel Dávila Vilchis, Adriana Herlinda Vilchis González y Juan Carlos Ávila Vilchis

Columnas

Sapiens Piensa. Editorial pág. 2

e-Tlakuilo pág. 4

Estado del IArte pág. 5

Sakbe pág. 6

Deskubriendo Konocimiento pág. 64

Sapiens Piensa

Arturo López Pineda

Desde los inicios de la inteligencia artificial (IA) su estudio ha buscado resolver problemas complejos o muy grandes, desarrollando sistemas que piensan o actúen racionalmente o con alguna heurística humana. Particularmente, su aplicación en el campo de la medicina y salud ha sido una constante promesa para realizar mejores diagnósticos, seleccionar tratamientos más precisos, asistir en tareas de gran precisión médica, en la falta de personal clínico suficiente, en la bioinformática, en la medicina genómica, en la industria farmacéutica, en la educación médica y bioética, entre muchos otros.

La adopción reciente de expedientes clínicos electrónicos, sistemas de información en todos los ámbitos del sistema de salud, así como la digitalización constante, han permitido el surgimiento de bases de datos biomédicas que facilitan la aplicación de sistemas inteligentes en este campo.

En esta edición, los artículos seleccionados presentan una gran diversidad en el campo aplicado de la inteligencia artificial, empleando técnicas como aprendizaje computacional (supervisados y no-supervisados), procesamiento de señales, o procesamiento de lenguaje natural. De la misma forma, en el área médica se presentan artículos aplicados a una gran variedad de temas que incluyen las neurociencias, apoyo en la motricidad y visión, estudio del sistema respiratorio y particularmente sobre la pandemia de la COVID-19, así como el estudio de las enfermedades crónicas como la diabetes o el cáncer.

En el estudio **Inteligencia artificial en la salud: Las investigaciones en procesamiento de imágenes como apoyo al médico especialista** se muestra una tendencia creciente en México y el mundo en el número de publicaciones de IA aplicadas a la medicina, al tiempo que ofrece una ventana hacia aplicaciones concretas en distintas áreas médicas donde la IA se ha aplicado exitosamente.

En el ámbito de las neurociencias, los estudios de **Detección de dolor en la señal cerebral usando inteligencia artificial** realiza un experimento controlado utilizando electroencefalogramas (EEG) en participantes, donde después de un preprocesamiento de la señal se implementan modelos de k-vecinos, redes neuronales y discriminante lineal para separar las señales donde los participantes reportan dolor.

El grupo de trabajo de **Caracterización de señales electroencefalográficas para detectar el movimiento de las extremidades superiores** ofrece un estudio donde se describe con gran detalle la forma en que se procesan señales de EEG para identificar aquellos momentos donde los usuarios están moviendo sus extremidades.

La rehabilitación de miembros superiores es abordada en **Plataforma para Controlar un Prototipo de Prótesis de Mano mediante Comandos de Voz** aplicando una secuencia de comandos de voz que posteriormente se convierten en texto, y finalmente en acciones. Para lograrlo, se emplean redes neuronales y lógica difusa para definir la acción deseada por los comandos de voz que finalmente se transmiten a los actuadores.

Los investigadores del artículo **Innovación en la Robótica Médica para la Rehabilitación de Miembro Superior** nos muestran una revisión muy completa de la literatura biomédica y robótica para rehabilitación de brazos, hombro, codo, y dedos. Los autores ofrecen un cuadro comparativo entre ellos y nos recomiendan el uso de una robótica suave así como el diseño de nuevos prototipos.

En el proyecto de **Bastón Ultrasónico para Personas con Debilidad Visual** se explica el proceso de diseño y desarrollo de un bastón que les permitirán a los usuarios detectar más obstáculos en su entorno por medio de sensores ultrasónicos y motores de vibración.

Tras el surgimiento de la pandemia de la COVID-19, se ha potenciado el interés de los investigadores de IA por contribuir su experiencia en este campo. Tal es el caso de **Pandemia y Tecnología: Un enfoque de la Inteligencia Artificial para la predicción de casos letales de COVID-19**, donde se utilizan redes neuronales para identificar casos graves utilizando el registro epidemiológico público de México que incluye información sobre síntomas, comorbilidades, y datos demográficos de estos pacientes; especialmente en un contexto de población con altas prevalencia de obesidad, diabetes e hipertensión arterial.

Al mismo tiempo, los autores de **¿Pudo la Inteligencia Artificial ayudar a los médicos con información oportuna durante la pandemia de COVID-19?** presentan una novedosa herramienta llamada SECO-SEVA que utiliza procesamiento de lenguaje natural para estimar las características en textos biomédicos. Además de una clara descripción del algoritmo, también se propone su uso para agilizar la comprensión y clasificación de textos biomédicos.

En el estudio **Identificación de Frecuencias Respiratorias Anormales Utilizando Señales Wi-Fi y Aprendizaje Automático** se describe el uso de las señales Wi-Fi, ya disponibles en nuestros hogares y mundo moderno, para la identificación de tres estados: respiración baja (bradipnea), respiración normal y respiración rápida (taquipnea).

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

Esta tecnología ofrece una capacidad no invasiva para realizar detecciones rápidas.

Las enfermedades crónicas también están representadas en este volumen. Los autores de **Diabetes, Inteligencia Artificial e Internet de las Cosas Médicas: nuevas tendencias en la medicina** describen el panorama actual de dispositivos médicos inteligentes que se utilizan para monitorear glucosa, así como ofrecer un diagnóstico temprano.

En el artículo **Usos de la Inteligencia Artificial para el diagnóstico temprano del Cáncer de la mama** se propone una metodología que emplea imágenes de Western blood para detectar proteínas en la sangre de forma automática utilizando aprendizaje computacional. De esta manera, sería posible identificar biomarcadores específicos que sean de utilidad en el diagnóstico temprano del cáncer.

Los artículos aceptados en este volumen de Komputer Sapiens son una muestra de las posibilidades de aplicación de la IA en medicina y salud. Aunque las tecnologías de IA aplicadas no son diferentes por sí mismas de aquellas empleadas en otros ámbitos como finanzas, sustentabilidad o manufactura, el conocimiento y dominio del área médica es importante. Este acercamiento entre disciplinas es fundamental y se refleja en la forma en la cual los distintos autores abordan la temática médica, que en la mayoría de los casos tiene un enfoque multidisciplinario. Los futuros especialistas de la IA también lo serán del dominio específico que estén tratando; y las posibilidades que eso generará en beneficio de la población y la salud en general son enormes. Los invito a disfrutar estos artículos y proponer nuevos en futuras ediciones de Komputer Sapiens.✷



Arturo López Pineda es fundador y director ejecutivo de Amphora Health. Obtuvo los grados de Ingeniero en Tecnologías Computacionales y Maestro en Sistemas Inteligentes por el Tecnológico de Monterrey; Doctor y Maestro en Informática Biomédica por la Universidad de Pittsburgh; y completó su formación posdoctoral en genética y ciencia de datos biomédicos en la Universidad de Stanford. Anteriormente ha trabajado como Científico de Datos en la farmacéutica Genentech. Es exbecario Fulbright-García Robles, miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) nivel 1, y está certificado como Informático de la Salud por la Asociación Americana de Informática Médica.



Inteligencia Artificial en la medicina.
Imagen tomada de: https://iat.es/tecnologias/inteligencia-artificial/medicina/.

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

e-Tlakuilo: Cartas de nuestros lectores

Karina Figueroa y Rosa María Valdovinos
etlakuilo@komputersapiens.org

En *Komputer Sapiens* nos hemos esforzado por estar "a sólo un click de distancia" a través de diferentes medios como Facebook, Twitter y correo electrónico. Les presentamos algunas de las preguntas que hemos recibido a través de estos medios.

La Inteligencia Artificial para Predicción de la Recuperación en la Enfermedad Vascular Cerebral.

Anónimo – Estudiante de nivel Licenciatura. (vía correo electrónico)

Si los sistemas que incluyen inteligencia artificial están siendo perfeccionados y cada vez son más precisos. ¿llegará un momento en que puedan reemplazar a un médico?

Los autores, Jessica Cantillo-Negrete y Ruben I. Carino-Escobar responden:
Aún falta mucho trabajo para la creación de un sistema basado en inteligencia artificial que pueda igualar la experiencia clínica y las habilidades del personal médico. Si ese sistema se crea algún día, es difícil pensar que el resto de las características propias de la toma de decisiones clínicas, como la ética, puedan ser reproducidas fielmente por la inteligencia artificial. Por lo que, los sistemas basados en inteligencia artificial se diseñan como herramientas de apoyo para el personal médico.

¿De qué forma se asegura que los resultados que se hacen en los experimentos de laboratorio se acercan a la realidad?

Se reproducen las condiciones que se tendrían fuera del laboratorio, en este caso, las condiciones que se tendrían en la práctica clínica. Por ejemplo, se emplean datos de pacientes con la misma patología que la que se desea estudiar, como pacientes con enfermedad vascular cerebral. Además, se procura tener la mayor cantidad de información para hacer los experimentos. En el caso de estudios de pronóstico de la enfermedad vascular cerebral, se debe tener información de pacientes con diferentes grados de lesión y discapacidad. También, se realizan pruebas estadísticas que permiten estimar que tan probable es que los modelos evaluados en los estudios tengan un buen desempeño en la realidad.

Importancia de la minería de opinión en redes sociales en español.

Anónimo – Estudiante de nivel Licenciatura. (vía correo electrónico)

Hoy día muchos jóvenes utilizan una escritura mezclada e irregular, en la que combinan símbolos especiales con letras. En el entendido que parte del proceso de lenguaje natural es eliminar símbolos especiales, ¿Qué tanto del mensaje quedaría si una gran cantidad de caracteres del mensaje son símbolos? Además, en el área de opinión, la proveniente de los jóvenes hoy día es muy importante.

Los autores, Fernando Monroy, Janeli Astorga y Gizeth Aleli Castro Orellana responden:
En cuanto al tratamiento de los símbolos especiales, no es necesario eliminarlos, ya que pueden contener información que puede afectar la polaridad del texto. Actualmente existen herramientas como:
El lexicón para el preprocesamiento de redes sociales de Posadas-Duran (2015) el cual contiene abreviaciones, contracciones, emoticones y modismos; en varios idiomas, entre ellos el español, con lo cual podemos mejorar la etapa de preprocesamiento, he incluir en nuestro análisis las nuevas variantes de escritura de los jóvenes.



© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

Estado del IArte

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

Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en medicina

Hace todavía algunos pocos años podíamos leer en las principales revistas de investigación del mundo encabezados como estos: "la inteligencia artificial (IA) se usará para ofrecer medicina personalizada, IA para la detección temprana del melanoma, la IA nos ayudará a entender mejor las secuelas del COVID-19, la IA nos permitirá combatir el Alzheimer, la IA facilitará el diagnóstico de pacientes con cancer, la IA acelerará el estudio de la malaria, IA para predecir la respuesta a la inmunoterapia, la IA mejora el diagnóstico de infarto y demencia, la IA tiene potencia para combatir ceguera", entre muchos otros.

Hoy en dia, algunos pocos de esos encabezados son ya una realidad. En todo el mundo se hacen grandes inversiones para fondear emprendedores de tecnologías de IA, de manera particular, en EUA se estima que se han destinado 3000 millones de dólares en 2020. Uno de los principales casos de éxito está relacionado con el estudio de proteínas. La importancia de ello radica en que estas participan en cada proceso biológico a través de interacciones con otras proteínas. Considerado uno de los grandes retos de la biología, *desmenuzarlas* es uno de los grandes retos de la biología, ya que así pueden derivarse nuevas curas, nuevas drogas, y nuevos tratamientos para diversas enfermedades. Haciendo uso de herramientas de la IA, la comunidad científica tiene hoy en día la posibilidad de diseñar y recrear proteínas, incluso proteínas aún no descubiertas.

En la Universidad de Washington, un equipo liderado por el Dr. David Baker, han trabajado en el campo de la biología estructural por años y ha sido capaz de producir la estructura en 3D de proteínas basándose únicamente en secuencias de aminoácidos. También, haciendo uso de algoritmos de aprendizaje profundo, han logrado crear anticuerpos para combatir virus comunes que anteriormente eran mortales. Esta "*mente digital*", como ellos la llaman, encontró soluciones perfectas de anticuerpos. El Dr.Baker explica que el algoritmo encuentra el lugar correcto en la proteína viral para dejar vulnerable al virus. Esto nos está permitiendo hacer cosas que antes no pensábamos que fueran posibles, dice Baker. Para saber más puede consultar[1](en inglés).

AlphaFold, una IA desarrollada por DeepMind, capaz de predecir la estructura de 350,000 proteínas en 2021, incluyendo buena parte de las proteínas del ser humano, está en la noticias nuevamente. Sus creadores anunciaron recientemente que su IA es ahora capaz de predecir más de 200 millones de proteínas en 3D. Haciendo uso de varias técnicas de aprendizaje profundo y décadas de trabajo experiemental, esta IA ha sido entrenada para predecir la forma que tienen las proteínas. La primera parte de las predicciones fue compartida como una base de datos pública a través del laboratorio de biología molecular europeo perteneciente al Instituto de Bioinformática Europeo. Con estas investigaciones se han desarrollado nuevas vacunas contra la malaria. También han servido para entender mejor la enfermedad de Parkinson, cómo proteger la salud de las abejas, la evolución humana, entre otros temas, incluyendo la enfermedad de chagas y el leishmaniosis. Para saber más puede consultar[2](en inglés).

Por años la comunidad científica en el área de la salud, especificamente los interesados en las proteínas, ha estado diseñando y experimentado con diversas técnicas, por ejemplo las han bombardeado con rayos X bajo potentes microscopios electrónicos, para entender mejor el proceso de desmenuzarlas y descubrir sus secretos. Tales procedimientos requieren de una gran cantidad de recursos tanto humanos como materiales, así como económicos, pero sobre todo requieren de una gran cantidad de tiempo, es decir, son procedimientos bastante lentos. Podemos decir que la IA ha transformado el campo de la predicción de la estructura de proteínas en los últimos años. Y, aunque no todo está resuelto, de hecho hace falta mucho camino por recorrer, a partir de hoy nos encontramos ya en la siguiente fase: la de la transformación del diseño de proteínas gracias al uso de la IA.✷

[1] https://www.science.org/doi/10.1126/science.abn2100
[2] https://www.nature.com/articles/s41586-021-03819-2

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

Sakbe

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

Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en la medicina

En todo el mundo, los sistemas de salud enfrentan grandes dificultades, algunas pueden ser la falta de acceso a los servicios, los altos costos, residuos tóxicos, una población de mayor edad, pandemias como la del coronavirus (COVID-19), entre otros (ONU, 2022).

El sistema de salud en México, hoy en día, es una de las estructuras más complejas. Se ha logrado dar atención de primer nivel a un gran sector de la población; desafortunadamente, la situación se ha agravado más derivado a la situación por SARS-CoV-2 (COVID-19). Actualmente, por la crisis sanitaria, ha habido un aumento presupuestal para el sector salud. Se destinarán $ 824,181 millones de pesos (mdp), esto significa un incremento de 0.37 % del PIB respecto al 2021, lo cual, de acuerdo con la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), no es suficiente debido a que enfermedades como la diabetes, la obesidad y los problemas cardiovasculares no se han detenido, al contrario, han aumentado, y ahora se ha sumado el virus COVID-19 (Nicte Ha Parra Aguayo, 2022).

Las organizaciones que usan la inteligencia artificial (IA) en la medicina desarrollan sistemas que ayudan a los pacientes en todos los niveles de la sociedad. Estas están innovando, transformando y robusteciendo rápidamente el cuidado y atención médica de la humanidad a través de tecnologías que pueden analizar, predecir, entender, aprender y actuar. Esto puede ayudar a eliminar los métodos de monitoreo de datos que consumen mucho tiempo, y todos sabemos que para algunas enfermedades el tiempo es un factor importante; en este aspecto, una de las aportaciones importantes es el manejo de volúmenes masivos de datos para producir resultados altamente precisos cuando se hacen estudios clínicos asistidos por IA (Shaheen, 2021) (El hospital, 2022).

Mararetta Colangelo (2022) comparte una extensa investigación de aplicaciones de la IA en su página (`https://es.linkedin.com/pulse/inteligencia-artificial-en-el-cuidado-de-la-salud-puntos-colangelo`). El informe incluye un análisis de aplicaciones de IA exitosas en las siguientes áreas: secuenciar el ADN y diagnosticar enfermedades raras, predecir la fibrilación auricular, mejorar el diagnóstico de enfermedades cardíacas, descubrir un nuevo candidato a fármaco para tratar el COVID-19, predecir si una persona experimentará un paro cardíaco, identificar cálculos renales endoscópicos difíciles de detectar y, por primera vez, diagnosticar con precisión la enfermedad de Parkinson en una etapa temprana. En este estudio se menciona que científicos de la Université Lorraine en Francia en colaboración con el Hub de IA del Tec de Monterrey en México están trabajando con aprendizaje automático y aprendizaje profundo para ayudar a los urólogos a reconocer cálculos renales endoscópicos difíciles de detectar en imágenes.

Por otro lado, la UNAM crea una App para medir la huella de salud (`https://unamglobal.unam.mx/crean-en-la-unam-app-para-medir-la-huella-de-salud/`). La aplicación mide el impacto de los hábitos alimenticios y actividad física no sólo en la salud sino también en el medioambiente. Con esta app se busca que el usuario tome conciencia del impacto que tienen su alimentación y su actividad física en su salud.

En el Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, con ayuda de la IA, se diseñó una aplicación (`http://covid19.cdmadero.tecnm.mx/`) que propone el uso de modelos matemáticos de soporte a la toma de decisiones por parte de las autoridades de salud para la reducción del impacto socio-económico de la pandemia de COVID-19 mediante el modelado de parámetros importantes que están relacionados con la sociedad.

La inteligencia artificial llegó para quedarse; en lugar de pensar en que reemplaza a los trabajadores, más bien los complementa con modernos métodos de una inteligencia avanzada. Para saber más de este tema consulta:

- Parra Aguayo Nicte Ha; (2022). Panorama de la salud para México en el 2022, `https://www.icel.edu.mx/blog-panorama-salud-2022/`.
- El hospital.com (2022). Inteligencia artificial para el sector de la salud, `https://www.elhospital.com/es/blog/inteligencia-artificial-para-el-sector-de-la-salud`.
- Organización de las Naciones Unidas, (2022). `https://news.un.org/es/story/2022/02/1503842#:~:text=La%20OMS%20destaca%C3%B3%20la%20capacidad,la%20atenci%C3%B3n%20sanitaria%2C%20entre%20otros`.
- Shaheen Mohammed Yousef (2021), Applications of Artificial Intelligence (AI) in healthcare: A review, 10.14293/S2199-1006.1.SOR-.PPVRY8K.v1. `https://www.scienceopen.com/hosted-document?doi=10.14293/S2199-1006.1.SOR-.PPVRY8K.v1`
- Gómez-González, E., Artificial Intelligence in Medicine and Healthcare: applications, availability and societal impact, Gomez Gutierrez, E. editor(s), EUR 30197 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-18454-6 (online), doi:10.2760/047666 (online), JRC120214.

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

ARTÍCULO ACEPTADO

Caracterización de señales electroencefalográficas para detectar el movimiento de las extremidades superiores

Karina I. Espinosa Espejel, Roberto W. Escorcia Varela, Liliam Rodriguez Guerrero, Rocío Ortega Palacios y Jesús Ricardo López Gutiérrez

Introducción

Una Interfaz Cerebro Computadora (ICC) es un dispositivo que permite tener comunicación directa de las señales eléctricas generadas por el cerebro y mediante comandos de una computadora se controla o activa el funcionamiento de otro dispositivo [1]. Las interfaces cerebro computadora son cada vez más importantes ya que nos permiten interactuar con el mundo de una forma cada vez más natural. Esto permite que las personas con alguna discapacidad motora, por ejemplo, tengan la posibilidad de interactuar con el entorno mediante la actividad eléctrica de su cerebro [2].

Las ondas cerebrales se pueden clasificar en cuatro tipos: ondas alfa, ondas beta, ondas delta y ondas gamma. Las ondas alfa se originan cuando estamos relajados y nos encontramos en un estado de vigilia. Las ondas beta se originan cuando estamos activos. Las ondas gamma se originan cuando estamos en estado de alerta y las señales delta se producen durante el sueño REM (Rapid Eye Movement) y pueden ser un indicador de estado de conciencia. En esta investigación nos enfocaremos principalmente en las ondas mu que son una variante de las ondas alfa y en las ondas beta.

La ICC se basa en la tecnología de la electroencefalografía (EEG), que adquiere las señales de la actividad eléctrica en el cerebro generadas por las neuronas. La captura de estas señales se realiza por medio de electrodos que se adhieren a la superficie del cráneo para registrar las señales cuando se realizan actividades mentales, como pensar, hablar, realizar algún movimiento o escuchar [3].

La función de una ICC es adquirir las señales de EEG, para interpretar la acción deseada por el usuario, procesando, caracterizando y clasificando estás señales para convertirlas en órdenes para controlar una computadora o un dispositivo como por ejemplo una silla de ruedas.

En este artículo se presenta una forma de caracterizar señales EEG durante la actividad motora de las extremidades superiores, adquiridas con el sistema de EEG Aura Neurotech [4], utilizando los eventos relacionados con la sincronización y desincronización. Estos eventos representan cambios en la frecuencia de la señal y aumento o disminución de la potencia en estas frecuencias determinadas. De esta manera pueden detectarse diferencias de actividad motora realizadas con la mano derecha e izquierda.

Actualmente, estos sistemas están siendo utilizados como forma de comunicación, control de dispositivos e incluso para rehabilitación de funciones neuromotoras [5] [6].

Los métodos de caracterización de las señales electroencefalográficas consisten analizar las frecuencias dominantes y la potencia de la señal. Otros métodos obtienen patrones característicos mediante descomposición de la señal en diferentes frecuencias con una función madre (descomposición wavelet) [5]. Los eventos relacionados con la sincronización y desincronización permiten el análisis visual y la caracterización en representaciones de tiempo-frecuencia.

La caracterización de las señales EEG permite determinar sus rasgos característicos de manera que resultan inconfundibles, además, permite reducir el ruido de los datos para implementar algoritmos de inteligencia artificial mejorando con esto la precisión de los resultados de los algoritmos de aprendizaje automatizado. También puede mejorar la eficiencia de los algoritmos, ya que los modelos tienen información representativa para aprender.

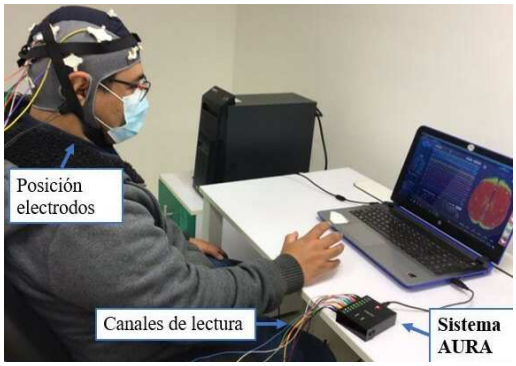


Figura 1. Adquisición de las señales EEG mediante el sistema Aura.

Existen diferentes autores que hacen referencia a que el imaginar movimientos y realizarlos generan ondas similares en el cerebro y esto permite que los pacientes recuperen su capacidad motriz [6].

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

Metodología de adquisición

Las señales eléctricas cerebrales se capturan de 8 electrodos y los datos se envían a la computadora para ser analizados.

En la Figura 1, se muestra la adquisición de las señales mediante el sistema EEG Aura Neurotech conectado a la computadora. Se utiliza el sistema internacional 10/20, que hace referencia al 10 % y 20 % de distancia en la que deben estar colocados los electrodos en el cráneo: F4, C4, P4, T4, F3, C3, P3, T3 (Figura 2).

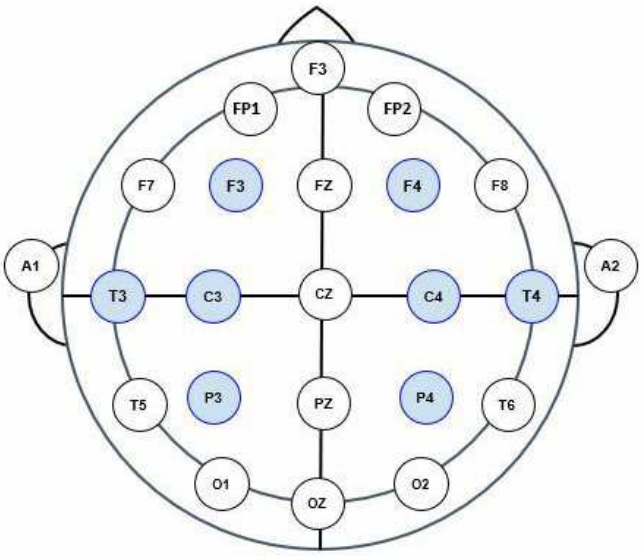


Figura 2. Colocación de los electrodos en el paciente.

Descripción de las pruebas

Se realizaron un total de 30 pruebas del movimiento de ambas manos, las cuales consisten en grabaciones de 3 segundos de la señal en estado de reposo y 5 segundos de la señal en la realización del movimiento. El paciente sigue las instrucciones visuales para ejecutar las acciones de los estados de referencia y movimiento. Para indicar el estado de referencia se muestra una cruz en la pantalla y para indicar el estado de movimiento se utiliza una flecha para señalar la mano que el sujeto moverá. El estado de referencia consiste en que el sujeto se encuentra mirando hacia enfrente sin parpadear y con las manos en reposo. El estado de movimiento consiste en que el sujeto abre y cierra de manera continua la mano apretando una pelota de goma. Al final de la prueba se muestra una pantalla azul con duración aleatoria de 3-5 segundos, que indica que el paciente puede descansar y parpadear. En la Figura 3 se observa la estructura de la prueba experimental y sus respectivas guías visuales.



Figura 3. Estructura de la prueba experimental y guías visuales.

En la Figura 4-A se observa la etapa de referencia o de línea base (señalada en azul) y la guía visual es una cruz (señalada con amarillo). En la Figura 4-B se muestra la etapa de movimiento de la mano y la guía visual que es una flecha.

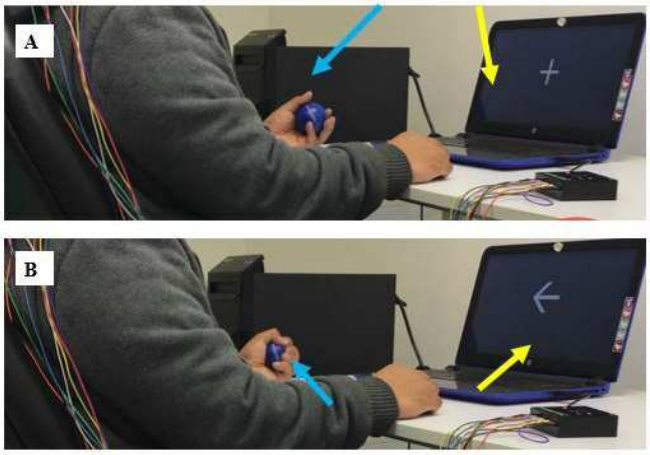


Figura 4. Etapas de la prueba experimental:65 A) Reposo, B) Movimiento de la mano.

Sincronización y desincronización relacionada a eventos

La sincronización y desincronización relacionada a eventos se utiliza para realizar la caracterización de las señales EEG. La sincronización y desincronización relacionada a eventos (ERS/ERD por sus siglas en inglés Event Related to Sincronization/ Event Related to Desincronization) son eventos relacionados al potencial eléctrico con cambios en la actividad neuronal generada por estímulos sensoriales. Los fenómenos relacionados a eventos representan cambios específicos de frecuencia de la actividad cerebral y consisten en el decremento o incremento de potencia en las bandas de frecuencia dadas. Esto se debe al decremento o incremento de la sincronía en la población neuronal [7].

Para calcular el evento ERD/ERS se considera la banda de frecuencia sensoriomotora (8-30 Hz) y se realiza un procesamiento mediante dos filtros pasa banda mu (8-12 Hz) y beta (12-30 Hz) (Figura 5). Según [8],

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

los electrodos que se encuentran en la corteza motora primaria del cerebro son los electrodos con nomenclatura C3, C4 y Cz que corresponden a la región central (C-central). El electrodo C3 denota al electrodo en la región central que se encuentra del lado izquierdo y C4 al electrodo en la misma región en el lado derecho (según la convención el número impar se asigna al hemisferio izquierdo del cerebro y el número par se asigna al hemisferio derecho), como se observa en la Figura 2. Los canales que se utilizan para el análisis ERD/ERS según [6], son los canales C3 y C4, los cuales han mostrado una respuesta relevante en los cambios de las señales al ejecutar un movimiento.

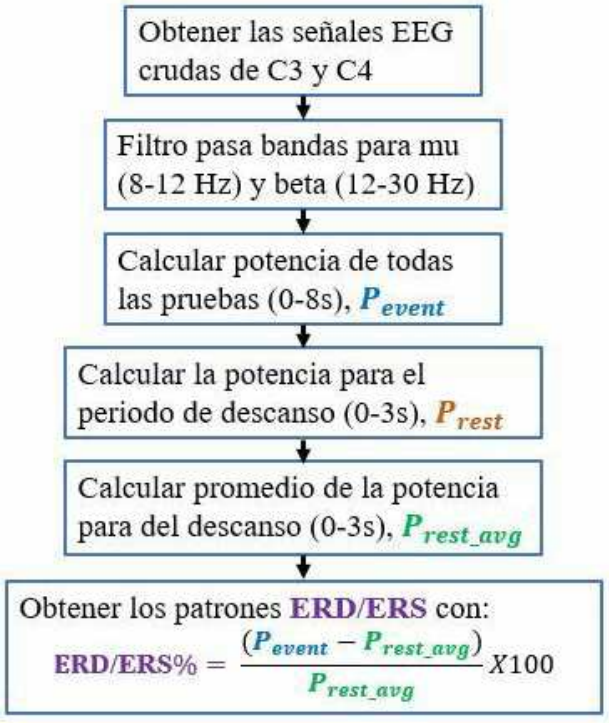


Figura 5. Cálculo ERD/ERS.

Se calcula la potencia considerando una ventana de tiempo de 0-8 segundos para el conjunto de todas las pruebas en los canales C3 y C4 (P_evento). Después, se calcula la potencia considerando una ventana de tiempo de 0-3 segundos para el período de reposo y se repite para todas las pruebas (P_rest). Se calcula el promedio de la potencia en reposo (P_rest-avg). Los patrones ERD/ERS con respecto al tiempo se obtienen restando el promedio de la potencia en reposo a la potencia de las pruebas, se divide entre el 100 % del promedio de todas las pruebas, como se muestra en la Figura 5.

Resultados ERS/ERD

Se presentan las gráficas resultantes del algoritmo ERS/ERD descrito en la Figura 5. El proceso ERS/ERD de mano derecha se muestra en la Figura 6, el electrodo C4 (que corresponde al electrodo en la región central en el hemisferio derecho) muestra el proceso de ERD, mientras que el electrodo C3 (que corresponde al electrodo en la región central en el hemisferio izquierdo) muestra un proceso de ERS. En la Figura 7 se muestra el comportamiento de las señales con el movimiento de la mano izquierda y el proceso contrario que corresponde con el movimiento realizado, es decir, C4 muestra el proceso de ERS y C3 el proceso ERD.

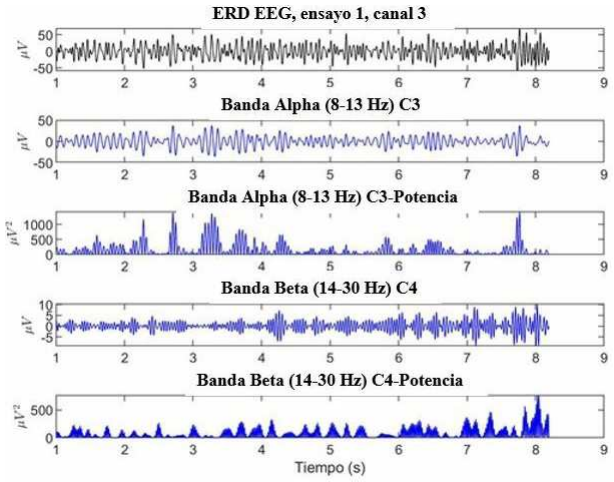


Figura 6. Proceso ERS/ERD mano derecha. C4-ERD, C3-ERS.

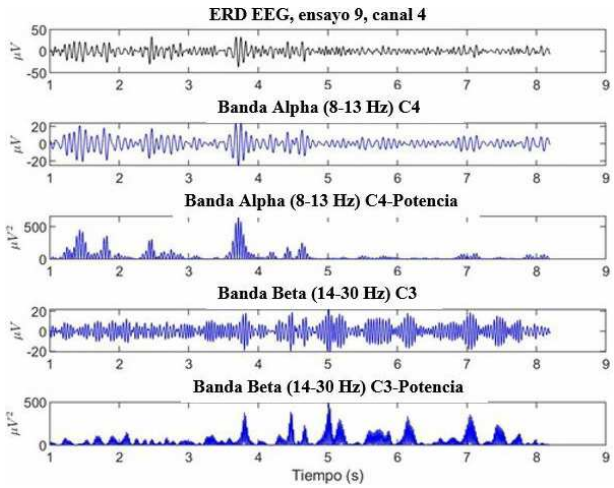


Figura 7. Proceso ERS/ERD mano derecha. C4-ERD, C3-ERS.

Se obtienen las Representaciones Tiempo-Frecuencia (RTF) de las señales electroencefalográficas (Figuras 8 a 11), las cuales consisten en la representación de la potencia en un rango de frecuencia a través del tiempo. Este tipo de representaciones tienen un eje que corresponde

al tiempo, otro eje que corresponde a la frecuencia y una variación de color que corresponde a la potencia.

En las figuras presentadas (Figuras 8 a 11), el eje horizontal del tiempo tiene la duración de los ensayos que es de 0-8 s. El eje vertical de la frecuencia en Hertz (Hz) va de 8-30 Hz y la barra de color que representa la potencia de la señal muestra en color azul el valor mínimo de la potencia y en amarillo el máximo valor en la RTF.

En la Figura 8 se muestra la RTF del electrodo C3 del movimiento de mano derecha con una ocurrencia del Evento Relacionado a Sincronización, es decir la potencia de la señal en el periodo del movimiento aumenta con respecto a la línea base en el rango de frecuencias de 8-15 Hz que corresponde a la banda mu.

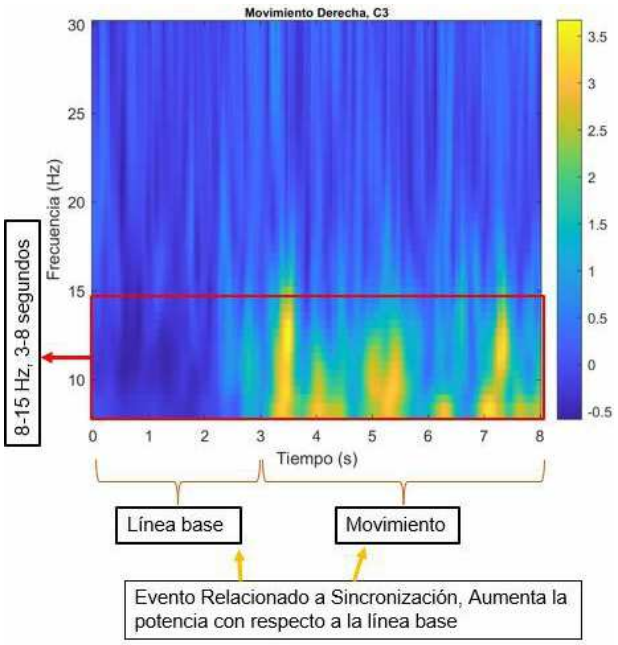


Figura 8. RTF- C3 Derecha.

La Figura 9 muestra la RTF del electrodo C4 del movimiento de mano derecha y la potencia del periodo del movimiento con respecto a la línea base aumenta ligeramente y vuelve a disminuir, presentando un Evento Relacionado a Desincronización.

En la Figura 10 se muestra la RTF del electrodo C3 del movimiento de mano izquierda con una ocurrencia del Evento Relacionado a Desincronización, es decir la potencia de la señal en el periodo del movimiento disminuye con respecto a la línea base en el rango de frecuencias de 9-13 Hz. Lo que corresponde a una desincronización, esto se nota en un cambio de tono azul que corresponde a un cambio de potencia en la actividad cerebral. Esto sucede a los 3 segundos, que es el tiempo en el que se solicita al usuario mover la mano.

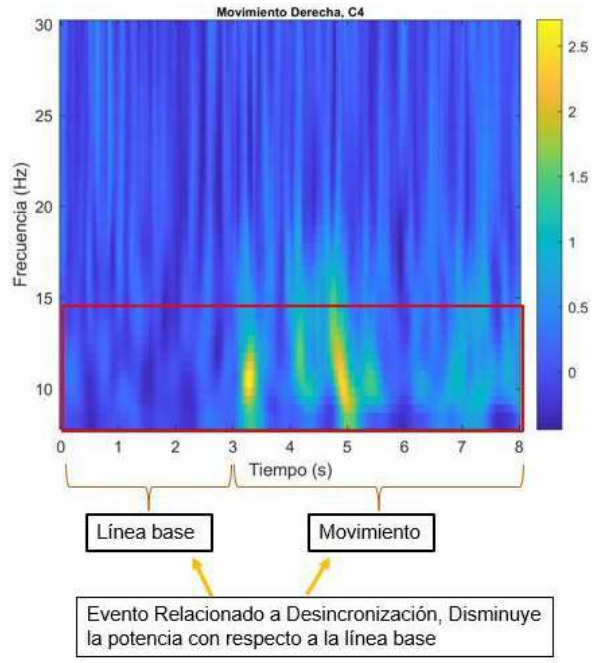


Figura 9. RTF- C4 Derecha.

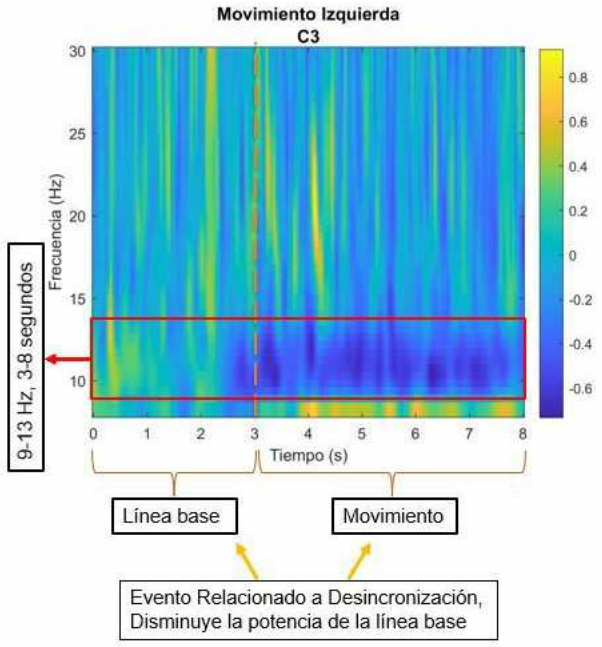


Figura 10. RTF- C3 Izquierda.

En la Figura 11 se muestra la RTF del electrodo C4 del movimiento de mano izquierda y la potencia del periodo del movimiento con respecto a la línea base se mantiene.

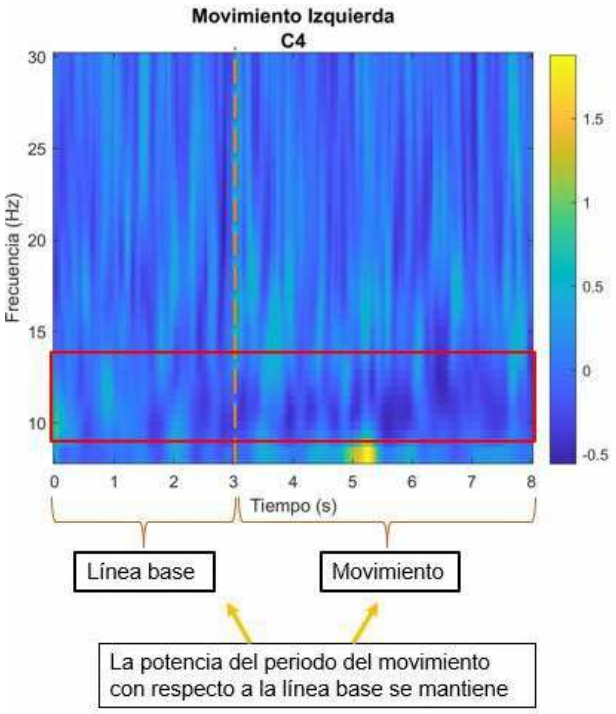


Figura 11. RTF- C4 Izquierda.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en este trabajo demuestran que la caracterización de señales EEG durante tareas motoras de las extremidades superiores pueden ser diferenciadas de manera adecuada para su posterior clasificación mediante herramientas de inteligencia artificial, lo cual permitirá controlar dispositivos diferenciando el movimiento de cada una de las manos y lograr dos tareas diferentes dependiendo de la intención del usuario. Este trabajo es el inicio de un proyecto para controlar un exoesqueleto de miembros superiores el cual asistirá a usuarios que sufran algún tipo de distrofia muscular y que a partir de las señales cerebrales pueda controlarlo, de tal forma que el usuario pueda decidir si quiere mover la mano derecha o la mano izquierda para sujetar un objeto, devolviéndole parte de la movilidad perdida. Este trabajo se considera un proyecto sostenible debido a que permite la readaptación de actividades de personas con distrofia muscular a la sociedad, así como, mejorar la calidad de vida del usuario.✷

REFERENCIAS

1. Jerry, J., (2012). Brain-Computer Interfaces in Medicine. Recuperado 1 de marzo de 2022 de `https://bit.ly/3AvMOVu`.
2. Aya, R., Benda ,M., Stawicki, P., Gembler, F., Saboor, A. y Volosyak, I. (2018). Brain–Computer Interface Spellers: A Review. *Brain Sciences*, 8(4), 57.
3. Sepúlveda, R. (2014). Clasificación de señales encefalográficas mediante redes neuronales artificiales. *Computación y Sistemas*, 19(1), 69–88.
4. Aura (2022). Biosignals Monitoring. Recuperado el 7 marzo de 2022, de `https://aura-neuro.tech/`.
5. Moreno, I., Batista, E., Serracin, S., Moreno, R., Gómez, L., Serracin, J., Quintero, J. y Boya, C. (2019). Los sistemas de interfaz cerebro-computadora basado en EEG: características y aplicaciones. *I+D Tecnológico*, 15(2), 13–26.
6. Ramos, A., Garay, L. y Tovar, B. (2018). Tuning Methodology for a Hybrid BCI. *IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC)*, 1-6.
7. Xie, J., Jiang, L., Li, Y., et al. (2021). Rehabilitation of motor function in children with cerebral palsy based on motor imagery. *Cogn Neurodyn*, 15(6), 939-948.
8. Pfurtscheller, G. y Lopes da Silva, F. (1999). Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles. *Clin Neurophysiol*, 110(11), 1842-57.

SOBRE LOS AUTORES



Karina Isabel Espinosa Espejel es estudian- te de doctorado en el Laboratorio UMI LAFMIA. Obtuvo su grado de maestría en Ciencias en Sistemas de Navegación Aérea y Submarina en la UMI LAFMIA- CINVESTAV en la Ciudad de México en el 2021. Sus intereses de investigación incluyen los dispositivos robóticos para rehabilitación y el procesamiento de señales biológicas.



Roberto Williams Escorcia Varela es estudiante de posgrado en la Universidad Politécnica de Pachuca en el área de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TICs). Obtuvo su grado de Ingeniero en Software en la Universidad Politécnica de Pachuca. Sus intereses de investigación incluyen la inteligencia artificial y el análisis de datos.

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691



Jesús Ricardo López Gutiérrez pertenece al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) Nivel C desde 2016. La línea de investigación principal es la aplicación del control automático en sistemas robóticos. Trabajando en el Laboratorio UMI LAFMIA 3175 CNRS. Desde enero del 2009 a la fecha. (Unité Mixte Internationale, Laboratoire Franco-Mexicain d'informatique et Automatique).



Liliam Rodríguez Guerrero obtuvo el grado de Doctora en Ciencias en Automatización y Control del Departamento de Control Automático del Centro de Investigación y estudios avanzados del Instituto Politécnico Nacional, en 2016. Actualmente es profesora investigadora en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I. Sus intereses científicos incluyen control de sistemas con retardos, sistemas inteligentes, y control avanzado implementado en controladores industriales



Rocío Ortega Palacios realizó estudios de maestría y doctorado en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV-IPN) en el departamento de Ingeniería Eléctrica en la sección de Bioelectrónica. Actualmente es miembro del Sistema Nacional de Investigadores nivel C del CONACYT, cuenta con el reconocimiento al perfil deseable SEP-PRODEP.

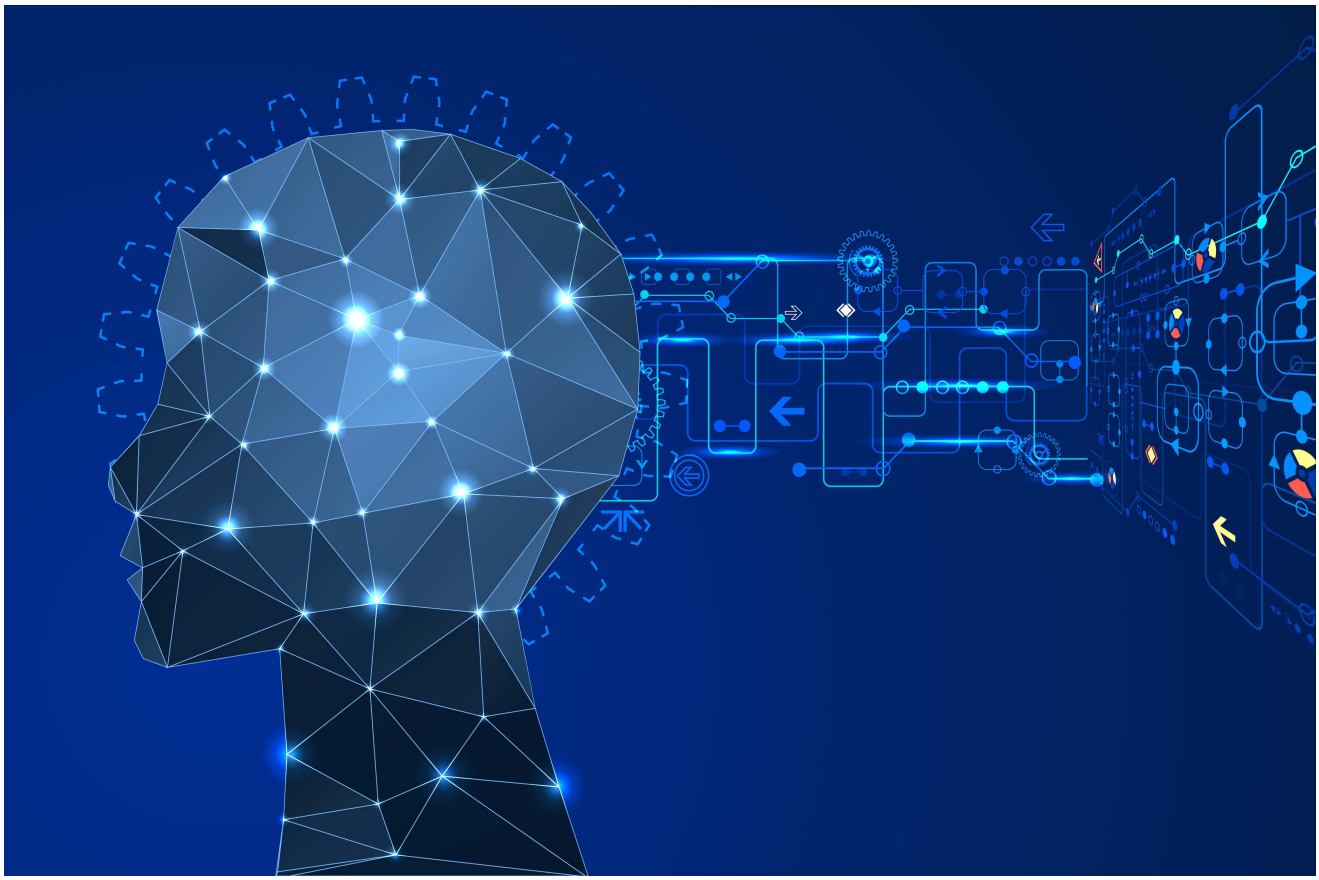


Imagen tomada de: `https://neuroscience.stanford.edu/`.

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

ARTÍCULO ACEPTADO

Plataforma para controlar un prototipo de prótesis de mano mediante comandos de voz

Erick Javier Sánchez Garnica, Liliam Rodríguez Guerrero, Rocío Ortega Palacios y Omar Jacobo Santos Sánchez

Introducción

Manipular un brazo robótico para cirugía remota, mantener la temperatura de una habitación, modular la velocidad de un motor, conservar el nivel de saturación de un compuesto químico en un fluido; todos estos son ejemplos de controladores, es decir, agentes que se encargan de administrar un proceso para que realice su tarea. A lo largo de la historia, la teoría de control ha generado muchas técnicas para cumplir su objetivo; con la llegada de las computadoras, estas técnicas evolucionaron y comenzaron a utilizarse para mejorar su efectividad. El motivo de esta incorporación se debe a que la teoría de control se sirve de multitud de operaciones matemáticas, bastante complejas en muchos casos, que necesitan de los procesadores pues éstos son dispositivos muy eficientes para resolverlas. Sin embargo, no en todas las ocasiones se cuenta con una computadora potente para realizar estos cálculos; tal es el caso de los microcontroladores, los cuales son dispositivos con recursos muy reducidos, pero con gran capacidad portable por sus dimensiones.

Un ejemplo de lo anterior, es controlar un prototipo de prótesis de mano, el cual debe ser un dispositivo ligero y portátil, lo que implica el uso de un microcontrolador (Microcontroller Unit, MCU). En lo que toca al control, se necesita que cada dedo pueda moverse de forma independiente al resto, lo que conlleva a que, para manipular la mano, sea necesario controlar cada uno de los cinco dedos. Desde luego, al tratarse de un dispositivo móvil, todo el sistema debe ser alimentado por baterías, lo que obliga a que la técnica de control no se limite a realizar el trabajo, sino que lo haga empleando la menor cantidad de energía posible.

Cuando se refiere a prótesis de cualquier tipo, es común el empleo de señales mioeléctricas, adquiridas a través de sensores que, simplificando, convierten los impulsos eléctricos de los músculos en señales que pueden ser interpretadas por un dispositivo electrónico. Son estas señales las que indican a la prótesis la actividad que debe realizar. Sin embargo, de acuerdo con [1] se ha detectado que los pacientes reportan una fatiga muscular importante, llevándolos en algunos casos, a abandonar el uso del dispositivo. Es precisamente por esta razón que, en el presente trabajo, se propone sustituir estos sensores por comandos de voz que el paciente pueda dictar mediante una interfaz web, también desarrollada en este proyecto.

Para conocer la posición de los dedos en el espacio, se propone el uso de Unidades de Medición Inercial (IMU) [2] y, para tener control de todas las operaciones necesarias, se utilizan técnicas de multitarea y paralelismo en la programación del MCU.

En resumen, en el presente proyecto se propone una plataforma para controlar un prototipo de prótesis de mano que considera, un diseño de dedos que tengan movimiento libre, cuya posición será calculada a través de IMUs y manipulada mediante un control Proporcional–Integral (PI) óptimo, el cual se sintoniza siguiendo la aproximación mostrada en [3]. Dicho control no solamente cumplirá la tarea de mover los dedos a una posición deseada, sino que también la realizará con el menor gasto de energía posible, ya que minimiza un índice de desempeño que involucra tanto a la señal de respuesta (posición deseada) como a la de control aplicada a los servomotores (servos). La programación se realiza en un MCU, mediante técnicas de multitarea en paralelo, todo esto manipulado por el usuario a través de comandos de voz dictados a una interfaz web.

Desarrollo

Este trabajo se compone de diversas partes, siendo el propio prototipo la piedra angular. El diseño está basado en el modelo de código abierto mostrado en [4]. En cuanto a la impresión 3D, se utilizó Ácido Poliláctico (PLA), el cual está fabricado con almidón de maíz, con la intención de que este proyecto no abarcara únicamente la mejora de los pacientes, sino que también fuera lo menos agresivo con el ambiente. La Figura 1 muestra el prototipo totalmente impreso y ensamblado.

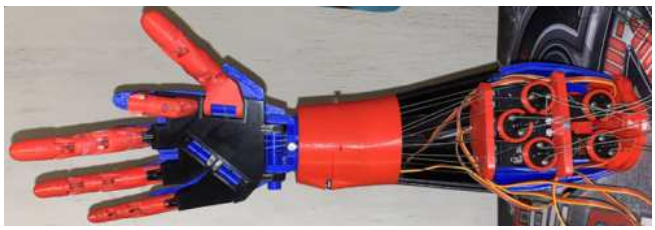


Figura 1. Prototipo de prótesis de mano utilizado.

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

La arquitectura global de la plataforma propuesta se compone de una aplicación web (servidor) a través de la cual el usuario establece las referencias en las que desea se posicionen los dedos; estos valores son enviados, mediante el protocolo de Transporte de Telemetría de Mensajes Encolados (MQTT) [5], hacia el MCU que a su vez, se encarga de calcular la energía necesaria para que los servos se muevan y enviarla al prototipo a través del protocolo de comunicación de Circuito Interintegrado (I^2C), haciendo que los dedos se coloquen en la forma solicitada inicialmente por el usuario. Un bosquejo de esta plataforma se puede apreciar en la Figura 2.

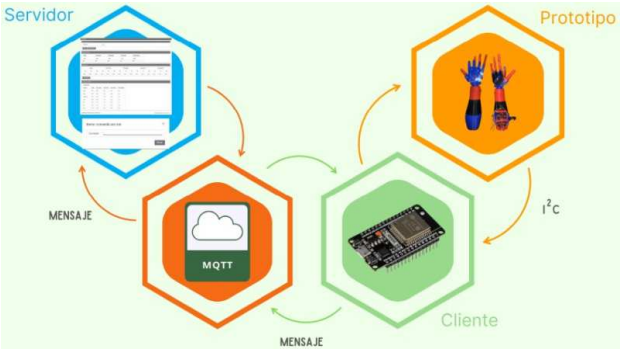


Figura 2. Arquitectura general de la plataforma de control propuesta.

Partamos del sistema más básico: un dedo. Éste se mueve mediante la acción de un servo y, para simplificar su desarrollo, se suele restringir la trayectoria que sigue, es decir, que los movimientos de flexión y extensión sean siempre los mismos, lo que implica que no se puedan sujetar objetos con forma irregular, ya que para lograr esto, es necesario que tengan un movimiento libre [6].

La complejidad de lo expuesto anteriormente se deriva del hecho que, para lograr este tipo de movimiento, es necesario conocer la posición que tienen los dedos en todo momento, ya que no puede inferirse por la posición misma del servo. Esto conlleva a la necesidad de tener algún tipo de sensor que cumpla esta tarea, razón por la cual se colocó una IMU en la falange distal (sobre la "uña"), esta permite obtener su posición en el espacio.

Para mover el dedo se utiliza un arreglo de doble tendón no enlazado, es decir, un par de hilos que corren por el interior del dedo y que no están unidos en el extremo del mismo; esto último es fundamental para que el dedo tenga un mayor rango de movimientos, lo que a su vez, permitirá a la mano sujetar objetos irregulares. Finalmente, los tendones son manipulados por un servo, el cual dependiendo del sentido en que gire, generará las acciones de flexión y extensión del dedo.

Con lo anterior, es posible determinar las operaciones que el controlador del dedo debe realizar. Lo primero es leer su posición mediante la IMU; este valor se manipula a través de operaciones matemáticas, obteniendo como resultado la forma en que debe moverse el servo para que el dedo se posicione en el lugar deseado. Este proceso se repite constantemente.

Si bien, el proceso descrito pareciera sencillo, en la realidad conlleva más operaciones; por ejemplo, la IMU entrega la posición en forma de ángulos de aceleración y movimiento inercial, ya que cuenta con acelerómetro y giroscopio (los mismos que usa un celular para saber cuándo debe voltear la pantalla). Debido a que estos se presentan entre $-90°$ y $90°$, es necesario realizar algunas transformaciones para obtener la inclinación entre $0°$ y $360°$, lo que nos indicará la posición.

Para el control, se utiliza un PI óptimo (controlador de tipo Proporcional e Integral, cuya trayectoria es óptima; es decir, que minimiza el consumo de energía), y aunque su funcionamiento es complejo, bastará con mencionar que conlleva un número importante de procedimientos matemáticos no triviales. Finalmente, el resultado de estas operaciones, genera el valor de energía que debe aplicarse al servo para que este se mueva a la posición deseada, completando con esto un ciclo, mismo que se repetirá constantemente en tanto el dispositivo se encuentre en funcionamiento.

Lo explicado anteriormente, permite el control de un dedo; sin embargo, para poder controlar de esta forma a los cinco y que éstos funcionen de forma independiente, es necesario un mayor poder de cómputo por parte del MCU, por lo que se incorporaron técnicas de multitarea y paralelismo en su programación. Esto implica que las operaciones a realizar deben agruparse en tareas y ser encapsuladas en su propio bloque de código para luego ser inyectado, junto con los parámetros de tiempo de espera y procesador anclado, en el Sistema Operativo en Tiempo Real (RTOS) [7] incorporado en el MCU.

Como anotación al margen, para este proyecto se utiliza un MCU ESP32 [8]; su elección se basó en que ofrece, entre otras prestaciones, un procesador de doble núcleo y un RTOS capaz de administrar multitarea. Las tareas con las que trabajará el MCU son las siguientes:

- Conectarse al servidor MQTT y permanecer a la espera de recibir las referencias de posición por parte del usuario.
- Comparar la posición actual del dedo con la deseada por el usuario y la diferencia (error) se utilizará como entrada del control PI óptimo, el cual, a través de otra serie de operaciones matemáticas, cal-

cula la energía necesaria para mover el servo. Dicho valor se almacena en un espacio de memoria global (EMG) al que todas las tareas tienen acceso.

- Obtener de la IMU los valores de Aceleración y Movimiento Angular entregados por el Acelerómetro y el Giroscopio. Con estos valores se calcula la inclinación y por ende se obtiene la posición de el dedo en el espacio, la cual es almacenada en el EMG.
- Enviar al servo el valor de energía a través de una señal Modulada de Ancho de Pulso (PWM), lo que genera su movimiento.

La Figura 3 muestra la distribución de las tareas (que se corresponden de izquierda a derecha) mediante la técnica de multitarea y paralelismo.

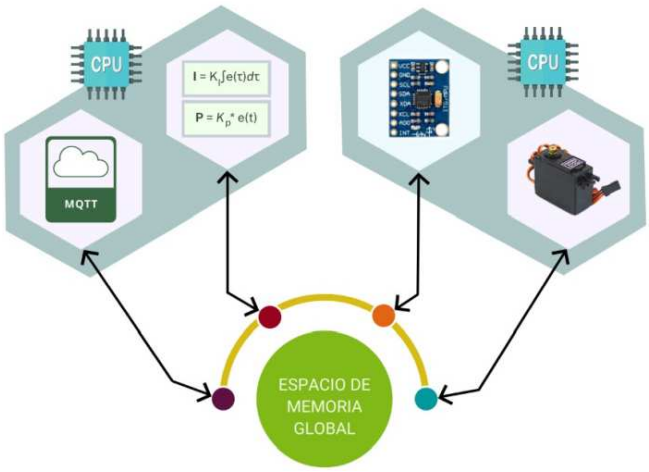


Figura 3. Distribución de las tareas a través de los núcleos del microcontrolador.

Con todo lo anterior se cubre lo referente al control del prototipo. Continuemos entonces con la aplicación web que servirá de panel de control para el usuario.

Como su nombre lo dice, se trata de una aplicación que puede ejecutarse en cualquier navegador de internet, incluso el de los smartphones. En una descripción sencilla, la aplicación se encuentra a la espera de recibir un comando de voz por parte del usuario, cuando éste se presenta, la grabación se envía al servicio speech-to-text de Google©, el cual, es un proceso que convierte los sonidos pronunciados por el usuario en palabras escritas. Este tipo de servicios se denominan de Reconocimiento de Voz y en [9] se profundiza más en los algoritmos que utiliza, entre los cuales destacan la Inteligencia Artificial, Redes Neuronales y Lógica Difusa.

Una vez obtenido el comando dictado por el usuario, la aplicación lo compara contra su base de datos y obtiene las posiciones de los dedos correspondientes que satisfacen ese comando. “abrir mano”, “cerrar mano”, “número tres”, “pulgar arriba”, son algunos ejemplos de los comandos que acepta la interfaz.

Las posiciones deseadas de los dedos se empaquetan en un mensaje y se envían mediante MQTT a un servidor en la nube instalado específicamente para esta plataforma. La Figura 4 muestra la ventana principal de la aplicación web, donde las partes que la componen son:

1. **Mensaje de administración:** Envía un mensaje directo al servidor MQTT.
2. **Posición deseada de los dedos:** Establece la posición en la que se desea que se coloquen los dedos; funciona como control manual de la mano.
3. **Ganancias PID:** Modifica el valor de las ganancias utilizadas por el controlador PI óptimo de forma dinámica.
4. **Estadísticas:** Muestra el valor actual, para cada dedo, de las variables principales que intervienen en el sistema.
5. **Enviar comando por voz:** Recibe la instrucción verbal del usuario, la procesa y envía el comando correspondiente al MCU.

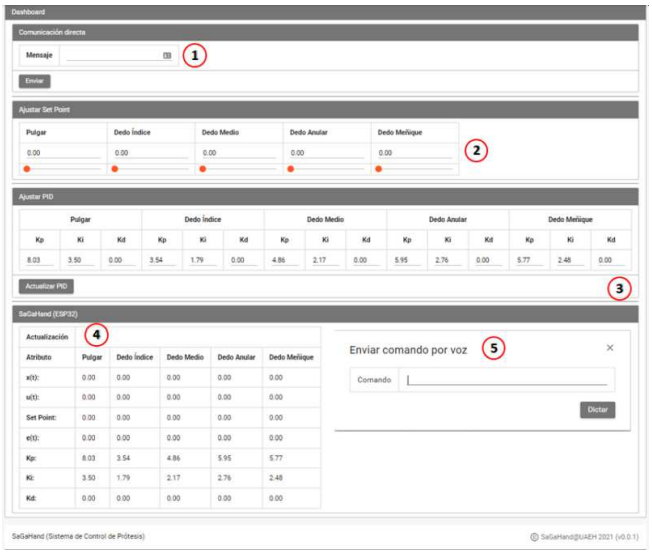


Figura 4. Ventana principal de la aplicación web.

Si consideramos a la aplicación web y a la interfaz del MCU, como dos partes de la plataforma, el servidor MQTT sería el tercer eslabón; sin embargo, ¿qué justifica su incorporación? la respuesta es sencilla: al utilizar una tercera pieza en la arquitectura global de comunicación, se obtiene un diseño desacoplado entre el MCU y la aplicación web, es decir, si alguna de ellas tuviera

un problema de conexión, la otra no se vería afectada y simplemente se quedaría a la espera de que la primera volviera a conectarse.

Finalmente, el MCU se conecta, a través del mismo protocolo MQTT, al servidor en la nube y recibe el mensaje enviado por el usuario, iniciando el ciclo descrito con anterioridad. Con este último punto se completa el flujo de la plataforma propuesta.

Resultados

Una vez que todas las piezas están encajadas, es momento de realizar pruebas[1] para confirmar su funcionamiento. Lo primero es verificar que los dedos sean capaces de seguir las trayectorias indicadas por el usuario, para lo cual se realizó una prueba que consiste en enviar cada determinado tiempo una posición (referencia) diferente y validar que el dedo actúa en consecuencia.

La gráfica mostrada en la Figura 5 es el resultado de dicha prueba, donde puede apreciarse que, conforme la referencia cambia, el dedo la sigue de forma fluida (gráfica inferior). Por otro lado, la señal de control (gráfica superior), es decir, el resultado calculado por el PI óptimo, responde eficientemente a los cambios introducidos.

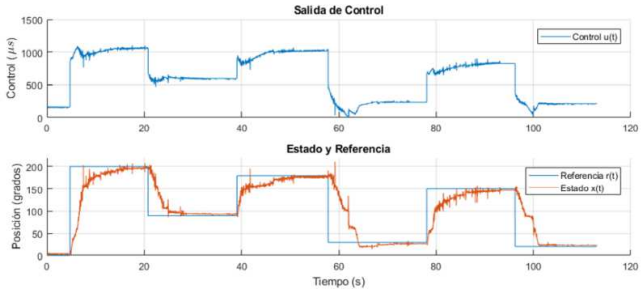


Figura 5. Respuesta del dedo índice ante un cambio de referencia.

Una vez validado el movimiento individual de los dedos, es necesario verificar que se mueven de forma independiente y sin dificultades cuando son activados al mismo tiempo, para lo cual se les envió a todos una misma posición en el mismo instante, dando como resultado las gráficas mostradas en la Figura 6.

En cada una de las gráficas anteriores, la línea azul representa la referencia a la que el controlador PI óptimo debe llevar a los dedos; se observa que el mismo valor es enviado a todos exactamente al mismo tiempo e inmediatamente después de recibirlo, los dedos comienzan su recorrido. Por otro lado, la línea roja representa la posición de cada dedo.

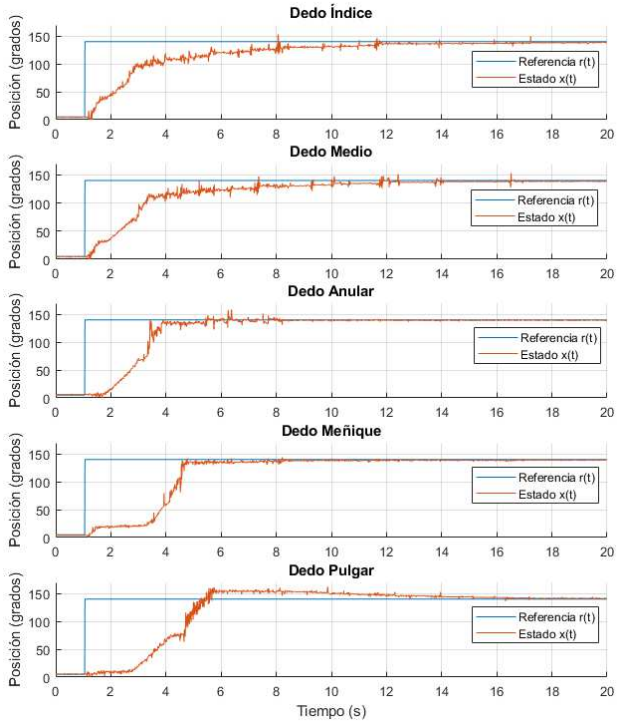


Figura 6. Gráficas de respuesta sincronizada de los cinco dedos.



Figura 7. Pruebas de sujeción de diversos objetos.

[1] Durante las pruebas el prototipo fue alimentado con una fuente de 9v.

La técnica de programación Multitarea en Paralelo ofrece una gran ventaja de cara al diseño de controladores

Se puede apreciar que todos los dedos comienzan a moverse en el momento de recibir la referencia y lo hacen de forma continua hasta que alcanzan la posición deseada. De igual forma se observa que todos alcanzan dicha referencia alrededor del mismo tiempo, concluyendo que los dedos se mueven en paralelo.

Finalmente, es necesario validar que la mano es capaz de sujetar objetos irregulares, para lo cual se incorporó un sensor de fuerza de tipo resistivo; dicho dispositivo, colocado en la palma, se encargará de medir la presión ejercida por la mano sobre el objeto. De igual forma, se agregó una modalidad llamada "modo de agarre" en el MCU; una vez activado, la mano comenzará a ejercer presión sobre el objeto hasta alcanzar cierto umbral. Una vez superado este valor, la mano terminará su recorrido y únicamente mantendrá la posición actual. En la Figura 7 se aprecian algunos ejemplos de sujeción de diversos objetos con forma irregular.

Aportaciones

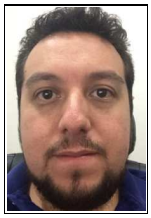
No debemos olvidar que el objetivo principal de este trabajo es controlar un prototipo de prótesis de mano; si bien se ha ahondado en el tema de las técnicas que lo hacen posible, es necesario recalcar que el proyecto pretende generar un dispositivo que ayude a las personas con amputación de miembro superior y que no poseen los recursos para adquirir alguna de las prótesis disponibles en el mercado, las cuales llegan a rondar los miles de dólares.

¿Cuáles son las aportaciones del presente proyecto?. Principalmente son dos: la primera, mostrar la ventaja que ofrece el uso de técnicas de programación avanzada para el diseño de controladores, sobre todo cuando el dispositivo sobre el que se tiene que implementar es de recursos limitados y, la más importante a opinión de los autores, ofrecer un dispositivo, de bajo costo, que permita a las personas con amputación de miembro superior la posibilidad de aumentar el rango de actividades que pueden realizar sin que su condición, tanto física como económica, sea un impedimento para su continuo desarrollo. Por lo que es posible concluir que esto se alinea a la definición de proyecto sostenible, ya que contribuye a mejorar la calidad de vida de personas que poseen características motoras distintas al promedio. ✷

REFERENCIAS

1. Díaz-Amador, R. y Mendoza-Reyes, M.A. (2019). Towards the reduction of the effects of muscle fatigue on myoelectric control of upper limb prostheses. *Dyna*, 86(208), 110-116.
2. InvenSense. (2013). MPU-6050 Product specification. Recuperado en 2020 de `https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf`.
3. He, J.B., Wang, Q.G. y Lee, T.H. (2000). PI/PID controller tuning via LQR approach. *Chemical Engineering Science*, 55(13), 2429-2439.
4. Langevin, G. (2012). InMoov, open source 3D printed life-size robot. Recuperado en 2020 de `http://inmoov.fr/`.
5. Stanford-Clark, A. y Nipper, A. (1999). MQTT FAQ. Recuperado en 2020 de `https://mqtt.org/faq/`.
6. Bahari, M.S., et al. (2012). Design and development of a multi-fingered prosthetic hand. *International Journal of Social Robotics*, 4(1), 59-66.
7. FreeRTOS. (2021). Whats is an RTOS?. Recuperado en 2021 de `https://www.freertos.org/about-RTOS.html`.
8. Espressif. (2019). ESP32-WROOM-32D Datasheet. Recuperado en 2020 de `https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32d_esp32-wroom-32u_datasheet_en.pdf`.
9. Oropeza-Rodríguez, J.L., y Suárez-Guerra, S. (2006). Algoritmos y métodos para el reconocimiento de voz en español mediante sílabas. *Computación y sistemas*, 9(3), 270-286.

SOBRE LOS AUTORES



Erick Javier Sánchez Garnica es estudiante del Doctorado en Ciencias en Automatización y Control en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Obtuvo el grado de Maestro en Ciencias por la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo en 2021. Sus intereses de investigación incluyen teoría de control, implementación de algoritmos en microcontroladores y desarrollo de software.

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691



Liliam Rodríguez Guerrero obtuvo el grado de Doctora en Ciencias en Automatización y Control del Departamento de Control Automático del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México en 2016. Desde el 2017 es profesora investigadora en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y es miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I. Sus intereses científicos incluyen control de sistemas con retardos, control óptimo y control avanzado implementado en controladores industriales.



Rocío Ortega Palacios realizó estudios de maestría y doctorado en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV-IPN) en el departamento de Ingeniería Eléctrica en la sección de Bioelectrónica. Actualmente es miembro del Sistema Nacional de Investigadores nivel C del CONACYT, cuenta con el reconocimiento al perfil deseable SEP-PRODEP.



Omar Jacobo Santos Sánchez obtuvo el grado de Doctor en Ciencias en Automatización y Control del Departamento de Control Automático del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México en 2006. Desde el 2001 es profesor investigador en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y es miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I. Sus intereses científicos incluyen sistemas con retardo, control óptimo y control no lineal.



© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

ARTÍCULO ACEPTADO

Identificación de Frecuencias Respiratorias Anormales Utilizando Señales Wi-Fi y Aprendizaje Automático

Jesús A. Armenta-García, Félix F. González-Navarro, Jorge E. Ibarra-Esquer y Jesús Caro-Gutiérrez

Introducción

La detección inalámbrica se refiere a obtener datos de un objeto, persona o del medio ambiente sin necesidad de establecer contacto físico. A esta fuente de datos le llamamos elemento objetivo y, a través de tecnologías de detección inalámbrica podemos medir sus propiedades físicas sin alterarlas o influir en su estado. Una de las tecnologías que de manera emergente se ha utilizado para este tipo de detección son las señales Wi-Fi, mismas que están presentes en una gran cantidad de espacios, tanto públicos como privados. Si bien su objetivo principal es el de permitir a computadoras y otros dispositivos el acceso a Internet de manera inalámbrica, la forma en que estas señales se modifican al pasar por el elemento objetivo nos permite obtener algunos de sus parámetros físicos y, a partir de ellos, utilizar algoritmos de aprendizaje automático para caracterizar y predecir su comportamiento.

Considerando la relevancia que tiene la frecuencia respiratoria como valor predictivo ante sucesos de salud adversos, por ejemplo, una infección severa, algún padecimiento cardíaco o respiratorio, o bien, padecimientos que pueden afectar la calidad de vida de una persona, por ejemplo la apnea del sueño; en este artículo se presenta un sistema capaz de utilizar señales Wi-Fi y aprendizaje automático para el monitoreo de la respiración mediante la identificación de 3 tipos de frecuencia respiratoria: respiración baja (bradipnea), respiración normal y respiración rápida (taquipnea) [1]. Si bien los cambios en la frecuencia respiratoria pueden asociarse a diferentes condiciones, algunas de ellas pueden representar un riesgo en la salud del individuo. Por ejemplo, la taquipnea puede ser síntoma de una sepsis, es decir, una infección severa que lleva a sentir falta de aire, fatiga y debilidad; e incluso puede ser provocada por un ataque de pánico. Por otra parte, una bradipnea severa puede llegar a provocar hipoxemia y acidosis respiratoria, condiciones que presentan dificultad para respirar, dolores de cabeza y somnolencia. Con este contexto, es posible notar que la identificación de tipos de respiración es de relevancia para la realización de diagnósticos médicos que lleven a la identificación de una enfermedad.

¿Cómo se usan las señales Wi-Fi en la detección inalámbrica?

El uso de tecnologías de detección inalámbrica se ha convertido en un foco de atención en los últimos años debido a que no se requiere la fijación o instalación de un sensor especializado en el elemento objetivo, por lo que no se considera un método de detección invasivo. Los sistemas de grabación y reproducción de imágenes han sido las tecnologías predilectas para llevar a cabo la tarea de detección inalámbrica, al tratarse de sistemas que están al alcance de todo público. Sin embargo, hay una tecnología que tiene una gran cobertura a nivel mundial y que puede utilizarse para esta tarea: el Wi-Fi, que toma su nombre a partir de las palabras en inglés *Wireless Fidelity*. Wi-Fi se basa en el estándar de comunicaciones 802.11 del IEEE y es una marca registrada de la *Wi-Fi Alliance*.

Al igual que otras tecnologías de comunicación inalámbrica, Wi-Fi se basa en la emisión de señales de radio entre un dispositivo que actúa como transmisor (Tx) y otro que es el receptor (Rx). El transmisor utiliza una o más antenas para convertir los datos que forman un mensaje a las ondas de radio que se transmiten por el aire, y que son detectadas igualmente por medio de antenas en el receptor, el cual interpreta las señales para recuperar el mensaje que le fue enviado. Al propagarse por el aire, las propiedades de las señales Wi-Fi se ven afectadas por los fenómenos de dispersión, ruido, atenuación o pérdida de potencia, causados por la presencia o movimiento de personas, objetos o la misma distancia (Figura 1). Estas perturbaciones pueden observarse en la Información de Estado del Canal (CSI a partir de *Channel State Information*), que contiene las propiedades del enlace de comunicación.

La Wi-Fi Alliance estimó que en 2022 se tendrían alrededor de 18,000 millones de dispositivos Wi-Fi, los cuales podrían utilizarse para tareas de detección inalámbrica.

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

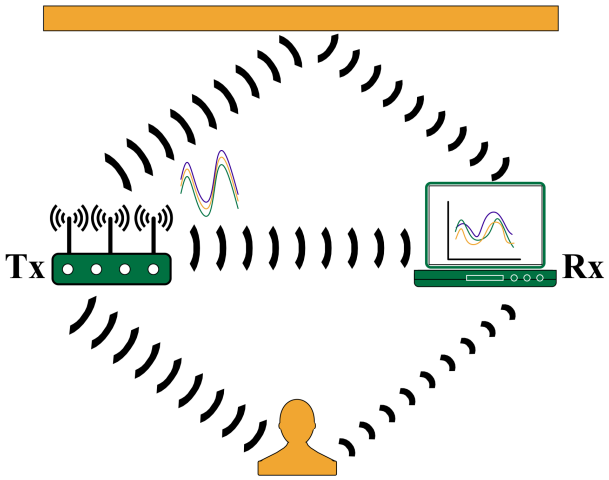


Figura 1. Representación de señales Wi-Fi emitidas por antenas múltiples.

¿Qué tareas de detección se han logrado utilizando señales Wi-Fi?

Las implementaciones de señales Wi-Fi como tecnología de detección inalámbrica se pueden clasificar en 4 áreas de acuerdo a la tarea de detección que realizan: localización en interiores, reconocimiento de actividades, identificación de personas y el monitoreo de signos vitales [2].

Hoang et. al. desarollaron un sistema para localización en interiores a partir de un modelo de aprendizaje profundo el cual, en términos generales, es una Red Neuronal Artificial de gran cantidad de elementos de procesamiento que buscan imitar el funcionamiento de un cerebro humano. A partir de las variaciones encontradas en las señales CSI, logran determinar la trayectoria que está siguiendo un usuario y determinar su ubicación actual. Utilizando una computadora y un teléfono móvil inteligente, el sistema logró una localización con un error máximo de 4 metros en 80 % de los casos y 2.5 metros en promedio [3].

Con la información de este mismo tipo de señales, Narui et. al. utilizaron aprendizaje profundo para detección de caídas, logrando identificar dicho suceso de entre otras actividades como acostarse, caminar, correr, pararse, recoger un objeto y sentarse con una precisión de identificación del 100 % [4]. Se entiende por precisión a la métrica de desempeño que indica, por ejemplo, cuántas de las observaciones que el clasificador identificó como caídas eran realmente caídas.

Ding, Wang y Fu proponen el sistema Wihi, el cual identifica personas de acuerdo a su forma de caminar, que provoca variaciones en la amplitud de las señales CSI, para después llevar a cabo el proceso de identificación haciendo uso de una Red Neuronal Recurrente. El sistema logra una precisión del 85 % y 73 % para grupos de 2 y 8 personas, respectivamente [5].

Las perturbaciones en las señales Wi-Fi se pueden aprovechar junto al aprendizaje automático para lograr detección inalámbrica.

Mientras que para el monitoreo de signos vitales, Ashleibta et. al. implementaron un clasificador k-NN para identificar frecuencias respiratorias dentro de un rango normal, bajo o elevado, logrando identificar correctamente el tipo de respiración del 91.01 % de las muestras recopiladas [6]. Lee et. al. utilizaron una técnica conocida como *Dynamic Time Warping*, la cual permite medir la similitud entre dos series de tiempo, esto con la finalidad de identificar patrones de respiración normales y anormales [7]. En esta área, de igual forma se han utilizado algoritmos de aprendizaje automático para la identificación de posturas al dormir, por ejemplo, Liu et. al. hicieron uso del método *Random Forest*, lograron una precisión superior a 95 % en la identificación de 4 posturas diferentes [8].

Nuestra Propuesta

Para el desarrollo del sistema[1] de detección de tipos de frecuencia respiratoria se preparó inicialmente un escenario de prueba con una camilla colocada entre dos mini PC Intel NUC, ambas equipadas con un dispositivo para conexión en red y ejecutando la herramienta de recolección de CSI Linux 802.11n CSI Tool [9], con la cual se obtiene la CSI para su posterior procesamiento y análisis. El escenario en el que se llevó a cabo la recolección de datos se muestra en la Figura 2.

En la Figura 3, se muestra una representación del sistema desarrollado. En ésta se puede observar que el flujo del sistema inicia con la recolección de datos. Dichos datos pasan posteriormente por 3 componentes del sistema: el Calibrador de la Señal, el Extractor de Atributos y el Clasificador de Observaciones; en cada uno de estos componentes los datos son transformados hasta obtener como respuesta el tipo de frecuencia respiratoria de la persona.

Para la recolección de datos, se contó con la participación de 17 personas de distintas edades y complexiones físicas, a las cuales se les pedía recostarse boca arriba

[1]Agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y a la 22va Convocatoria de Proyectos de Investigación U.A.B.C proyecto 111/6/C/21/22.

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

sobre la camilla. Posteriormente, cada persona debía sincronizar su respiración con el sonido de un metrónomo, el cual incrementaba su ritmo cada 5 minutos, cubriendo así las frecuencias de 9, 12, 15, 18 y 21 respiraciones por minuto (RPM). Durante los 25 minutos en los que la persona variaba su frecuencia respiratoria, la herramienta de recolección de CSI se encontraba en ejecución. Adicionalmente, a la persona se le colocó un acelerómetro sobre el abdomen con el objetivo de contar los movimientos de inhalación y exhalación, obteniendo la frecuencia respiratoria real. Esta frecuencia respiratoria es asociada a un tipo de frecuencia respiratoria de acuerdo a los rangos presentados en el Cuadro 1. Esto con el fin de utilizarla en la fase de entrenamiento de algoritmos de aprendizaje máquina.



Figura 2. Escenario de Recolección de Datos.

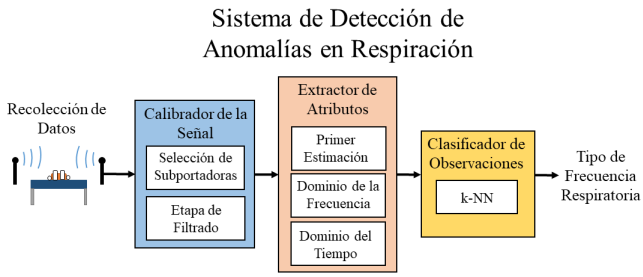


Figura 3. Representación del sistema desarrollado.

Tabla 1. Rangos de frecuencia respiratoria asociados a un tipo de respiración.

Rango de RPM	Tipo de Respiración
Menor a 12 RPM	Respiración Bradipnea
De 12 a 20 RPM	Respiración Normal
Mayor a 20 RPM	Respiración Taquipnea

Una vez los datos recolectados llegan al Calibrador de la Señal, éste los separa en grupos delimitados por ventanas de tiempo de 40 segundos y posteriormente ejecuta una etapa de adecuación a las señales. Considerando que una señal Wi-Fi se divide en 64 señales paralelas, llamadas subportadoras, debido a la modulación utilizada para transmitir señales Wi-Fi; el proceso de adecuación consiste en la aplicación de una serie de filtros a cada una de las subportadoras con la finalidad de extraer de cada una de ellas la componente de la señal que permita estimar la frecuencia respiratoria. Es importante resaltar que este procedimiento debe realizarse con cada subportadora que compone el canal de la señal Wi-Fi, sin embargo, esto resulta en una tarea que puede involucrar una gran cantidad de recursos computacionales, por lo que únicamente se realiza con 10 subportadoras, que son seleccionadas a partir de la varianza observada en la primer ventana de tiempo; a mayor varianza se observa que la subportadora contiene más información acerca de la respiración. En la Figura 4 se observa la amplitud que presenta una de las subportadoras en una ventana de tiempo, junto con la señal resultante del proceso de adecuación. En esta última podemos observar variaciones en amplitud constantes entre -1 y 1 durante toda la ventana de tiempo, por lo que es posible interpretar dicho resultado como la señal de respiración, ya que en el ciclo de la respiración, la inhalación y exhalación ocurren de forma periódica.

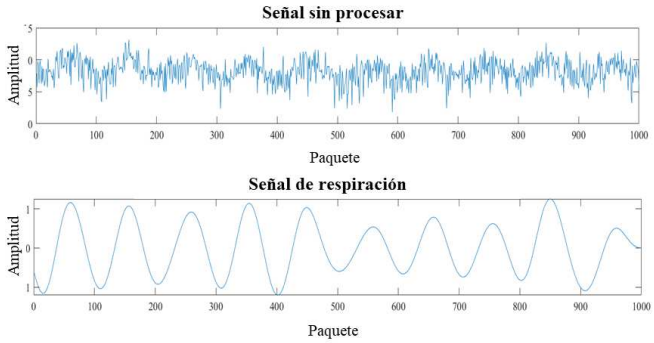


Figura 4. Señales resultantes del proceso de adecuación.

El Extractor de Atributos calcula una primera estimación de la frecuencia respiratoria a partir de un análisis en frecuencia de la señal de respiración, identificando y extrayendo la parte de la señal con mayor amplitud en el rango de frecuencias de 0.1 a 0.4 Hz. Este rango corresponde a una frecuencia entre 6 y 24 respiraciones por minuto (RPM), por lo que cubre los rangos de interés mostrados en el Cuadro 1.

Si bien esta primer estimación es suficiente para monitorear la frecuencia respiratoria, ésta puede presentar errores de aproximación. Los errores pueden llegar a reducirse explorando distintas técnicas de procesamiento de señales, sin embargo, la implementación de algoritmos de aprendizaje automático puede mejorar el desempeño del sistema construido, ya que estos algoritmos han probado ser de utilidad para la identificación del estado de

salud de personas por medio de la clasificación de señales fisiológicas. Por ende, el sistema que se propone aborda la tarea de monitoreo de frecuencia respiratoria como un problema de clasificación, identificando anomalías en la respiración, tales como la bradipnea y taquipnea.

Para llevar a cabo el proceso de clasificación utilizando algoritmos de aprendizaje automático, el Extractor de Atributos, a partir de la señal de respiración obtenida de cada subportadora, extrae una serie de características del dominio del tiempo (media, varianza, desviación estándar, asimetría y curtosis) y del dominio de la frecuencia (frecuencia con mayor amplitud y desviación estándar del espectro). Estas características, junto con la primera estimación, son utilizadas para construir una observación que cuenta con un total de 161 atributos, la cual es almacenada para posteriormente ser enviada al Clasificador de Observaciones, responsable de identificar el tipo de frecuencia respiratoria a la que pertenece dicha observación.

El conjunto de datos se dividió en 2 particiones, estando la primer partición conformada por datos pertenecientes a 13 personas y la segunda por datos de otras 4 personas. La primer partición corresponde a los datos que se utilizaron para el entrenamiento de un clasificador K - Vecinos Cercanos (k-NN) con un valor de K=1 y que utiliza como función de distancia la distancia Hamming. El objetivo de la segunda partición, la cual es un conjunto independiente de los datos utilizados para entrenamiento y también conocida como partición de prueba, es proveer una evaluación insesgada del clasificador, dando una idea de cómo se desempeñaría en la práctica con información que no ha sido presentada al clasificador con anterioridad. El clasificador se evaluó utilizando como métrica de desempeño la exactitud, que consiste en el porcentaje de observaciones cuyo tipo de respiración a la que pertenecen fueron identificadas correctamente.

La frecuencia cardíaca, presión sanguínea y temperatura corporal son otros signos vitales que permiten la identificación de una condición de salud adversa.

Resultados

Al evaluar el sistema con la partición de prueba, se obtuvo que el sistema es capaz de identificar si el tipo de respiración de la persona es bradipnea, normal o taquipnea con una exactitud del 98.6 %.

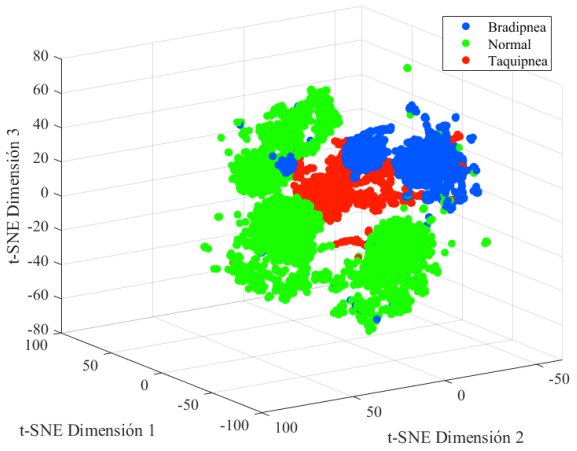


Figura 5. Despliegue de los datos para respiración en tres dimensiones.

Una forma de observar el resultado obtenido por el sistema, es por medio de un método que se llama Incrustación de Vecinos Estocásticos Distribuidos en t (t-SNE), el cual es un método de visualización de datos de altas dimensiones. Esto nos permite ver si se forman agrupaciones a partir de las observaciones obtenidas en un espacio tridimensional de acuerdo al tipo de frecuencia respiratoria, sin importar que pertenezcan a distintas personas. El resultado de dicho método se muestra en la Figura 5, en ésta podemos apreciar que, en efecto, las observaciones de las distintas personas se agrupan de acuerdo al tipo de frecuencia respiratoria, es decir, si nos ubicáramos en ese mismo espacio tridimensional con un tipo de respiración bradipnea, es altamente probable que si otra persona se encuentra cercana a nosotros, de acuerdo a alguna función de distancia, su tipo de respiración de igual forma sea bradipnea.

Retos Actuales

Al desarrollar el sistema, nos percatamos que existen algunas dificultades que se presentan tanto por la naturaleza de los datos como en la forma de adquirir la señal. A continuación listamos algunos de ellos:

1. *Medición de otros signos vitales.* Para lograr identificar realmente una condición de salud adversa, es necesario contar con información adicional de otros signos vitales como los mencionados con anterioridad. Sin embargo, la detección confiable de tipos de frecuencia respiratoria de una persona es un primer paso para las señales Wi-Fi como tecnología de detección inalámbrica.

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

2. *No todos los dispositivos de red proporcionan CSI.* En el caso de la herramienta utilizada para la recolección de CSI utilizada, ésta requiere que el equipo cuente con un dispositivo de red específico, ya que la herramienta realiza cambios en el firmware para poder disponer de los datos. Existen otras herramientas de recolección, sin embargo éstas se encuentran vinculadas ya sea a un dispositivo de red específico o a un modelo de teléfono móvil inteligente. Es necesario explorar diversas alternativas, como lo pudiera ser la utilización de microcontroladores con módulos de red incluidos.

3. *Recolección de datos en un ambiente controlado.* La recolección se realizó en un laboratorio donde únicamente se encontraba el participante en turno, ya que, de encontrarse más de una persona dentro del laboratorio, la detección de la frecuencia respiratoria se dificulta al combinarse las distintas frecuencias respiratorias en la señal. De igual forma, la presencia de múltiples redes inalámbricas operando en la misma banda perturba la señal, sin embargo esto resulta inevitable al trabajar con Wi-Fi en la actualidad. Se deben explorar técnicas avanzadas de procesamiento de señales para mitigar dichos efectos.

4. *Impacto de la posición de la persona y su complexión física.* En la literatura se ha comprobado que tanto la posición de la persona en la cama, como su complexión física y si se encuentran en la línea de visión o no de las antenas, tienen un efecto en el desempeño de los sistemas de detección de signos vitales. Si bien esto no se tomó en cuenta en la experimentación realizada, es algo a considerarse en caso de tener la intención de realizar un sistema de este tipo para despliegue.

Conclusiones

El uso de señales Wi-Fi como tecnología de detección inalámbrica ha demostrado resultados prometedores en las áreas de localización de interiores, reconocimiento de actividades, identificación de personas y, como quedó demostrado en este artículo, al combinar los métodos convencionales para estimación de frecuencia respiratoria con métodos de aprendizaje automático, se obtienen resultados satisfactorios para la identificación de tipos de frecuencia respiratoria bajo condiciones controladas. De igual forma, al ser una misma tecnología en la que únicamente cambia el procesamiento que se le da a la señal de acuerdo a su área de aplicación, sería posible desarrollar un solo sistema que reúna distintas aplicaciones, visualizando cada aplicación como un módulo independiente, en el que cada módulo recibe una misma entrada, la señal Wi-Fi, pero genera una distinta salida y cada uno con su propio modelo de aprendizaje automático.

Si bien existen retos por afrontar, al ser una tecnología al alcance de prácticamente cualquier persona al considerar su capacidad ya instalada en el mundo para cumplir con funciones de conectividad a Internet y siendo uno de los pilares de la sociedad moderna al estar inmersa en un amplio espectro de las tecnologías de la información y comunicación, presenta una escalabilidad con la que otras tecnologías de detección inalámbrica no cuentan.✷

REFERENCIAS

1. Ali, M., Elsayed, A., Mendez, A., Savaria, Y. y Sawan, M. (2021). Contact and Remote Breathing Rate Monitoring Techniques: A Review. *IEEE Sensors Journal*, 21(13), 14569-14586.

2. Al-Qaness, M.A.A., Elaziz, M.A., Kim, S., Ewees, A.A., Abbasi, A.A., Alhaj, Y.A. y Hawbani, A. (2019). Channel State Information from Pure Communication to Sense and Track Human Motion: A Survey. *Sensors*, 19(15), 3329.

3. Hoang, M.T., Yuen, B., Ren, K., Dong, X., Lu, T., Westendorp, R. y Reddy, K. (2020). A CNN-LSTM Quantifier for Single Access Point CSI Indoor Localization. Recuperado el 11 de agosto de 2022, de `https://arxiv.org/abs/2005.06394`.

4. Narui, H., Shu, R., Gonzalez-Navarro, F.F. y Ermon, S. (2020). Domain Adaptation for Human Fall Detection Using WiFi Channel State Information. En Shaban-Nejad A., Michalowski M. (Eds) *Precision Health and Medicine*. W3PHAI 2019. Studies in Computational Intelligence, 843, 177-181.

5. Ding, J., Wang, Y. y Fu, X. (2020). Wihi: WiFi Based Human Identity Identification Using Deep Learning. *IEEE Access*, 8, 129246-129262.

6. Ashleibta, A.M., Abbasi, Q.H., Shah, S.A., Khalid, M.A., AbuAli, N.A. y Imran, M.A. (2021). Non-Invasive RF Sensing for Detecting Breathing Abnormalities Using Software Defined Radios. *IEEE Sensors Journal*, 21(4), 5111-5118.

7. Lee, S., Park, Y., Suh, Y. y Jeon, S. (2018). Design and implementation of monitoring system for breathing and heart rate pattern using WiFi signals. En *2018 15th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*, 1-7.

8. Liu, J., Chen, Y., Wang, Y., Chen, X., Cheng, J. y Yang, J. (2018). Monitoring Vital Signs and Postures During Sleep Using WiFi Signals. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(3), 2071-2084.

9. Halperin, D., Hu, W., Sheth, A. y Wetherall, D. (2011). Tool release: gathering 802.11n traces with channel state information. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev*, 41(1), 53.

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

SOBRE LOS AUTORES



Jesús Albany Armenta García es Maestro en Ciencias por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California. Sus áreas de investigación son el Reconocimiento de Patrones, Procesamiento de Señales y Minería de Datos. Actualmente es estudiante de Doctorado especializándose en comunicaciones inalámbricas para el sensado remoto.



Félix Fernando González Navarro es Doctor en Inteligencia Artificial por la Universitat Politécnica de Catalunya. Actualmente es investigador titular de tiempo completo en la Universidad Autónoma de Baja California liderando el Laboratorio de Ciencia e Ingeniería de Datos. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) nivel 1. Sus áreas de interés son el Reconocimiento de Patrones y la Minería de Datos.



Jorge Eduardo Ibarra Esquer es Doctor en Ciencias por la Universidad Autónoma de Baja California. Actualmente, es profesor titular de tiempo completo y desarrolla líneas de investigación en enseñanza de la programación, sistemas electrónicos digitales e Internet de las Cosas. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) nivel candidato.



Jesús Caro Gutiérrez es Doctor en Ciencias por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California. Actualmente, es investigador titular de tiempo completo y desarrolla líneas de investigación en visión por computadora y ciencia de datos. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) nivel candidato.



Señales inalámbricas.
Imagen tomada de: `https://www.deepsig.ai/news/how-ai-increases-speed-accuracy-wireless-signal-detection`.

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

ARTÍCULO ACEPTADO

Inteligencia artificial en la salud: Las investigaciones en procesamiento de imágenes como apoyo al médico especialista

Diego Oliva, Alfonso Ramos-Michel, Mario A. Navarro y Marco Perez-Cisneros

Introducción

La medicina es un área de la ciencia que se ha desarrollado de manera paralela a la evolución humana. Desde el principio de nuestra aventura en la tierra, los homínidos han buscado subsanar problemas de salud, desde heridas temporales hasta enfermedades crónicas. Si bien es cierto que hoy en día se tienen avances científicos que nos permiten tratamientos más complejos que en el pasado, es también cierto, que existen enormes retos que la sociedad humana no enfrentaba. Actualmente, la población mexicana cuenta con más de 120 millones de habitantes, y solamente 305,418 médicos, que es una cantidad inferior a la recomendada para atender las necesidades de salud de nuestro país. El reto principal en este rubro es contar con suficientes médicos para tratar los padecimientos de la población completa, o encontrar las estrategias adecuadas que maximicen la cobertura del servicio a la población.

Los hábitos alimenticios y el sedentarismo de la sociedad actual, nos hacen cada vez más vulnerables a las enfermedades crónicas, como el cáncer; o a los nuevos virus o bacterias, como el reciente brote de COVID-19. Respecto al cáncer, en México, se estima que cada año se confirman 148,000 nuevos casos de esta enfermedad, y que para el 2025 se podrían alcanzar hasta 220,000. En el año 2020, se registraron 90,603 muertes debido a este padecimiento, que corresponde al 8 % del total de las defunciones en el país. Con ello, la tasa de defunciones por cada 10,000 habitantes se incrementó de 6.18 en 2010 a 7.17 en 2020. De la población total de médicos en México, solo 147,910 cuentan con una especialidad. De ellos, solo 1875 son oncólogos [1], lo que representa una gran carga laboral para el especialista médico que debe diagnosticar o tratar algún tipo de cáncer en nuestro país.

En 2019, la aparición de un nuevo coronavirus que causó la actual pandemia de COVID-19, tomó por sorpresa a los sistemas de salud en todo el mundo. Derivado de esta pandemia, en México se contabilizan 6,994,309 casos confirmados y 329,225 muertes confirmadas desde el 20 de febrero de 2020 al 29 de agosto de 2022. Al dividir esta última cifra entre el tiempo considerado, las defunciones anuales por COVID-19 en México, representan un 44 % más que por cáncer en 2020. La población total de neumólogos en México es solo de 1071, 689 epidemiólogos y 1115 especialistas en el área de alergias e inmunología.

Con este breve panorama, no es difícil imaginar, la carencia de personal especializado en tantas otras áreas de la salud, no solo en nuestro país, sino a nivel mundial. Por otro lado, el número de especialistas en imagenología en el sector salud de nuestro país es de 3819 [1]. Es por esto, que los médicos se apoyan cada vez más en el uso de imágenes y radiología combinadas con inteligencia artificial (IA) para detectar posibles casos positivos, avances de enfermedades y eficacia en los tratamientos, desde el interior del cuerpo, sin requerir métodos invasivos para el paciente.

La emulación de procesos inteligentes y su aplicación al ámbito médico

Desde su nacimiento, la inteligencia artificial (IA) ha intentado emular los procesos inteligentes de nuestra especie y su entorno. Para lograrlo, se utilizan sistemas computacionales que procesan la información, así como máquinas o dispositivos auxiliares que alimentan al procesador de información, o reciben órdenes de acuerdo al procesamiento de datos realizado. Existen muchos procesos y trabajos que se han visto beneficiados de tener una IA que procese grandes cantidades de información y ayude a las personas a tomar decisiones. Saber cuándo y cómo combinar a un a computadora con metodologías o técnicas de trabajo tradicionales, ha significado mucha ayuda para el humano en labores de alto riesgo, y una gran ventaja cuando se requiere procesar vasta cantidad de información de manera constante y repetitiva. Es por ello que la explotación de la IA de forma racional supone la mejora en la calidad de vida de nuestra sociedad, a la vez que favorece el desarrollo tanto de otras tecnologías, como de la misma IA.

En ocasiones, se suelen confundir términos de la inteligencia artificial con otros conceptos tecnológicos como la robótica o la programación en general. Hoy en día, es muy común ver la robótica acompañada con inteligencia artificial, y esta a su vez, es desarrollada mediante programación. Aun así, no podemos decir que son lo mismo. De forma general, podemos definir la IA como el resultado de dotar a uno o varios programas de computadora con cierta capacidad de análisis para procesar la información proveniente de imágenes, texto, sonidos o variables

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

físicas de una forma tal que pareciera tener un proceso cognitivo natural similar al razonamiento humano. En este proceso de asimilación de información nueva, existen diversas técnicas que componen a la inteligencia artificial. Entre ellas se destaca la visión artificial que extrae información de imágenes y videos, simulando la visión del ojo humano, para clasificar o reconocer objetos y realizar tareas mediante esa información. El procesamiento de lenguaje natural es otra área importante dentro de la IA, donde una computadora es capaz de comprender e interpretar el lenguaje humano. El aprendizaje automático (machine learning) por su parte, es un área donde se dota a la computadora con la capacidad de extraer información útil a partir de una gran cantidad de datos, permitiendo identificar patrones entre estos para realizar tareas como clasificación, predicción y agrupamiento de datos similares. Es aquí donde se utilizan algoritmos como redes neuronales, árboles de decisión, algoritmos de regresión y cadenas de Markov, por mencionar algunos.

Existe otra área de la inteligencia artificial con los llamados algoritmos metaheurísticos (AM) que son métodos matemáticos de optimización y búsqueda de propósito general, son procedimientos iterativos que guían una heurística subordinada combinando de forma inteligente diferentes conceptos que permiten explorar y explotar un determinado espacio de búsqueda. Una ventaja de los AM es que son capaces de optimizar múltiples variables de un problema al mismo tiempo.

Actualmente, dentro de los AM existen varias corrientes que los diferencian principalmente por sus estrategias generales de búsqueda de soluciones, otros los clasifican de acuerdo al área de estudio del que se inspiran tales métodos. Entre las corrientes más destacadas se encuentran los algoritmos evolutivos. Estos algoritmos emplean estrategias evolutivas (ES por sus siglas en inglés) que utiliza parte de la solución como padres que al recombinarse producen una nueva generación de posibles soluciones. En esta recombinación se incluyen operadores de mutación que aportan diversidad genética en las nuevas generaciones.

A partir de la contingencia de COVID-19 las investigaciones médicas relacionadas con inteligencia artificial van en incremento

Las estrategias evolutivas emplean poblaciones de individuos aleatorias y las características que los distinguen son la forma en que seleccionan la solución candidato, la recombinación y cruzamiento, la mutación y finalmente el reemplazo de las mejores soluciones de la población. De forma posterior a la aparición de estos métodos, surgieron nuevas concepciones de diseño para crear nuevos algoritmos. Esto dio lugar a varias áreas de desarrollo como lo son: Inteligencia de enjambre, algoritmos miméticos, algoritmos basados en procesos cognitivos y algoritmos basados en métodos matemáticos, solo por mencionar algunos. Actualmente, existen propuestas particularmente interesantes que combinan distintas áreas de la ciencia para crear herramientas potentes y versátiles. Hoy en día, se exploran y presentan nuevas metodologías que combinan algoritmos metaheurísticos con técnicas de visión artificial o redes neuronales para analizar imágenes médicas de pacientes con distintas enfermedades. El objetivo principal de estos trabajos es lograr identificar y resaltar características dentro de las imágenes que faciliten el trabajo del experto médico para diagnosticar enfermedades, observar la evolución clínica durante el tratamiento y monitorear a pacientes ya recuperados. Es importante remarcar que el uso de estas tecnologías no reemplaza el trabajo del médico especialista, sino que sirve como apoyo para minimizar los errores y deficiencias que tenemos por la propia naturaleza humana y la sobrecarga de trabajo debido a la falta de médicos especialistas; el cansancio, la vista limitada, la edad, falta de pericia y el estado anímico de una persona puede desencadenar errores accidentales que pueden repercutir en la salud y estado de los pacientes.

Numeralia de investigaciones relacionadas con aplicaciones de IA en el ámbito médico de México y el mundo

Para hacer frente a la necesidad de atención médica especializada de forma oportuna, tiene que existir trabajo en equipo entre investigadores de IA y médicos, que les permita participar en proyectos multidisciplinarios e integradores que favorezcan la aplicación de la tecnología moderna a los procedimientos médicos actuales.

Combinar la medicina con inteligencia artificial, supone mejorar la calidad del servicio de especialidades médicas

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

Para tener una idea del trabajo que se ha realizado en este sentido, se muestran algunas estadísticas obtenidas en la plataforma Scopus, que es una base de datos que recopila la información de artículos científicos en más de 140 países. La búsqueda se realizó para investigaciones que presentaron avances en el procesamiento de imágenes mediante técnicas de inteligencia artificial y que facilitan el trabajo de diagnóstico para médicos especialistas en cancerología, enfermedades oculares, análisis de células sanguíneas y de trastornos del espectro autista. El espacio temporal de la búsqueda fue restringido del 2010 al 2020.

En las Figuras 1 y 2, se observa la tendencia de crecimiento en la aplicación de técnicas de inteligencia artificial con el ámbito médico. En la primera se muestran los datos a nivel mundial, en la segunda solo de México. Podemos observar como, salvo dos años, la tendencia al alza general es la misma durante este periodo. El auge del desarrollo de esta clase de aplicaciones se hace patente en el año 2020. Como era de esperarse a partir del año 2019, el aumento de investigaciones relacionadas con el COVID-19 fue evidente, pues los esfuerzos de investigadores y médicos estaban centrados casi totalmente en encontrar alternativas que pudieran hacer frente a esta enfermedad, que desde su aparición y hasta agosto del 2022 ha dejado más de 6,472,472 muertes registradas en los reportes del Centro de Ciencia e Ingeniería de Sistemas (CSSE) de la Universidad Johns Hopkins (JHU) por sus siglas en inglés.

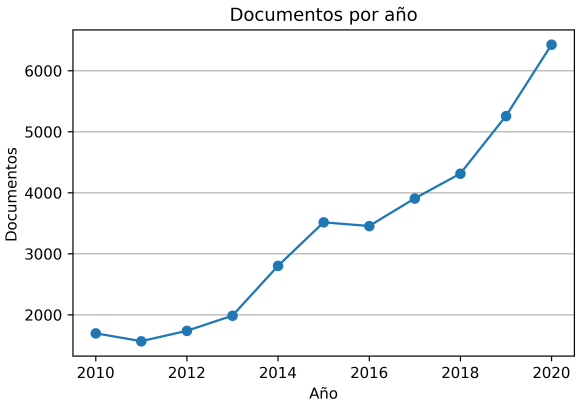


Figura 1. Publicaciones a nivel mundial sobre detección de enfermedades mediante el análisis de imágenes con inteligencia artificial.

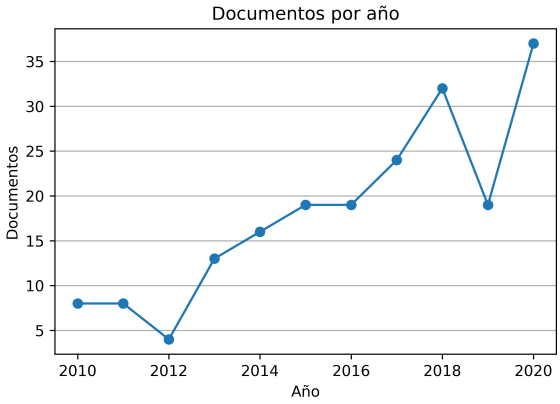


Figura 2. Publicaciones de México sobre detección de enfermedades mediante el análisis de imágenes con inteligencia artificial.

En la Figura 3 podemos observar el número de investigaciones en 11 países, en el mismo periodo de tiempo que las gráficas anteriores. Los primeros diez países de la gráfica, corresponden a los diez con mayor producción de documentos científicos al respecto del tema tratado. México, por su parte, aunque aparece en el lugar 11 de la lista, en realidad no es el onceavo país con más producción, sino que ocupa el lugar 36 de la lista general, pero se han eliminado los países que ocupan los lugares del 11 al 35 para poder comparar la producción de material científico con respecto a los primeros diez paises de la lista. Es evidente que la ciencia mexicana requiere un mayor esfuerzo por nuestra parte en la cooperación con el sector médico para la proposición de estrategias que ayuden a impulsar la aplicación de la tecnología en las áreas de la salud, sin dejar de lado la necesidad de la asignación de recursos económicos que apoyen e impulsen el desarrollo de los proyectos.

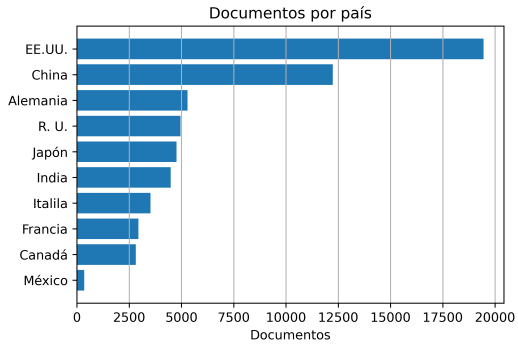


Figura 3. Publicaciones por país durante los últimos diez años. Se presentan los nueve países con mayor producción, y México en perspectiva, siendo el lugar 36 a nivel mundial.

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

México se posiciona como lugar 36 en producción científica respecto al análisis de imágenes mediante técnicas de inteligencia artificial.

Algunas aplicaciones de la inteligencia artificial en el diagnóstico médico

Sin duda la lista de enfermedades que enfrenta la población es muy grande. Por si fuera poco, los científicos reportan nuevas enfermedades o padecimientos que recién se descubren o evolucionan a partir de las ya conocidas, aumentando el tamaño de esta lista. Afortunadamente, la ciencia no solo está vigilante por conocer los padecimientos que nos aquejan, sino que también busca soluciones y curas para los mismos. En la presente sección, se han recopilado algunos trabajos de investigación para la extracción de información de imágenes médicas, que faciliten su interpretación por parte del personal médico. Los reportes aquí presentados, son el resultado del trabajo de científicos del área de la computación, que buscan poner las capacidades de las computadoras, al servicio del área médica para favorecer su avance y ayudar a ganar la interminable batalla contra las enfermedades.

1. **Análisis de imágenes por resonancia magnética**
   Las imágenes por resonancia magnética (IRM) presentan un claro contraste en los tejidos blandos, por lo que es un buen método, no invasivo ni radiactivo, para la detección de tumores cerebrales, así como la visualización de las zonas que se activan al realizar ciertas actividades. Existen diversos trabajos reportados donde se analizan imágenes de resonancia magnética mediante técnicas de inteligencia artificial. En el artículo [2] Oliva y su equipo presentan un método de segmentación multinivel de IRM cerebrales utilizando el algoritmo Crow Search Algorithm (CSA). En sus resultados, se reporta una mejora considerable en la definición de los límites para realizar la segmentación de las imágenes con una reducción del costo computacional y evitando la convergencia prematura de proceso. Rajarshi Bandyopadhyay et. al. por su parte, en 2021 [3] publicaron un estudio en el que proponen un método para segmentar IRM cerebrales mediante un algoritmo llamado Harris Hawks Optimization (HHO). Implementan una inicialización de la población mediante técnicas de caos, así como un comportamiento altruista entre los individuos que ayudan a mejorar la localización de soluciones óptimas. Aplicaron exitosamente su método en imágenes de resonancia magnética de la WBA database de la Escuela Médica de Harvard y el BrainWeb dataset.

2. **Clasificación del trastorno del espectro autista**
   Los trastornos del espectro autista (TEA), son trastornos neurológicos que afectan la interacción social, comportamiento, aprendizaje y comunicación de quienes los padecen. Diagnosticar los TEA es una tarea compleja y requiere estudios realizados por especialistas. Existen métodos auxiliares, que pueden ayudar a los expertos, si bien no a determinar un diagnóstico, si a fundamentar sospechas para profundizar en los estudios de un paciente. Uno de estos métodos es el análisis de los patrones de seguimiento ocular. En su propuesta, Gaspar *et al.* [4] lograron clasificar de forma correcta imágenes de patrones de seguimiento ocular de personas con algún TEA y personas que no lo presentan. Utilizaron un clasificador de inteligencia artificial llamado *Kernel Extreme Machine Learning* (Aprendizaje Máquina Extremo con Núcleo, KELM por sus siglas en inglés), que previamente fue entrenado con la ayuda del algoritmo Construcción de las pirámides de Giza, para encontrar los valores óptimos de sus parámetros de sintonización. Una vez sintonizado, se ingresaron las imágenes de patrón de seguimiento ocular, para que pudiera aprender cuáles patrones correspondían a personas con TAE y cuáles a personas que no presentaban TAE. Una vez aprendido esto, el algoritmo KELM fue capaz de clasificar en imágenes nuevas, las que contenían patrones de seguimiento ocular de personas con TAE y de personas sin TAE.

3. **Diagnóstico oportuno de cáncer de mama**
   El cáncer es una de las enfermedades que más afectan a la población hoy en día, por lo que su detección temprana es vital para llevar un tratamiento que le dé al paciente la posibilidad de erradicarlo. En ese sentido, el tratamiento de imágenes ha brindado una excelente herramienta que le permite a los médicos detectar tumores y poder establecer su gravedad y posibilidad de tratamiento. Tareas como la segmentación y la extracción de características de mamografías y termografías son trabajos que se pueden observar en [5], [6] y [7], realizados mediante técnicas de IA como los algoritmos K-Means, Fuzzy IterAg, Máquinas de Vectores de Soporte y Redes Neuronales Convolucionales; así como por algoritmos metaheurísticos como *Dragonfly algorithm* y MCET-HHO, que es una variante del

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

algoritmo Optimizador de los Halcones de Harries potenciado con el criterio de Umbrales por Mínima Entropía Cruzada para (MCET por sus siglas en inglés). Los resultados presentados tienen una alta precisión en cuanto a la localización de microcalcificaciones en las glándulas mamarias, que se corrobora mediante distintas métricas adecuadas a cada estudio realizado y que posteriormente serían clasificadas como pertenecientes a las pacientes que habían sido ya diagnosticadas como positivo cáncer de mama.

4. **Identificación de enfermedades oftálmicas y cardiovasculares**
   En el cuerpo humano, el sistema circulatorio hace posible el transporte de nutrientes para su aprovechamiento, así como la eliminación de desechos metabólicos. La vista, es uno de los sentidos que nos permiten interactuar con el medio que nos rodea. Es por ello, que mantener bajo observación la salud de estos sistemas es importante para el profesional de la salud, y ayudar en su misión, es posible mediante la exploración inteligente de imágenes digitales. En un artículo publicado en 2021, Ramos-Soto *et. al.* lograron aplicar exitosamente el algoritmo MCET-HHO [8] para distinguir los vasos sanguíneos oculares como medio para poder realizar diagnóstico de trombosis retinal, glaucoma o maculopatía senil, caracterizadas por el adelgazamiento de los vasos sanguíneos en algunos casos, o la aparición de nuevos vasos anormales en otros. Por su parte, en otro artículo Cuevas y su equipo de trabajo, logran segmentar exitosamente los glóbulos blancos en la sangre mediante la aplicación del algoritmo metaheurístico llamado Optimizacion similar al electromagnetismo (*Electromagnetism-like Optimization*).

5. **Detección de COVID-19 y Neumonía a partir de radiografías de tórax** La reciente pandemia por COVID-19, dejó muy en claro la necesidad de medios de diagnóstico masivos a bajo costo. La imagenología es un método que puede servir para este propósito, debido a la facilidad con la que un software puede explorar cientos de imágenes sin desgaste físico, como sucede con los seres humanos. Abonando a esta causa, Anter *et. al.* [9] y Yousri *et. al.* [10] trabajaron metodologías basadas en algoritmos metaheurísticos para extraer información relevante y segmentar imágenes de rayos X, mejorando algoritmos existentes como el algoritmo de Búsqueda de Cuco (Cuckoo Search) añadiendo cálculo de orden fraccional, o el algoritmo Promedio-C Difuso Adaptativo (Adaptative Fuzzy C-Means) con el algoritmo Moho de Limo (Slime Mould Algorithm) y movimientos aleatorios basados en el vuelo de Lévy, se logró detectar y clasificar a pacientes con Neumonía o con COVID-19. El análisis y segmentación de las radiografías de sus pulmones, arrojó resultados con precisión de entre 84 % y 98 %. Con esto, se generan herramientas que pueden servir para ayudar en el diagnóstico masivo de enfermedades que afectan a los pulmones, así como también pueden ser utilizadas como base para seguir desarrollando más y mejores algoritmos que ayuden a los médicos especialistas en su tarea de cuidar la salud de la población.

Conclusiones

Podemos decir, que el estado de los sistemas de salud actuales es una materia pendiente por desarrollar de manera integral, ya que el bajo número de médicos especialistas y los pocos hospitales con herramientas de alta especialidad, dificultan la atención de padecimientos con alta incidencia en nuestra sociedad, como el cáncer, además de la falta de protocolos en materia de salud e infraestructura adecuada, esto evidenciado por la actual pandemia global. Por otro lado, sigue siendo bajo el número de proyectos donde trabajen en conjunto áreas de la ciencia como la inteligencia artificial y la medicina, lo que dificulta la implentación de forma rápida y eficiente, de muchas propuestas orientadas a mejorar, en general, el trabajo de los médicos especialistas. A pesar de esta situación, el interés de la comunidad científica y médica en generar herramientas de esta naturaleza es una directriz a considerar para escenarios futuros, lo cual se ve reflejado en el número de trabajos científicos desarrollados durante los últimos 12 años.
Esperamos que en unos cuantos años la tecnología de la IA se encuentre más integrada en el ámbito médico, y que le permita al paciente recibir atención médica más oportuna, diagnósticos médicos más confiables y un servicio médico de primera calidad en todos los sentidos, que nos permita aumentar nuestra esperanza de vida y hacer frente a cualquier eventualidad futura.✷

REFERENCIAS

1. Heinze, G., Canchola, V., Miranda, G., Fuentes, N. y Sánchez, D. (2018). Los médicos especialistas en México". *Gaceta médica de México*, 154(3), 342-351.

2. Oliva, D., Hinojosa, S., Cuevas, E., Pajares, G., Avalos, O. y Gálvez, J. (2017). Cross entropy based thresholding for magnetic resonance brain images using Crow Search Algorithm. *Expert Systems with Applications*, 79, 164-180.

3. Bandyopadhyay, R., Kundu, R., Oliva, D. y Sarkar, R. (2021). Segmentation of brain MRI using an altruistic Harris Hawks' Optimization algorithm. *Knowledge-Based Systems*, 232, 107468.

4. Gaspar, A., Oliva, D., Hinojosa, S., Aranguren, I., y Zaldivar, D. (2022). An optimized Kernel Extreme Learning Machine for the classification of the autism spectrum disorder by using gaze tracking images. *Applied Soft Computing*, 120, 108654.

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

5. Chatterjee, S., Biswas, S., Majee, A., Sen, S., Oliva, D. y Sarkar, R. (2022). Breast cancer detection from thermal images using a Grunwald-Letnikov-aided Dragonfly algorithm-based deep feature selection method. *Computers in Biology and Medicine*, 141, 105027.

6. Rodríguez-Esparza, E., Zanella-Calzada, L., Oliva, D., Heidari, A., Zaldivar, D., Pérez-Cisneros, M. y Foong, L. (2020). An efficient Harris hawks-inspired image segmentation method. *Expert Systems with Applications*, 155, 113428. /

7. Rodríguez-Esparza, E., Zanella-Calzada, L., Oliva, D. y Pérez-Cisneros, M. (2020). Automatic detection and classification of abnormal tissues on digital mammograms based on a bag-of-visual-words approach. *Medical Imaging 2020: Computer-Aided Diagnosis*, 11314, 500-507.

8. Ramos-Soto, O., Rodríguez-Esparza, E., Balderas-Mata, S., Oliva, D., Hassanien, A., Meleppat, R. y Zawadzki, R. (2021). An efficient retinal blood vessel segmentation in eye fundus images by using optimized top-hat and homomorphic filtering. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 201, 105949.

9. Anter, A., Oliva, D., Thakare, A. y Zhang, Z. (2021). AFCM-LSMA: New intelligent model based on Lévy slime mould algorithm and adaptive fuzzy C-means for identification of COVID-19 infection from chest X-ray images. *Advanced Engineering Informatics*, 49, 101317.

10. Yousri, D., Abd-Elaziz, M., Abualigah, L., Oliva, D., Al-Qaness, M. y Ewees, A. (2021. COVID-19 X-ray images classification based on enhanced fractional-order cuckoo search optimizer using heavy-tailed distributions. *Applied Soft Computing*, 101, 107052.

SOBRE LOS AUTORES



Diego Oliva En el año 2015 obtuvo el grado de Doctor en Ingeniería Informática por la Universidad Complutense de Madrid (UCM) en España. Actualmente, es Profesor e Investigador adscrito al Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías de la Universidad de Guadalajara. Desde el 2019 Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) nivel 2. Sus líneas de investigación son cómputo evolutivo, algoritmos metaheurísticos, procesamiento de imágenes y aprendizaje automático.



Alfonso Ramos-Michel Estudiante de doctorado en el programa de Ciencias de la Electrónica y la Computación en el Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías de la Universidad de Guadalajara. Sus áreas de interés científico son la optimización, metaheurística, inteligencia artificial y el sensado remoto con aplicaciones en la agricultura de precisión.



Mario A. Navarro Velázquez Obtuvo el grado de maestro en 2018 enfocando su investigación en diseño de algoritmos metaheurísticos y aplicaciones para la segmentación de imágenes. Actualmente, realiza el doctorado en ciencias en ingeniería electrónica y computación en el Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingeniería en la Universidad de Guadalajara, México. Sus principales intereses abarcan áreas de la inteligencia artificial como la hibridación y métodos autoadaptativos para el diseño de algoritmos metaheurísticos y su aplicación a problemas del mundo real.



Marco Pérez-Cisneros Obtuvo el grado de Doctor por la Universidad de Manchester en el 2004. Es Profesor e Investigador adscrito al Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías de la Universidad de Guadalajara. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) nivel 1. Sus intereses de investigación incluyen visión por computadora e inteligencia artificial.



Imagen tomada de: `https://online.stanford.edu/programs/artificial-intelligence-healthcare`.

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

ARTÍCULO ACEPTADO

Bastón ultrasónico para personas con debilidad visual

Angel Mario Lerma Sánchez, Daniel López Piña y José Alan Franco Beltrán

Introdución

Según la OMS (Organización Mundial de la Salud), en el 2020, existen 2.2 billones de personas en el mundo que presentan alguna discapacidad visual. Por lo menos 1 billón de estos casos pudo haber sido prevenido [1]. Una estimación mundial realizada por el IAPB (Agencia Internacional para la Prevención de la Ceguera), muestra que 295 millones de personas tienen un deterioro moderado o severo de la visión y 43 millones están completamente ciegos [2].

Según el Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), en México hay más de 6.1 millones de ciudadanos que cuentan con algún tipo de discapacidad, de la cual 44 % de esta población (aproximadamente 2.7 millones de personas) tienen dificultades para ver. Esto abarca pérdida total de la vista en uno o ambos ojos, así como a los débiles visuales y a los que aun usando lentes no pueden ver bien por lo avanzado de sus problemas visuales [3].

En las décadas recientes, el desarrollo de asistentes y herramientas para invidentes y débiles visuales han sido un área prominente del estudio debido al crecimiento de la población de estos individuos. En un artículo de revisión realizado por la Universidad Pahang de Malasia compila una variedad de proyectos desarrolladas que buscan mejorar, sustituir o reemplazar la visión empleando diferentes técnicas y tecnologías, como las cámaras de video, los sensores de proximidad, la radiofrecuencia, entre otros [4].

Un ejemplo de uno de los proyectos más recientes muestra un bastón inteligente que permite a las personas con discapacidad visual moverse de manera independiente por lugares desconocidos [5]. El bastón inteligente funciona en uno de dos modos. El primer modo implica la detección de proximidad de obstáculos a través de sensores ultrasónicos y sonidos producidos por un zumbador. El segundo modo permite al usuario enviar una señal de socorro e-SOS al teléfono inteligente Android de un miembro de familia a través de una aplicación. Una vez que un recipiente responde a la señal e-SOS, se transmite un video desde el bastón hacia el usuario por medio de una cámara Raspberry PI. El miembro de familia puede dar instrucciones a través del micrófono (o por texto a voz) y el mensaje es transferido a un altavoz integrado en el bastón.

En otro estudio mencionado se propone un diseño de bastón inteligente que utiliza sensores ultrasónicos y un zumbador para alertar a los usuarios de obstáculos cercanos [6]. El dispositivo se construyó con un microcontrolador PIC 16F877A y se programó en el lenguaje C, lo que lo convierte en un diseño de bajo nivel. El objetivo de este proyecto era producir un bastón inteligente alternativo para personas con debilidad visual de bajo costo en países subdesarrollados.

De igual manera en otra propuesta de un bastón inteligente que está diseñado tanto para débiles visuales como para personas de la tercera edad donde el bastón tiene muchas funciones integradas que permiten la detección de obstáculos y el monitoreo de la salud. Para la detección de obstáculos, se instalaron varios sensores: un sensor PIR para detectar pozos, sensores ultrasónicos para localizar objetos cercanos y un sensor de agua para detectar cuerpos de agua a lo largo de un camino. Los módulos para el monitoreo de la salud incluyen un sensor TCRT1000 para el cálculo de la frecuencia del pulso y un termistor NTC para la lectura de la temperatura corporal. El diseño también cuenta con un botón de pánico para que el usuario pueda alertar, a un familiar suyo, que necesita asistencia. Este botón envía al miembro de familia información sobre la salud y la ubicación del usuario utilizando un módulo GPS y GSM integrado en el dispositivo; la información se envía a través de SMS [7].

Otro diseño, conocido como el iWalk [8], es un bastón inteligente diseñado para personas con discapacidad visual que presentan dificultades para trasladarse por lugares desconocidos. El bastón puede detectar objetos sólidos usando un sensor ultrasónico y cuerpos de agua por medio de un sensor de agua. Los sensores se controlan mediante una placa Arduino. Un zumbador integrado emitirá dos sonidos diferentes dependiendo de si el obstáculo es un sólido o un cuerpo de agua. El diseño también incluye un interruptor de control remoto inalámbrico RF (radiofrecuencia) que activa el zumbador del dispositivo y permite al usuario ubicar el bastón en el caso de que lo llegara a perder.

Las propuestas de los proyectos mencionados muestran una gran variedad de soluciones para mejorar la calidad de vida de las personas discapacitados visuales, sobre todo en el sentido de la transportación. Sin embargo, algunos de estos diseños son innecesariamente complicados, son caros, perturban la paz pública e incluso al mismo usuario con los zumbadores, y sobre todo son poco prácticos.

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

Según el INEGI en México existen 2.7 millones de personas con dificultades para ver.

Objetivo

El objetivo de este proyecto es desarrollar el prototipo de un bastón, sencillo y económico, para incrementar el "campo de sensación" de las personas con debilidad visual con el uso de sensores ultrasónicos y motores de vibración. Se busca que el diseño sea simple e intuitivo para que los usuarios puedan aprender a usar el bastón con facilidad. Otro objetivo importante es no perturbar al usuario y a la gente de su alrededor implementando una solución silenciosa para alertar al débil visual sobre obstáculos que se encuentran en su cercanía.

Metodología

Antes de determinar el diseño del bastón ultrasónico, se tomó en consideración otros sensores de proximidad distintos de tipo inductivo, capacitivo e infrarrojo. Se determinó que la señal más adecuada para el bastón son los sensores ultrasónicos debido a su exactitud, precisión, robustez y bajo consumo de energía. Los sensores que se emplearon para el prototipo son el HC-SR04.

Materiales

a) **Bastón Plegable para Invidentes Ciegos** El bastón que se utilizó para construir el prototipo es plegable en cuatro partes, mide 122 cm de longitud y tiene una punta de rodamiento.

b) **Sensores Ultrasónicos HC-SR04** Los sensores ultrasónicos HC-SR04 emiten una ráfaga de ondas de 40 kHz que rebotan contra objetos sólidos y es capturada por el mismo sensor. El tiempo que tarda la onda en retornar al sensor desde que es emitida determina la distancia en que se encuentra el obstáculo. El HC-SR04 tiene un voltaje de trabajo de 5.0V CD. Su rango efectivo es de 2 cm hasta 450 cm y su ángulo de medición es de 15º.

c) **Módulos de Motores de Vibración** Los módulos de motores de vibración son compatibles con el Arduino UNO R3. Tienen un voltaje de trabajo de 3.0V a 6.0V CD y una velocidad de vibración mínima de 9000 rpm (revoluciones por minuto). La intensidad de la vibración es variable y puede ser controlada a través de una señal PMW [9].

d) **Placa Arduino UNO R3** El Arduino UNO R3 es una placa electrónica que cuenta con un microcontrolador ATmega328P programable y un procesador ATMega16U2. Es el cerebro del bastón que permite la comunicación y la operación de los sensores ultrasónicos y motores de vibración.

El costo total de los materiales que se utilizaron para construir el prototipo se aproxima a los $2,000 (pesos mexicanos).

Diseño

El bastón ultrasónico se diseñó con tres sensores HC-SR04 y tres módulos de motores de vibración montados sobre un bastón desplegable para personas con debilidad visual y controlado por medio del Arduino UNO R3. Cada motor de vibración está asignado a un sensor HC-SR04 distinto. Cuando un sensor ultrasónico detecta un obstáculo, se calcula la distancia en la que se encuentra dicho obstáculo y se manda una señal *PWM* (Pulse With Modulation) al módulo de motor de vibración a la que está asignado. Entre más cercano se encuentre el objeto, más intenso será la vibración. El comportamiento de cada motor y sensor se muestra en la Figura 1.

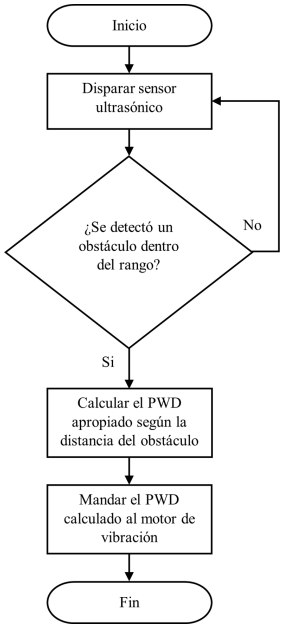


Figura 1. Diagrama de flujo sobre el funcionamiento del bastón ultrasónico.

Se diseñó el circuito del prototipo como se muestra en la Figura 2. Los sensores ultrasónicos y los módulos de motores de vibración son alimentados a través del pin 5.0Vcc del Arduino UNO R3. Los pines de disparador (TRIG) de los sensores ultrasónicos se conectaron a los

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

pines D9, D11 y D13 de la placa Arduino. Los pines de eco (ECHO) de los sensores se conectaron a los pines D8, D10 y D12 del Arduino. El pin *PWM* de los módulos de motores de vibración se conectaron a los pines D3, D5 y D6 del Arduino. Se colocó un botón para activar los motores de vibración. Esto le permitirá al usuario la libertad de apagar los motores de vibración cuando no los ocupe.

El prototipo de bastón ultrasónico es facil de construir y a un costo accesible.

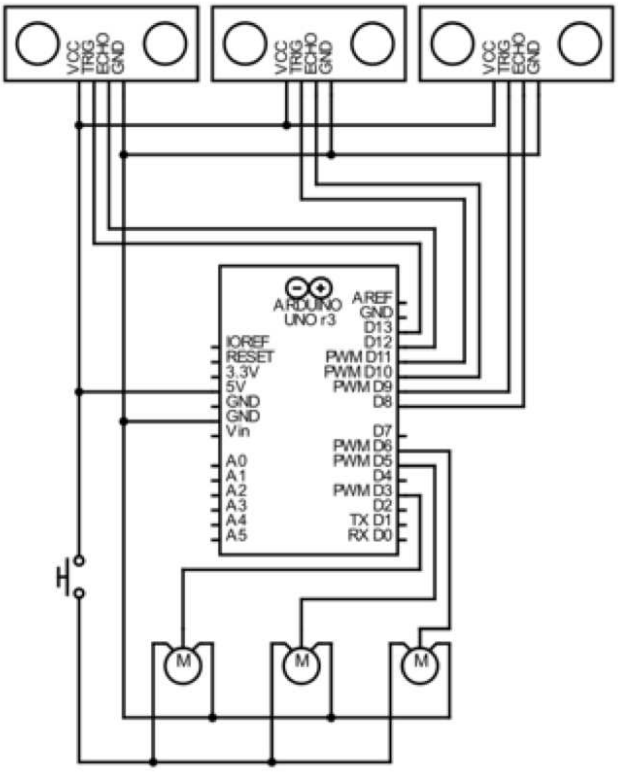


Figura 2. Circuito del bastón ultrasónico.

La programación del Arduino UNO R3 se realizó en el Arduino IDE. Se utilizó una librería externa llamada NewPing para incrementar la precisión, la exactitud y la velocidad de operación de los sensores ultrasónicos [10]. El algoritmo para obtener el PWM (Pulse With Modulation) consiste en lo siguiente: 1) Si el obstáculo se encuentra fuera de los 250cm, el PWM es cero. 2) Si el obstáculo se encuentra entre los 100cm y los 250cm, el PWM es igual a 350 menos la distancia en centímetros. 3) Si el obstáculo se encuentra dentro de los 100cm, el PWM es 250. Esto puede ser expresado en una función definido por partes.

Los sensores ultrasónicos se posicionaron a 40 cm desde la punta del bastón: dos en los laterales izquierdo y derecho, y uno en posición boca arriba. El sensor de arriba se le dio una inclinación de 30^{o} sobre el bastón para que éste pueda detectar obstáculos suspendidos sobre el suelo. Los motores de vibración se instalaron en el mango del bastón, de tal manera que cada uno esté en contacto con la punta de un dedo: uno en el pulgar, otro en el dedo anular y el último en el dedo meñique. Esto le permitirá al usuario distinguir la dirección en la que se encuentran los objetos. También se colocaron esponjas debajo de los motores para impedir que la vibración se propague por todo el mango; esto puede provocar que el usuario no logre distinguir acertadamente la dirección de los obstáculos. El prototipo de bastón ultrasónico se muestra en la Figura 3.

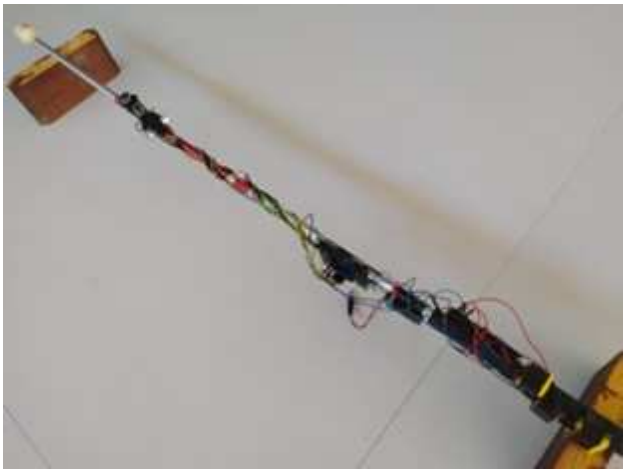


Figura 3. Prototipo del bastón ultrasónico.

Experimentación y resultados

Se construyó una pista de obstáculos para poner en prueba las capacidades del prototipo del bastón ultrasónico. La experimentación se realizó en un ambiente controlado dentro de la Unidad Académica Multidisciplinaria Mante en un área despejada al aire libre con suelo pavimentado. El diseño de la pista se muestra en la Figura 4.

La pista de obstáculos consistió en un camino recto de 12 metros de longitud con objetos posicionados hacia el lado izquierdo y lado derecho del tramo. A los obstáculos se les ubico con una distancia de separación mínima de 150 cm entre ellos mismos y un mínimo de 100 cm de separación del camino. Al final de la pista, se colocó un obstáculo suspendido sobre el suelo para simular un letrero colgante.

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

El prototipo de bastón ultrasónico diseñado permite al usuario ampliar su campo de sensación mediante vibraciones.

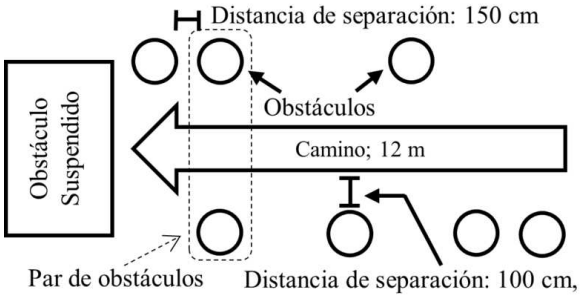


Figura 4. Pista de obstáculos de prueba.

El experimento se dividió en tres etapas, con cada etapa consistiendo en tres recorridos. En la primera etapa los obstáculos tenían una distancia de 100 cm de separación del camino. En la segunda etapa la distancia de separación se incrementó a 150 cm. En la tercera etapa la distancia de separación se incrementó a 200 cm. El número total de recorridos fueron nueve.

Se le pidió a un sujeto de prueba cruzar la pista de obstáculos, caminando en línea recta, con los ojos vendados y con el apoyo del bastón ultrasónico. El objetivo del sujeto de prueba era identificar los objetos que se encontraran a su izquierda o derecha. Se anotó si el sujeto logró identificar la dirección del obstáculo correctamente o si no lo llegó a percibir. Cada recorrido terminó con una de dos posibilidades: 1) El sujeto logró detenerse antes de colisionar con el obstáculo suspendido o 2) el sujeto chocó con el obstáculo suspendido. Si sucedió la primera posibilidad, entonces se midió y se anotó la distancia entre el obstáculo suspendido y el sujeto.

La posición y la cantidad obstáculos se determinan aleatoriamente para cada recorrido bajo las siguientes condiciones: 1) Debe de haber un mínimo de seis obstáculos y un máximo de ocho. 2) El número total de obstáculos que debe de haber en cada etapa son 20. 3) A cada obstáculo se le asigna una posición a la derecha o a la izquierda de manera aleatoria. 4) Debe de existir solamente un par de obstáculos posicionados a la misma altura en el camino.

Antes de que el sujeto de prueba comenzara con la experimentación, se le capacitó en el uso del bastón ultrasónico y en cómo caminan los personas con debilidad visual. Se realizaron tres recorridos de prueba para que el sujeto se acostumbrara al funcionamiento del bastón. No se anotaron los resultados de estos recorridos de prueba.

En la primera etapa del experimento, de 20 obstáculos colocados la Tabla 1 muestra los resultados obtenidos.

Tabla 1. Tabla de obstáculos detectados exitosamente.

	Obstáculos detectados exitosamente	Porcentaje de obstáculos detectados
Etapa 1: 100 cm	17	85 %
Etapa 2: 150 cm	8	40 %
Etapa 3: 200 cm	3	15 %

La Tabla 2 muestra el detalle de recorridos y colisiones.

Tabla 2. Tabla de las distancias entre el sujeto y el obstáculo suspendido.

	Distancia entre el sujeto y el obstáculo suspendido
Etapa 1, recorrido 1	Colisión.
Etapa 1, recorrido 2	42 cm
Etapa 1, recorrido 3	43 cm
Etapa 2, recorrido 1	Colisión.
Etapa 2, recorrido 2	47 cm
Etapa 2, recorrido 3	45 cm
Etapa 3, recorrido 1	51 cm
Etapa 3, recorrido 2	49 cm
Etapa 3, recorrido 3	51 cm

Análisis y discusiones

Los resultados obtenidos del experimento demuestran que el prototipo tiene un rango efectivo alrededor de los 100 cm. Sin embargo, la efectividad empieza a decaer rápidamente a los 150 cm. A los 200 cm, se vuelve muy difícil percibir obstáculos. Se concluyó que el sujeto de prueba mejoró su capacidad de detectar objetos suspendidos sobre el suelo a lo largo del experimento. Al final de cada recorrido, se registró y se observó que la distancia entre el obstáculo suspendido y el sujeto incrementaba con el tiempo.

Conclusiones

Se logró diseñar y desarrollar el prototipo de un bastón económico para débiles visuales que les permitirán a los usuarios detectar más obstáculos en su entorno por medio de sensores ultrasónicos y motores de vibración. Los resultados del experimento muestran que el prototipo solo es efectivo dentro de un rango de 150 cm desde el usuario; sin embargo, esto demostró la viabilidad del producto.

Para que el bastón ultrasónico sea útil para las personas con debilidad visual, se requiere que los usuarios

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

se acostumbren al funcionamiento de su mecanismo. Con el tiempo, los usuarios se adaptarán al bastón y aprenderán a percibir los obstáculos que se encuentran a sus alrededores con mayor precisión.✳

REFERENCIAS

1. World Health Organization. (2021). Blindness and vision impairment. Recuperado el 18 de Junio de 2022, de https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment/.
2. Global Estimates of Vision Loss. (2022). Global Estimates of Vision Loss. Recuperado el 18 de Junio de 2022, de https://www.iapb.org/learn/vision-atlas/magnitude-and-projections/global/.
3. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática INEGI. (2020). Población, Discapacidad. Recuperado el 18 de Junio de 2022, de https://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/discapacidad.aspx.
4. Islam, M., Sadi, M.S., Zamli, K.Z. y Ahmed, M. (2018). Developing Walking Assistants for Visually Impaired. *IEEE Sensors Journal*, 1-17.
5. Mohapatra, S., Rout, S., Tripathi, V., Saxena, T. y Karuna, Y. (2018). Smart Walking Stick for Blind integrated. En *Proc. of the 2nd International Conference on Trends in Electronics and Informatics*.
6. Dey, N., Ghosh, P., De, R., Paul, A., Mukherjee, C. y Dey, S. (2018). Ultrasonic Sensor Based Smart Blind Stick. En *Proc. of 2018 IEEE International Conference on Current Trends toward Converging Technologies*.
7. Singh, S. y Singh, B. (2020). Intelligent Walking Stick for Elderly and Blind People. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 9(3), 19-22, 2020.
8. Olanrewaju, R., Radzi, M. y Rehab, M. (2017). iWalk: Intelligent Walking Stick for Visually Impaired Subjects. En *Proc. of the 4th IEEE International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Applications*.
9. Grobotronics. (2019). Arduino Vibration Motor Module. Recuperado el 17 de Julio de 2022, de https://grobotronics.com/arduino-vibration-motor-module.html.
10. Eckel, T. (2022). NewPing Arduino Library for Arduino. Recuperado el 17 de Julio de 2022, de https://bitbucket.org/teckel12/arduino-new-ping/wiki/Home.

SOBRE LOS AUTORES



Angel Mario Lerma Sanchez recibió el grado de Doctor en Sistemas Computacionales en 2022 por parte de la Universidad Da Vinci. Actualmente es profesor de tiempo completo de la Unidad Académica Multidisciplinaria Mante. Sus intereses de investigación está la inteligencia artificial, la visión por computadora y el desarrollo de software, entre otros.



Daniel López Piña tiene la Maestría en Docencia y actualmente es doctorante en Sistemas Computacionales. Es profesor de asignatura y entre sus intereses de investigación se encuentra la electrónica, la robótica, los circuitos embebidos y la domótica, entre otras.



José Alan Franco Beltrán actualmente es estudiante de la Ingeniería en Sistemas Computacionales en la Unidad Académica Multidisciplinaria Mante, sus intereses se encuentran la programación a bajo nivel, la electrónica y la robótica.

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

ARTÍCULO ACEPTADO

Detección de dolor en la señal cerebral usando Inteligencia Artificial

Rogelio Sotero Reyes-Galaviz, Omar Mendoza-Montoya y Javier M. Antelis

¿Qué es el dolor?

El dolor es una experiencia familiar para todo ser vivo, desde el momento de nuestro nacimiento hasta el momento en que dejamos de respirar. Esta experiencia se puede definir como una sensación poco placentera pero vital, la cual demanda por completo nuestra atención, nos paraliza y puede llegar a distorsionar nuestros pensamientos [1]. Al mismo tiempo, esta sensación funge como una alarma la cual informa sobre algún suceso o estímulo importante que está ocurriendo en nuestro cuerpo y ese es el principal motivo de este proceso fisiológico. Lo interesante del dolor es que la sensación de este puede ser distinta para cada ser vivo y dependerá de una variedad de factores individuales como externos.

El dolor solía llamarse en tiempo remotos "qualia afectiva"[3][4]. Esto se debe a que suele considerarse una sensación subjetiva que, además del verdadero factor fisiológico que generó su origen, varía dependiendo el historial de cada persona, su contexto sociocultural y su sexo biológico [2]. Las qualias son experiencias subjetivas las cuales dependen de las vivencias individuales de cada ser vivo. Algunos ejemplos de qualias; la forma en percibir el tono de los colores, la sensación de la temperatura, el sabor de las comidas y en este artículo el nivel de dolor. Esto significa que una qualia aplicada a diferentes individuos tendrá respuestas totalmente diferentes [5]. El hecho de que el dolor sea una qualia o una experiencia subjetiva hace que sea un problema el detectarlo y, más aún en un futuro, cuantificarlo.

Hoy en día la mejor manera de conocer si una persona está experimentando dolor es por medio de escalas numéricas o cuestionarios verbales en donde se pregunta ¿Existe dolor?, ¿Del 1 al 10 cuanto dolor siente en comparación de la última visita?, ¿Es tipo punzada o permanece por mucho tiempo?. A pesar de ser preguntas ambiguas, cuyas respuestas no son tan precisas como el paciente quisiera, pueden ser funcionales para el médico que las realiza; pero, ¿qué sucede en una persona que no puede comunicar su dolor? El problema se agrava cuando una persona con problemas de comunicación o en estado de inconsciencia está pasando alguna situación dolorosa y no puede expresarlo. Por eso, desde algún tiempo atrás, se ha estado investigando la manera de detectar dolor con ayuda de marcadores o señales biológicas que puedan dar información para detectar o cuantificar los niveles. Las investigaciones han sido orientadas a detectarlo de manera no invasiva usando información fisiológica como la sudoración, la frecuencia cardiaca, el pulso de volumen sanguíneo, electromiografía, espectroscopia de infrarrojo cercano y electroencefalografía. Esta última siendo de interés por la relación que existe entre los estímulos dolorosos y las respuestas cerebrales generadas en milisegundos.

El dolor, más allá de su origen fisiológico, depende del historial, sexo biológico y el contexto sociocultural del individuo.

Respuesta fisiológica del dolor

A pesar de que el dolor es una experiencia bastante familiar, existen distintos factores que lo generan y su identificación puede ser un problema, ya que suele dividirse en muchos tipos. Entre estos tipos están el dolor visceral, que se genera por la afección de los órganos, el neuropático, causado por algún daño en la médula espinal o el cerebro, y el dolor nociceptivo, el cual afecta a los receptores del dolor (nociceptores) en respuesta a algún estímulo nocivo [6]. El dolor nociceptivo es con el que comúnmente se trabaja en el mundo de la investigación por ser relativamente sencillo generarlo.

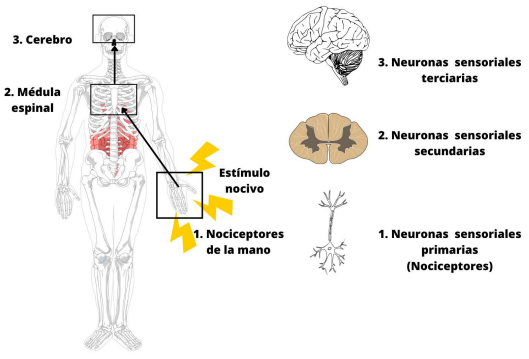


Figura 1. Proceso fisiológico del dolor nociceptivo.

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

Lo que sucede con el dolor nociceptivo es que algún estímulo nocivo externo afecta las terminales receptoras de dolor en alguna zona del cuerpo. Lo anterior genera que las neuronas sensoriales primarias se vean afectadas y manden información inmediata a la médula espinal, quien posee la raíz del ganglio dorsal que contiene las neuronas sensoriales secundarias. Al recibir esta información, mandan una alerta al cerebro (contenedor de las neuronas sensoriales terciarias), para generar una respuesta inmediata e informar a la zona del cuerpo afectada que existe un problema que necesita atención [7].

La Figura 1 explica gráficamente esta cadena de reacciones biológicas que ocurre en milisegundos. Bajo estas condiciones, técnicas como electroencefalografía son buenas al detectar dolor, esto debido a su buena resolución temporal que permite capturar sucesos cerebrales rápidos [8].

Los estímulos mecánicos son una de las formas controladas con las que se puede provocar dolor nociceptivo. Entre ellos están el uso de jeringas, punzadores, prensas o cualquier objeto que genere una acción mecánica sobre el individuo. Dichos estímulos suelen ser peligrosos ya que pueden llegar a causar algún tipo de traumatismo en la piel de las personas.

Otro tipo de estímulo común es el láser, que sirve bastante para saber el tiempo de respuesta al dolor de las personas. La conveniencia de este estímulo radica en su rápido tiempo de aplicación que evita quemaduras en los individuos. De la misma forma, los estímulos térmicos son bastante comunes, en este caso se usa calor o frío para generar alguna experiencia dolorosa en los individuos. Este tipo de estímulo también es de los más usados ya que llega a ser bastante sencillo de aplicar y suele ser el menos traumático para la piel de los participantes. Puede hacerse uso de agua fría, objetos con temperaturas variables, agua caliente o bloques de hielo.

Todos estos estímulos son recomendados para ser usados dentro de laboratorios con parámetros controlados para generar el mínimo daño a los participantes. Además, es de gran importancia grabar la bioseñal de interés para poder extraer información y encontrar alguna relación entre los estímulos nocivos y su respuesta fisiológica.

Como se mencionó anteriormente, la electroencefalografía cuenta con una gran resolución temporal, lo cual permite capturar procesos fisiológicos de alta velocidad y se convierte en una de las bioseñales más aptas para detectar dolor y, en el mejor de los casos, cuantificarlo.

Adquisición de la actividad cerebral ante estímulos doloros

Ya se ha hablado de cómo llega la información de un estímulo nocivo hasta el sistema nervioso central, pero ¿Cómo se podría recabar esta información y que podríamos hacer con ella? La electroencefalografía es una técnica de neuroimagen capaz de capturar pequeñas corrientes eléctricas de la superficie del cuero cabelludo de manera no invasiva, estos pequeños cambios en la corriente eléctrica son generados por la interacción entre neuronas. Al momento en que crece la actividad neuronal, la corriente eléctrica aumenta, haciendo posible detectar cambios dependiendo de la tarea o del estímulo bajo el cual esté el participante. Al ser un sensor tan práctico por su naturaleza no invasiva, suele tener mucha contaminación externa por señales eléctricas de origen no cerebral o por movimientos mecánicos del participante. Esto ha generado una serie de métodos para su procesamiento en donde se busca dejar la señal de la forma más limpia posible, pero con toda la información de interés para el investigador. Algunos de estos métodos son usados en la investigación que se platicará a continuación y en la mayoría de artículos que se referencian en este documento.



Figura 2. Uso de un sensor electroencefalográfico para la caracterización de señales cerebrales en el NTLab.

Gran parte del trabajo realizado en el laboratorio de Neurotecnología (NTLab) del Tecnológico de Monterrey, es analizar estas señales cerebrales para poder interpretarlas y usar distintos métodos de inteligencia computacional; esto con el fin de crear Interfaces Cerebro-Computadora (BCIs) capaces de distinguir entre diferentes tareas o estímulos bajo los cuales está el participante y realizar acciones en la computadora. Uno de los nuevos trabajos de este grupo de investigación es el de poder identificar y cuantificar el dolor a partir de las señales cerebrales.

La idea de poder cuantificar dolor usando electroencefalografía y métodos de inteligencia computacional nace en conjunto a un proyecto del Laboratorio de Biomecatrónica del Tecnológico de Monterrey en donde se planea identificar las zonas de mayor y menor tolerancia al dolor en muñones de personas amputadas, para el diseño de prótesis cómodas que no lastimen tanto a estas personas.

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

Para tener un primer acercamiento al problema del dolor y su relación con la respuesta cerebral, un experimento previo se realizó usando estímulos térmicos como métodos generadores de dolor. Esta idea ha sido motivada por distintos trabajos que han demostrado una relación entre los umbrales de sensibilidad al dolor y la respuesta cerebral [9][10].

Propuesta experimental

La idea de trabajar con personas amputadas, las cuales serán estimuladas mecánicamente, generó una serie de condiciones a las cuales teníamos que orientar el primer experimento. Como el estímulo mecánico que se aplicará al muñón de los participantes tendrá un comportamiento de aplicación de fuerza gradual sobre alguna zona específica, el tipo de dolor generado es de tipo fásico. Este nombre lo recibe debido a los receptores fásicos involucrados en el proceso, que están activados mientras un estímulo externo actúa sobre ellos. Los receptores tónicos, por otro lado, sólo se activan al inicio y al final del estímulo, como el caso de las inyecciones, que se sienten solamente al momento de penetrar la piel y al salir de ella. Por lo anterior, se diseñó un experimento capaz de simular este tipo de dolor. Lo más cercano y teniendo en cuenta el no causar daños en los participantes, es el estímulo térmico. Este aumenta de manera gradual la inconformidad de las personas mientras más tiempo esté expuesto el tejido al estímulo.

En la literatura revisada, muchos autores hacen uso de la Prueba de Presión en Frío (CPT), la cual consiste en introducir la mano de los participantes en un balde de agua fría hasta que el participante no lo tolere. En el laboratorio se puso a prueba esta idea y lo que pasaba es que muchos participantes no presentaban ninguna inconformidad, podían pasar minutos y no reaccionaban ante el estímulo. Debido a esto, se hizo una adaptación del experimento, cambiando el balde de agua fría por un bloque de hielo el cual tenían que tocar con la mano hasta que no lo toleraran más.

El experimento se realizó con ayuda de 10 participantes (3 mujeres y 7 hombres) en las salas de grabación del laboratorio, con una temperatura controlada de aproximadamente 22°C. A los participantes se les pedía sentarse cómodamente en una silla para la colocación del sensor electroencefalográfico y después realizar las tareas que se les pedían por medio de un monitor, como se visualiza en la Figura 2.

Estas tareas son:

1. +: Cruz de fijación en la cual tienen que concentrarse durante 10 segundos previos al estímulo.

2. **Al hielo**: En este momento, el sujeto colocaba alguna de las manos sobre el bloque de hielo tratando de hacer la menor cantidad de movimientos bruscos posibles para no afectar la calidad de la grabación. Aquí se tenía un tiempo predeterminado de 40 segundos en hombres y 2 minutos en mujeres (esto debido a que las mujeres tienen un umbral de dolor diferente en ciertos días de su ciclo menstrual), pero en sí los participantes retiraban la mano en el momento que sintieran que no toleraban más el estímulo.

3. **Descanso**: Aquí el sujeto podía comenzar a descansar y se hacía un cambio de mano. El tiempo de descanso variaba entre 2 a 5 minutos dependiendo de la capacidad de recuperación de temperatura del sujeto.

Estas 3 tareas son consideradas como una repetición. Esto se realizaba 5 veces por mano. Teniendo un total de 10 repeticiones por sujeto. En la Figura 3 se observa este proceso.



Figura 3. Línea de tiempo de las tareas asignadas a cada participante.

Para la toma de señales se hizo uso de un sensor electroencefalográfico de alto desempeño llamado g.USBamp de la marca g.Tec. Como lo que nos interesa actualmente es tener un primer acercamiento al problema de la detección de dolor con EEG, la arquitectura usada para colocar los electrodos fue una que abarcara toda la cabeza. Debido a esto, 16 electrodos se colocaron uniformemente por toda la superficie del cuero cabelludo usando los electrodos Fp1, Fp2, F3, Fz, F4, T7, C3, Cz, C4, T8, P3, Pz, P4, PO7, PO8 y Oz. La frecuencia de muestreo aplicada fue de 256 Hz, la cual permite poder capturar la información de interés, como lo son las frecuencias Delta (2-4 Hz), Theta (4-8 Hz), Alpha (8-12 Hz), Beta (12-32 Hz) y Gamma (32-80 Hz).

Cada uno de estos rangos de frecuencia tienden a aparecer debido a ciertos estados o comportamientos, como en sueño profundo, en relajación, en enojo, etc. En este caso se hará uso de todas para tener un panorama más amplio y ver que rangos de frecuencia llegan a presentarse más al momento del estímulo de dolor.

Para obtener la información deseada de las grabaciones se procesa la señal después de realizar la limpieza de la misma. Esto se realiza para reducir el ruido en las muestras del EEG, generado durante la grabación de señales.

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

El origen de los ruidos puede ser debido a parpadeos, movimientos bruscos, contaminación de la línea eléctrica, el ritmo cardiaco u algún otro tipo de fenómeno no cerebral. Para esto, una serie de pasos se siguieron para limpiar la señal con la finalidad de poder extraer de la mejor manera la información que interesa:

1. **Filtrado**: Se hace un filtrado de la señal de 2 a 80 Hz, para abarcar las 5 bandas de frecuencia de interés (Delta, Theta, Alpha, Beta y Gamma).
2. **Segmentación de la señal**: La señal filtrada se segmenta en 3 condiciones, las cuales se observan en la Figura 4. La condición 1 es de los 10 segundos de pre-estímulo, para conocer el estado de los participantes antes del experimento. La condición 2 es de los primeros 3 segundos de la señal cuando se pone la mano en hielo. Por último, la tercera condición es de los 3 segundos anteriores a cuando el sujeto retira la mano del hielo, ya que este segmento nos indica que hubo dolor.
3. **Uso de ICA**: Se hace un Análisis de Componentes Independientes (ICA) para serparar componentes provenientes de artefactos de la señal deseada. Este es un método de separación ciega de fuentes (BSS por Blind Source Separation) y es bastante útil para limpiar este tipo de señales.
4. **Ventaneo y eliminación de datos**: A cada una de estas condiciones se le divide en ventanas de medio segundo para tener más información al momento de aplicar métodos de inteligencia computacional (clasificadores y algoritmos inteligentes). También, se hace una eliminación de ventanas si es que las ventanas contienen más ruido que información útil.
5. **Extracción de características**: Las características a extraer son las bandas de poder de los 5 rangos de frecuencia mencionados anteriormente, estas se calculan por ventana a cada uno de los 16 canales.



Figura 4. Gráfica de las 3 condiciones propuestas, Pre-estímulo a la izquierda, en el centro el comienzo del estímulo y a la derecha los últimos 3 segundos de tolerancia al estímulo.

Toda esta limpieza, procesado y extracción de características de la señal se aplica a cada canal, repetición y sujeto muestreado. De aquí se tienen bases de datos de características deseadas (potencias de bandas de frecuencias) las cuales serán introducidas a distintos algoritmos inteligentes para encontrar una discriminación entre condiciones.

Resultados experimentales

En este primer acercamiento al problema de detectar dolor, las características extraídas se usaron con distintos métodos de aprendizaje máquina para discriminar entre las 3 condiciones antes mencionadas. Los métodos utilizados fueron k-vecinos más cercanos, redes neuronales, discriminación lineal y máquinas de vectores de soporte lineales. Como resultados importantes, se logró discriminar correctamente con más de 70 % cada una de las 3 condiciones propuestas en 6 sujetos masculinos, uno se descarto por la contaminación que existía en su grabación. El tiempo promedio de los sujetos bajo el estímulo térmico era de unos 15 segundos. En el caso de las mujeres, no se logró tener ningún resultado importante ya que el estímulo térmico no presentaba algún efecto notorio en ellas, incluso cuando la ventana de toma de muestra se amplió a 2 minutos, solo mencionaban sentir frío. Esto es algo que nos sigue causando intriga. Para estos resultados, máquinas de vectores de soporte y redes neuronales fueron los métodos más eficaces para discriminar entre las 3 condiciones propuestas.

Conclusiones

Este primer experimento, donde nos adentramos al mundo del dolor y las señales cerebrales, obtuvo resultados bastante satisfactorios. Cabe recalcar que este es un primer acercamiento a los datos obtenidos, el siguiente paso es analizar más a fondo las señales grabadas y continuar experimentando. En el caso de las mujeres, surgen dudas sobre su umbral de dolor ya que es bastante la diferencia entre la percepción de dolor de ellas y la experiencia percibida por los hombres. Esto se debe a cambios hormonales durante el ciclo menstrual de la mujer y sería de interés seguir estudiando el dolor y sus diferencias entre géneros.

Como se mencionó al principio del artículo, el dolor es subjetivo y estos resultados son un ejemplo claro de ello. La evidencia obtenida, así como la literatura revisada, confirman que es posible detectar y cuantificar dolor usando señales electroencefalográficas, motivando aún más la investigación de este tema y permitiendo que nuestra imaginación vuele cuando pensamos en interfaces que nos permitan saber a que grado una persona está sintiendo dolor. ✳

REFERENCIAS

1. Kang, J., Wei, Y., Liu, L., Han, R., Yu, B. y Wang, J. (2020). Energy systems for climate change mitigation: A systematic review. *Applied Energy*, 263, 114602.

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

2. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2022). Los ODS en acción. Recuperado el 25 de Abril de 2022, de https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals.

3. International Renewable Energy Agency. (2022). Energy Transition. Recuperado el 25 de Abril de 2022, de https://www.irena.org/energytransition.

4. Gottwalt, S., Gärttner, J., Schmeck, H. y Weinhardt, C. (2016). Modeling and valuation of residential demand flexibility for renewable energy integration. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 8(6), 2565-2574.

5. Gharavi, H. y Ghafurian, R. (2011). Smart Grid: The Electric Energy System of the Future [Scanning the Issue]. En *Proceedings of the IEEE*, 99(6), 917-921.

6. vom Scheidt, F., Medinová, H., Ludwig, N., Richter, B., Staudt, P. y Weinhardt, C. (2020). Data analytics in the electricity sector – A quantitative and qualitative literature review. *Energy and AI*, 1, 100009.

7. Donti, P. y Kolter, J. (2021). Machine learning for sustainable energy systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 46(1), 719-747.

8. Myst AI. (2021). Deploy Expert Forecasting Models in Minutes. Recuperado el 5 de julio de 2022, de https://www.myst.ai/.

9. Hong, T., Pinson, P., Wang, Y., Weron, R., Yang, D. y Zareipour, H. (2020). Energy forecasting: A review and outlook. *IEEE Open Access Journal of Power and Energy*, 7, 376-388.

10. Ludwig, N. (2020). Data-Driven Methods for Demand-Side Flexibility in Energy Systems. Tesis de doctorado. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Alemania.

11. Melzack, C. (1986). "Sensory, motivational and central control determinants of pain: a new conceptual model". Kenshalo, D. R. (Ed.) *The Skin Senses*. International Symposium on the Skin Senses, pp 423-439.

12. O'Keefe, M. (2021). Pain Depends on Context. Pain Revolution. Recuperado el 25 de Enero de 2022. https://www.painrevolution.org/blog/pain-depends-on-context.

13. Gilman, B.I. y Marshall, H. R. (1894). Pain, Pleasure, and Aesthetics. *Philosophical Review*, 3(3), 342.

14. Dallenbach, K.M. (1939). Pain: History and Present Status. *The American Journal of Psychology*, 52(3), 331.

15. Chaparro-Gómez, C. y Damasio, Antonio (1999). The feeling of what happens Body and emotion in the making of consciousness. *Revista de La Facultad de Psicología*, ISSN 1560-6139, 3(2000), 188–192.

16. Del-Arco, J. (2015). Curso básico sobre dolor. Fisiopatología, clasificación y tratamiento farmacológico. *Farmacia Profesional*, 29(1), 36–43.

17. Gonçalves, T. C., Benoit, E., Partiseti, M. y Servent, D. (2018). The NaV1.7 channel subtype as an antinociceptive target for spider toxins in adult dorsal root ganglia neurons. *Frontiers in Pharmacology*, 9(SEP).

18. Farnsworth, B. (2019). EEG (Electroencephalography): The Complete Pocket Guide. Recuperado el 28 de Julio del 2020. IMOTIONS. https://imotions.com/blog/eeg/

19. Hadjileontiadis, L.J. (2015). EEG-Based tonic cold pain characterization using wavelet higher order spectral features. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 62(8), 1981–1991.

20. Panavaranan, P., y Wongsawat, Y. (2013). EEG-based pain estimation via fuzzy logic and polynomial kernel support vector machine. En *BMEiCON 2013 - 6th Biomedical Engineering International Conference*, 1–4.

SOBRE LOS AUTORES



Rogelio Sotero Reyes-Galaviz es estudiante del Doctorado en Ciencias de Ingeniería en el Tecnológico de Monterrey. El obtuvo su grado de maestría en Ciencias en Ciencias y Tecnología Biomédicas en el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica. Sus intereses de investigación incluyen el procesamiento de señales, electroencefalografía y aprendizaje máquina.



Dr. Javier M. Antelis Obtuvo su maestría en Sistemas Electrónicos en el Tecnológico de Monterrey, México, y su maestría y doctorado en Ingeniería Biomédica en la Universidad de Zaragoza, España. Es miembro del grupo de investigación de Robótica del Tecnológico de Monterrey, y dirige el laboratorio de investigación de Neurotecnología e Interfaz Cerebro-Ordenador (NTLab). Sus investigaciones estan orientadas a estudiar y comprender las respuestas electrofisiológicas y la actividad eléctrica cerebral adquiridas con la técnica no invasiva del electroencefalograma (EEG) para desarrollar soluciones novedosas para las personas con movilidad y comunicación reducidas.



Omar Mendoza-Montoya es originario de Chihuahua y obtuvo su maestría en ciencias de la computación en el Centro de Investigación en Matemáticas (CIMAT), Guanajuato, México, y su doctorado en ciencias de la computación en la Universidad Libre de Berlín, Alemania. Actualmente trabaja como profesor de investigación en el Tecnológico de Monterrey, y se encarga del desarrollo de nuevos sistemas controlados con bioseñales para aplicaciones médicas.

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

ARTÍCULO ACEPTADO

Diabetes, Inteligencia Artificial e Internet de las Cosas Médicas: nuevas tendencias en la medicina

David Enrique Hernández-Calderón y José Guillermo Hernández-Calderón

Introducción

La Diabetes Mellitus (DM), es una enfermedad metabólica caracterizada por niveles elevados de glucosa en la sangre, lo que en última instancia puede provocar muchas complicaciones crónicas como ataque cardíaco, accidente cerebrovascular, enfermedad renal crónica, amputación de piernas o brazos, pérdida de la visión, daño a nervios, entre otras.

El control de la DM es fundamental para el tratamiento de la enfermedad y permite evitar complicaciones agudas, como un episodio de hipoglucemia (peligrosamente baja glucosa en sangre); hiperglucemia (glucosa elevada en sangre) asociada a otras complicaciones como estado hiperglucémico hiperosmolar, que presenta un nivel extremadamente alto de glucosa en la sangre o cetoacidosis diabética, que ocurre cuando el cuerpo no tiene suficiente insulina para permitir que el azúcar en la sangre ingrese a las células para usarlo como energía; o complicaciones crónicas, como las ya mencionadas líneas arriba.

Tras el descubrimiento y utilización de la insulina a través de inyecciones por Frederick Banting y Charles Best en 1921, la DM tuvo una opción de tratamiento eficaz para disminuir las concentraciones de la glucosa en sangre (glucemia). Poco tiempo después, se evidenció que el sobretratamiento con la insulina podría llevar a una "toxicidad.ªsociada a diferentes malestares y convulsiones. Rápidamente se descubrió que esta "toxicidad" se trataba de hipoglucemias [1][2].

La monitorización de la diabetes ha evolucionado a la par de la tecnología con el diseño de nuevos dispositivos.

La monitorización del control de la DM debe ser constante ya que se deben evitar cifras de glucemia altas o bajas. En un inicio, la monitorización de la glucosa se realizó a través del análisis de la orina, pues la glucosa se elimina a través de esta cuando se encuentra en niveles elevados en sangre [2], y era realizado mezclando la orina del paciente con una solución con base en cobre que, al calentarse, cambiaba de coloración orientando la cantidad de glucosa en orina del paciente. Siendo un método basado en color, no era tan preciso. [3]. Posteriormente, con técnicas más enzimáticas se logró estimar con mayor precisión la cantidad de glucosa en sangre [4].

Con el paso de los años, el tratamiento y monitorización de la DM ha evolucionado a la par de la tecnología: el uso de las jeringas reutilizables por jeringas desechables para la aplicación de insulina; el desarrollo de plumas con agujas desechables con la mejor capacidad de cuantificar la insulina administrada y, de manera relativamente reciente, la aparición de bombas de infusión continua (CSII, por sus siglas en inglés), que intentan simular la secreción pancreática normal de insulina de una persona que no padece de DM[5]. La primera de estas fue introducida en la época de 1960's y su evolución ha sido constante. Recientemente contamos con lo denominado "CSII de asa cerrada", una bomba de insulina combinada con un monitor de glucosa continuo (CGM, por sus siglas en inglés) que es un dispositivo capaz de sensar las cifras de glucemia en tiempo real de manera automática. También existen dispositivos que mediante la interacción del usuario (flash glucose monitors o FGM, por sus siglas en inglés) [1], y utilizando algoritmos, simulan de una manera más eficaz la secreción pancreática de insulina, al ser regulada con base en los niveles de glucosa en sangre del paciente en ese momento[5][6].

La implementación de algoritmos basados en Inteligencia Artificial (IA), que permiten reconocer los niveles de glucosa en sangre y adaptar la velocidad de la secreción de insulina acorde a las distintas necesidades de una persona, posibilita establecer un mejor control de las cifras de glucosa. Este control tiene como consecuencia una menor tasa de complicaciones de la enfermedad.

Debido a la importancia de la medición constante de la glucosa en el tratamiento de las personas con DM, en el futuro el sensar las cifras de glucosa podría no ser exclusivo de los dispositivos de monitorización continua de glucosa o bombas de asa cerrada, pues podrían implementarse técnicas para que el entorno en el que se encuentre el paciente (dispositivos inteligentes en el entorno laboral, transporte o aulas de clase) tengan la capacidad de monitorizar las cifras de glucosa de manera activa. Esto permitiría a los pacientes desenvolverse de manera más segura en su día a día, al establecer una conciencia sobre el estado actual de la glucosa en sangre. y distintas posibilidades para el manejo activo sobre su tratamiento.

Con el objetivo de conocer los avances, características y tendencias en el uso de técnicas de IA, Machine Learning (ML) y de los desarrollos de Internet de las cosas Médicas (IoMT, *Internet of Medical Things*) enfocados al diagnóstico y control de la diabetes, se llevó a cabo una revisión de la literatura. En esta revisión se consideraron trabajos realizados en los últimos años relacionados con el seguimiento de los niveles de glucosa para el monitoreo

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

de pacientes con diabetes. En las siguientes secciones, se abordan algunos de los usos de Machine Learning en el control de la diabetes y dispositivos IoMT desarrollados con ese mismo fin.

La monitorización de la diabetes ha evolucionado a la par de la tecnología con el diseño de nuevos dispositivos.

Machine Learning e IoMT en el seguimiento de la diabetes

El aprendizaje máquina o Machine Learning (ML), es una rama de la Inteligencia Artificial y se clasifica en dos tipos principales: aprendizaje supervisado y no supervisado. En el aprendizaje supervisado, el algoritmo se entrena con datos de entrada y es usado en aplicaciones donde se cuenta con datos históricos que pueden ser utilizados para predecir eventos futuros. Además, previamente se conoce la clase a la que pertenece cada elemento de la base de datos. Los algoritmos de aprendizaje supervisado se dividen en algoritmos de regresión y de clasificación. Los de regresión se utilizan cuando hay una relación entre la variable de entrada y la de salida y en los de clasificación las variables de salida pueden categorizarse en clases dependiendo de las variables de entrada. La salida producida puede ser una cantidad numérica o contínua, en el caso de regresión. El aprendizaje no supervisado es utilizado para identificar patrones en cada conjunto de datos a pesar de que no haya sido clasificado o etiquetado previamente.

El IoMT consta de dispositivos médicos capaces de transferir datos del paciente mediante una red apoyando al médico a diagnosticar.

Para determinar el rendimiento de los modelos de ML se consideran tres métricas: sensibilidad, especifidad y precisión. La sensibilidad es una medida que indica la habilidad del modelo para predecir resultados verdaderos positivos (que realmente sean verdaderos); la especificidad refleja la habilidad del modelo para predecir resultados negativos que realmente sean negativos y la precisión es la proporción de resultados positivos.

En el ámbito de la medicina se han utilizado algoritmos de IA para el diagnóstico de cáncer. También, se ha utilizado para la predicción de enfermedades del corazón y en el tratamiento y monitoreo de la diabetes por mencionar algunos usos.

En la medicina actual, existen proyectos interesantes que podrían tener una repercusión clínica a futuro. Un ejemplo es el trabajo de Pustozerov et al. [7]: quienes desarrollaron una aplicación para teléfonos móviles o computadoras que permitiera predecir el efecto de diferentes tipos de alimentos en la glucemia de mujeres que padecieran de DM gestacional (DMG) utilizando modelos de regresión lineal. Este tipo de DM ocurre hasta en el 17 % de los embarazos y se presenta a partir del segundo trimestre. La DMG tiene la peculiaridad de que gran parte de los casos pueden controlarse únicamente con modificaciones en la dieta y actividad física. El equipo realizó el seguimiento de la glucemia con un CGM. Tras introducir a la aplicación el tipo de alimento ingerido y su peso exacto, el modelo es capaz de predecir el comportamiento de la glucosa tras la ingesta de alimentos de una manera adecuada, con un porcentaje de error absoluto de solo el 12.8 % (definido como la diferencia entre el valor real obtenido y el valor aproximado otorgado por la aplicación), siendo a futuro, una herramienta promisoria para el control de la DMG.

El Internet de las cosas médicas (IoMT) es el subconjunto de las tecnologías del Internet de las cosas (IoT) que consta de dispositivos médicos con la capacidad de transferir datos a través de una red sin exigir interacción de persona a persona o de persona a computadora. Estos dispositivos pueden ser utilizados de manera cotidiana por el paciente durante sus actividades diarias. Ayudan al médico a diagnosticar enfermedades más fácilmente y con precisión al interconectar todos los dispositivos de monitoreo de parámetros vitales mediante una red con un sistema de apoyo a la toma de decisiones [8] [9].

Los dispositivos de IoMT, se pueden clasificar en dispositivos invasivos y no invasivos, cuya principal diferencia es si requieren romper la piel penetrando en el cuerpo humano o no. Entre los dispositivos invasivos se encuentran los sensores de glucosa de tipo aguja y entre los no invasivos podemos encontrar parches electrodérmicos o prototipos de nuevos artefactos.

Los sensores de glucosa tipo aguja utilizan una aguja con un electrodo y la aguja se inserta en el tejido subcutáneo. En ellos, se utiliza el mismo método enzimático para generar señales electroquímicas que permitan cuantificar los niveles de glucosa. Estas señales son transmitidas como datos vía bluetooth al celular del paciente.

La información obtenida sobre el comportamiento de la glucosa es de relevancia para el médico y actualmente representa metas a seguir en las guías de tratamiento clínico internacional para el manejo de la persona con DM. De la misma manera, permite adecuar el tratamiento con la insulina de manera más precisa y con mayor seguridad hacia el paciente que con el enfoque tradicional, facilitando la identificación del tiempo específico del día en el que existe un mayor incremento en los niveles de glucosa, en los que hay un descenso peligroso y alcanzar una meta de tratamiento de manera más segura. Aunado a lo anterior, el uso de CGM representa una opción más cómoda

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

para los pacientes al no tener que realizarle una punción para extraer gotas de sangre y así medir, en un único momento, el nivel actual de la glucemia.

Los dispositivos médicos interconectados permiten obtener datos de indicadores relevantes para el tratamiento de la Diabetes Mellitus.

Un ejemplo de dispositivo no invasivo son los sensores portátiles de glucosa en sudor. Estos sensores (Ver Imagen 1) aprovechan el sudor, compuesto de agua con pequeñas cantidades de urea, amoniaco, sales y azúcar, para estimar el nivel de azúcar en el cuerpo del portador. A través de las glándulas ecrinas y apócrinas, el sudor es producido y excretado del cuerpo. Las primeras, están distribuidas en toda la piel y las segundas, se encuentran localizadas en zonas donde hay abundantes folículos pilosos (vello o cabello, como la cabeza, axilas o ingles). Este tipo de sensores no ha tenido un impacto en la práctica médica, a diferencia de los otros sensores ya mencionados.



Figura 1. Diseño de un sensor tipo aguja (izquierda), b) sensor de glucosa tipo aguja insertado en el antebrazo (derecha).

UPara analizar los datos recuperados por este tipo de sensores existe un proyecto que proporciona una prueba de concepto para un sistema de monitoreo continuo de glucosa no invasivo utilizando un enfoque de aprendizaje automático. Particularmente, en este trabajo se utiliza un enfoque de regresión basado en el aprendizaje supervisado para informar los valores de glucosa en el sudor en cada minuto de muestreo. Esta tecnología es prometedora para los biomarcadores en tiempo real, como los informes de glucosa del sudor ecrino humano expresado pasivamente [10].

Otro ejemplo es el del desarrollo de un dispositivo no invasivo que permite el monitoreo de glucosa usando sensores óptimos y técnicas de aprendizaje automático. El diseño de este sensor óptico de glucosa (ver Imagen 2) considera fuentes de luz y detectores dentro del rango visible (VIS) e infrarrojo cercano. Las fuentes de luz VIS-NIR son soldadas a una placa de circuito impreso (PCB, por sus siglas en inglés); un sensor de espectroscopía tría-da que permite medir la cantidad de intensidad de luz absorbida después de pasar a través de la solución; una cubeta de cristal óptico estándar para sostener la muestra de glucosa; una bomba fluídica peristáltica para el desplazamiento de la solución; y varias piezas impresas en 3D que sirven como soporte de todos los elementos.

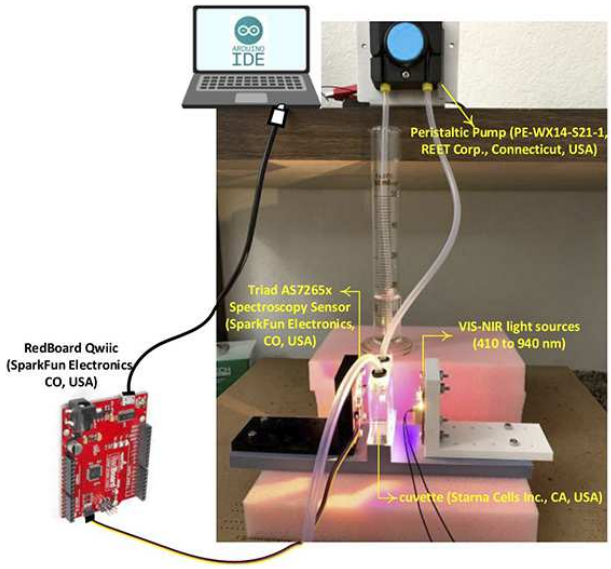


Figura 2. Configuración del dispositivo sensor de glucosa óptica basado en VIS-NIR [8].

En este trabajo, se utilizan varias técnicas de aprendizaje automático para predecir el nivel de glucosa, construyendo modelos basados en regresión que predicen valores continuos de concentración de glucosa. El objetivo de las técnicas de regresión es entrenar un modelo para minimizar el error entre un valor de concentración de glucosa real y predicho, pero no está directamente involucrado en la reducción del error asociado con la detección de hipoglucemia e hiperglucemia. Una limitante de este trabajo es que las predicciones realizadas por los modelos de regresión pueden verse reducidas en su capacidad para predecir con precisión la hiperglucemia y la hipoglucemia, especialmente en aplicaciones de la vida real donde varios factores afectan la señal medida y se necesita la opinión del médico.

Conclusiones

Los dispositivos médicos interconectados permiten obtener datos de indicadores relevantes para el tratamiento de la DM ya que facilitan un biosensado eficiente, de manera mínimamente invasiva lo que facilita un sensado continuo. Es importante considerar que la información recabada por los sensores puede ser utilizada en el apoyo de detección temprana, aunque su mayor impacto es en

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

el control en los pacientes que ya cuentan con un diagnóstico de DM, donde toma relevancia el control a lo largo de los años para evitar complicaciones agudas y crónicas.

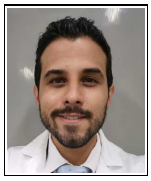
Es importante considerar que los datos obtenidos por los sensores son una herramienta más del médico especialista que, en conjunto con el adecuado interrogatorio, exploración física y resto de los laboratoriales, es de ayuda para la toma de decisiones en beneficio del paciente. Sin embargo, hasta el momento, no existe una distribución generalizada sobre las nuevas opciones de la monitorización de la glucemia, principalmente por motivos económicos debido al costo actual de esta tecnología.

Al momento de integrar IA y con los nuevos dispositivos en la monitorización de la glucosa hacia el ambiente día a día del paciente, se podrían tener indicios de cómo se ha comportado el nivel de la glucosa y sugerir el ajuste de los cálculos de bolo en función de los datos recopilados por el dispositivo de monitoreo continuo. Esto podría representar una estrategia más segura en los próximos años para el tratamiento y seguimiento de los pacientes en su día a día además de que puede ayudar a mejorar la práctica médica de este padecimiento y, en consecuencia, la atención y experiencias de los pacientes. ✳

REFERENCIAS

1. Olczuk, D. y Priefer, R. (2018). A history of continuous glucose monitors (CGMs) in self-monitoring of diabetes mellitus. *Diabetes & metabolic syndrome*, 12(2), 181–187.
2. Umpierrez, G.E., Palacio, A. y Smiley, D. (2007). Sliding scale insulin use: myth or insanity?. *The American journal of medicine*, 120(7), 563–567.
3. Sönksen, P.H. (1980). Home monitoring of blood glucose by diabetic patients. Acta endocrinologica. *Supplementum*, 238, 145–155.
4. Dicembrini, I., Cosentino, C., Monami, M., Mannucci, E. y Pala, L. (2021). Effects of real-time continuous glucose monitoring in type 1 diabetes: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Acta diabetologica*, 58(4), 401–410.
5. Kesavadev, J., Saboo, B., Krishna, M. B. y Krishnan, G. (2020). Evolution of Insulin Delivery Devices: From Syringes, Pens, and Pumps to DIY Artificial Pancreas. *Diabetes therapy : research, treatment and education of diabetes and related disorders*, 11(6), 1251–1269.
6. Vishnu, S., Ramson, S.R.J. y Jegan, R. (2018). Internet of Medical Things (IoMT) - An overview. En *5th International Conference on Devices, Circuits and Systems (ICDCS)*, 4(6), 271–297.
7. Pustozerov, E., Popova, P., Tkachuk, A., Bolotko, Y., Yuldashev, Z. y Grineva, E. (2018). Development and Evaluation of a Mobile Personalized Blood Glucose Prediction System for Patients With Gestational Diabetes Mellitus. *JMIR mHealth and uHealth*, 6(1), e6.
8. Shokrekhodaei, M., Cistola, D. P., Roberts, R. C. y Quinones, S. (2021). Non-Invasive Glucose Monitoring Using Optical Sensor and Machine Learning Techniques for Diabetes Applications. *IEEE Access*, 9, 73029–73045.
9. Manickam, P., Mariappan, S. A., Murugesan, S. M., Hansda, S., Kaushik, A., Shinde, R. y Thipperudraswamy, S. P. (2022). Artificial Intelligence (AI) and Internet of Medical Things (IoMT) Assisted Biomedical Systems for Intelligent Healthcare. *Biosensors*, 12(8).
10. Sankhala, D., Sardesai, A. U., Pali, M., Lin, K. C., Jagannath, B., Muthukumar, S. y Prasad, S. (2022). A machine learning-based on-demand sweat glucose reporting platform. *Scientific Reports*, 12(1), 1–12.

SOBRE EL AUTOR



David Enrique Hernández-Calderón actualmente es estudiante de la especialidad en Endocrinología en el Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán. Especialista en Medicina Interna egresado del Hospital de Especialidades del Centro Médico Nacional Siglo XXI, avalado por la Universidad Nacional Autónoma de México y Licenciado en Medicina general por la Universidad Veracruzana. Sus áreas de interés son los tumores neuroendocrinos, hipertensión arterial secundaria y la aplicación de la tecnología en la Medicina.



José Guillermo Hernández-Calderón es Doctor en Ciencias de la Computación y Maestro en Sistemas Interactivos Centrados en el Usuario por la Universidad Veracruzana. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores en nivel candidato. Se desempeña como Técnico Académico de Tiempo Completo en la Dirección de los Centros de Idiomas y Autoacceso y profesor por asignatura a nivel Licenciatura y Maestría en la Facultad de Estadística e Informática de la Universidad Veracruzana. Sus áreas de interés son: Cómputo Consciente de Contexto, Inteligencia Artificial, Visualización de Información, Interacción Humano Computadora, y Entornos Inteligentes.

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

ARTÍCULO ACEPTADO

Pandemia y Tecnología: Un enfoque de la Inteligencia Artificial para la predicción de casos letales de COVID-19

Irvin Uriel Nopalera Angeles, Ángel Hernández Castañeda, Everardo Efrén Granda Gutiérrez, René Arnulfo García Hernández y Yulia Nikolaevna Ledeneva

Introducción

El presente artículo tiene como uno de sus principales propósitos el generar interés e inquietud a los lectores sobre los alcances y aplicaciones de la computación y la inteligencia artificial en el sector salud. En este sentido, se organiza este escrito en una pequeña introducción sobre la problemática planteada, algunos conceptos básicos de gran relevancia en la solución del problema y finalmente una sección donde se observan los resultados obtenidos.

Para comenzar, adentrando en la problemática, se describe a una de las afecciones relacionadas con la salud de mayor relevancia en los últimos años ocasionado por el virus SARS-CoV-2, causante de la enfermedad denominada "COVID-19", el cual es un padecimiento relacionado con síntomas respiratorios severos, culpable de miles de muertes a nivel mundial. Desde su aparición en la ciudad de Wuhan, China, a finales del año 2019, se ha extendido por todo el mundo de manera alarmante, convirtiéndose en una de las principales problemáticas en el ámbito social, económico y político, debido a los cambios adoptados para intentar decrementar su propagación [1].

La organización mundial de la salud, en colaboración con múltiples naciones, han permitido desentrañar a lo largo de estos años parte de las características que atañen a esta enfermedad, permitiendo conocer gradualmente la sintomatología y factores precedentes que son relacionados con la gravedad en que el SARS-CoV-2 afecta a cada individuo [2]. Tan solo en México, existen organismos derivados de la secretaría de salud que mantienen un constante estudio sobre la evolución de esta enfermedad en pacientes con diferentes padecimientos médicos como diabetes y obesidad, las cuales son afecciones comunes en un gran número de la población en este país [3].

En este sentido, derivado del gran abastecimiento de información sobre esta enfermedad, se realiza un análisis de los factores que definen la letalidad del COVID-19 utilizando Redes Neuronales Artificiales, la cuales son técnicas derivadas de la inteligencia artificial útiles en el estudio de patrones, tendencias y predicciones, estableciendo como uno de los principales objetivos el estar un paso adelante en la toma de decisiones para disminuir la frecuencia de casos mortales [4].

Padecimientos más comunes en México

Según la secretaría de salud, existen factores de riesgo y padecimientos médicos que pueden afectar en gran medida a la población en México, que además presentan una estrecha relación con casos de gravedad durante el contagio con COVID-19, los más destacados son: embarazo, diabetes, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), asma, neumonía, problemas cardiovasculares, inmunosupresión, hipertensión, obesidad, tabaquismo y problemas renales crónicos [3].

Algunos de estos factores son identificados en un gran número de pobladores de la sociedad mexicana, principalmente como consecuencia de un ritmo de vida acelerado, falta de hábitos alimenticios saludables o consumo de productos o sustancias dañinas para la salud [5].

Los padecimientos médicos incrementan las posibilidades de presentar complicaciones respiratorias severas durante el contagio con COVID-19

Redes Neuronales Artificiales: Un enfoque de la inteligencia artificial

El concepto de inteligencia artificial es un término adoptado en una amplia gama de ciencias, pero en términos generales se define como la capacidad de las máquinas para ejecutar programas, algoritmos e instrucciones para aprender y tomar decisiones de manera autónoma como lo haría un ser humano [6]. Dentro de esos algoritmos se destacan las redes neuronales artificiales, las cuales son técnicas que imitan el proceso biológico de aprendizaje del cerebro humano, realizado por las neuronas. Esto es posible en parte por la composición de estas células, las cuales están conformadas por dendritas, sinapsis, axón, cuerpo celular y conexiones con más neuronas, como se muestra en la Figura 1 [7]. Por otra parte, la representación en términos computacionales denominada "neurona

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

artificial" es visualizada en la Figura 2, observando los detalles que emulan las características de una neurona biológica en una versión que es posible representar numéricamente a través de entradas y salidas en una computadora [6].

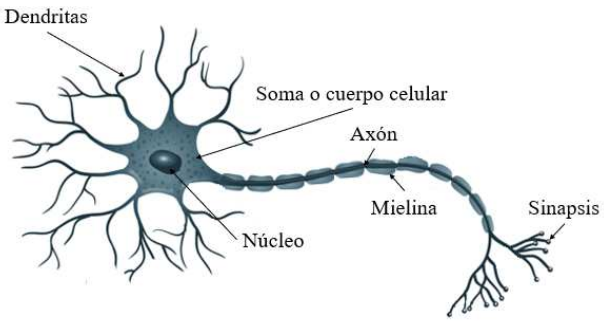


Figura 1. Estructura de una neurona biológica.

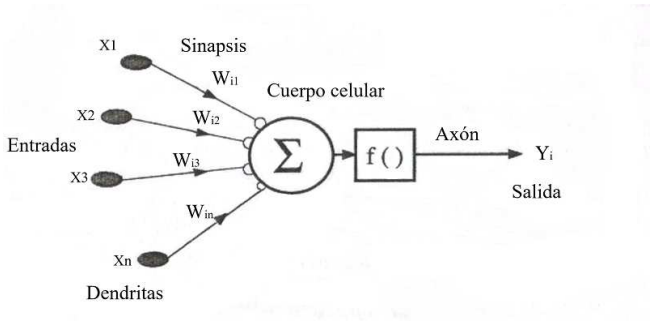


Figura 2. Estructura de una neurona artificial.

El proceso de aprendizaje de las redes neuronales es realizado mediante un entrenamiento que puede ser supervisado o no supervisado. En el primer caso, donde el entrenamiento es supervisado, se le proporciona a la red neuronal un conjunto de datos que le van a permitir aprender y generar un conjunto de respuestas de salida deseadas, que por defecto ya se conocen. Por el contrario, en el aprendizaje no supervisado son presentados a la red datos como entrada, pero aquí no se conoce lo que se debe generar a la salida. Por lo tanto, este aprendizaje no supervisado agrupa patrones utilizando cálculos estadísticos según características de proximidad entre el conjunto de datos de entrada [7]. Para comprender esto de manera más clara se describe en la Figura 3 la estructura que tiene una red neuronal artificial convencional.

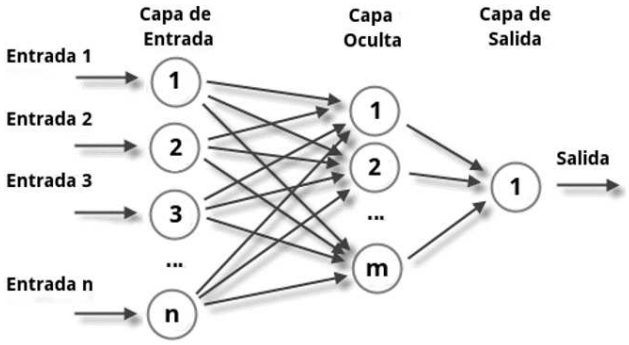


Figura 3. Estructura general de una red neuronal artificial.

Como se describió anteriormente, las redes neuronales son útiles para procesar datos y encontrar relaciones en un gran número de problemáticas. Es por ello que se toma en cuenta como una gran propuesta para lograr delimitar aquellos casos que son considerados como graves o de alto riesgo al momento de contraer COVID-19, los cuales en su gran mayoría requieren de ventiladores mecánicos para tratar de conservar la oxigenación nominal de los pacientes y disminuir el riesgo de mortalidad.

Transformación de datos para entrenamiento de una Red Neuronal

La transformación o codificación de la información es un preprocesamiento necesario de los datos para posteriormente ser presentados a la red neuronal y obtener un conjunto de resultados deseados. Además, en esta etapa se debe asegurar que la información que alimenta la red corresponde de manera significativa al problema a resolver. Para el problema de predicción de pacientes de alto riesgo por contagio de COVID-19 se utilizaron datos históricos proporcionados por la Dirección General de Epidemiología [3], la cual contiene información sobre las afecciones médicas que los pacientes tienen al momento de contraer la enfermedad viral, así como la edad y el sexo del individuo. Sin embargo, para lograr procesar esta información por medio de una computadora es necesario realizar la conversión de este conjunto de datos, de tal manera que la representación del problema se simplifique y sea entendible en términos computacionales.

Las computadoras transforman la información en números binarios de ceros y unos para lograr comprender y procesar la información

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

Una de las representaciones más utilizadas es por medio de vectores, donde se enlistan mediante notaciones de ceros y unos cuando existe o no un padecimiento. Por lo tanto, para esta aplicación se delimitó con "0" cuando no se tiene el tipo de enfermedad al momento de contraer COVID-19 y en "1" si es que sí se presenta. Además de esto, establecer de igual forma en "0" cuando el sexo corresponde al género masculino y en "1" cuando se es femenino, simplificando la representación de cada caso para su fácil procesamiento.

Por otra parte, cuando se desea implementar un entrenamiento supervisado, se debe establecer la salida deseada al término de la red, por lo tanto, para especificarle cuando el conjunto de padecimientos evaluados dieron como resultado un paciente grave, se denomina con un "1" y con un "0" cuando el paciente no presento ninguna clase de complicación respiratoria fuerte. Todo esto en forma de lista o vector como se describe en la Figura 4.

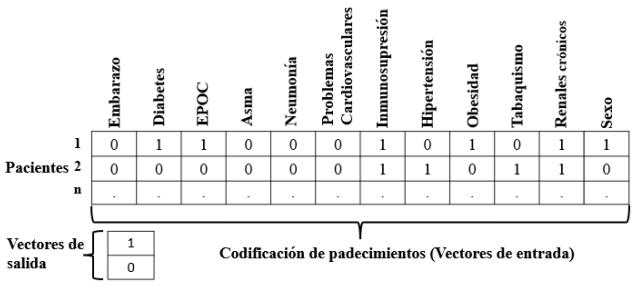


Figura 4. Composición de los datos a la entrada y salida de la red neuronal.

Diseño Experimental

Los datos que se utilizaron en este problema tienen una extensión de 100,000 registros, los cuales fueron divididos en dos bloques: entrenamiento y validación. El primer conjunto equivale al 80 % de los datos, mientras que el restante son conservados para evaluar la predicción con un parámetro de evaluación denominado precisión. Por otra parte, la programación de la red fue elaborada en el lenguaje Python, el cual permite el procesamiento de datos mediante matrices. Además de esto, cabe mencionar que las redes neuronales contienen capas con neuronas ocultas donde se realiza el proceso de aprendizaje mediante operaciones matemáticas, empleando para esta propuesta 3 capas ocultas con 8 neuronas cada una. De igual manera, se utilizó la función de activación descrita en la ecuación (1) [8], la cual delimita los resultados de la red neuronal en un intervalo específico y mantiene un mejor control en las predicciones.

$$f(x) = \frac{2}{1 + e^{-2x}} - 1 \tag{1}$$

La función *f(x)* puede observarse gráficamente mediante la Figura 5, visualizando que tiene como límites desde -1 hasta 1, lo que significa que durante las predicciones solo generará valores dentro de ese intervalo.

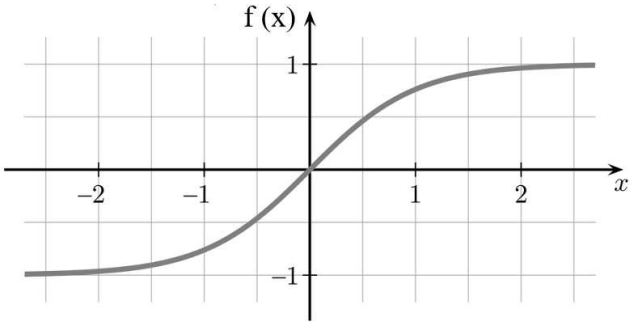


Figura 5. Función *f(x)* tangente hiperbólica.

Por otra parte, para actualizar los parámetros que conforman esta técnica se utilizó una retro propagación, es decir, con base en la salida obtenida se reajustan los parámetros de cada sección de la red, tomando en cuenta un valor de evaluación denominado error cuadrático medio descrito mediante la ecuación (2) [9].

$$ECM = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M}(Y_i - Yo_i)^2 \tag{2}$$

Donde: M es el número total de los datos, Y_i es el valor real de la red y Yo_i es la salida estimada en la evaluación i. Posteriormente, como último paso se calcula la calidad en las predicciones resultantes empleando una matriz de verdad o confusión como la que se describe en la Tabla 1, la cual permite clasificar las predicciones en los casos Verdaderos Positivos (TP), Verdaderos Negativos (TN), Falsos Positivos (FP) y Falsos Negativos (FN).

Tabla 1. Matriz de confusión para validación de las predicciones.

Salidas		Valores predichos	
		Positivo	Negativo
Valores actuales	Positivo	TP	FN
	Negativo	FP	TN

Por medio de esta matriz se clasifican las predicciones y se obtienen los parámetros de evaluación como precisión (P) denotados por la ecuación (3) y la exhaustividad (TPR) que es estimada por medio de la ecuación (4).

$$P = \frac{TN}{TN + FP} \tag{3}$$

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN} \tag{4}$$

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

Discusión y Resultados

Para definir que tan acertada es la predicción de una red neuronal se evalúa el error, el cual en este caso se estableció en 0.051 al término de un entrenamiento durante un total de 500 iteraciones del programa. Sin embargo, puede observarse el ajuste de este valor desde el comienzo del entrenamiento hasta el término del mismo en la gráfica de la Figura 6.

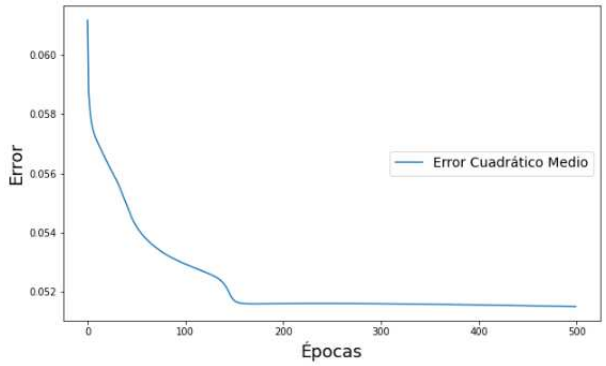


Figura 6. Error cuadrático medio obtenido en el entrenamiento de la red neuronal artificial.

Para realizar la validación en las predicciones se tomaron lotes aleatorios de 100, 200, 300, 400 y 500 muestras de datos sobre el conjunto prueba y posteriormente se aplicaron los parámetros de calidad denotados por las ecuaciones (3) y (4). El cálculo de la precisión para cada experimento se visualiza en la gráfica de la Figura 7.

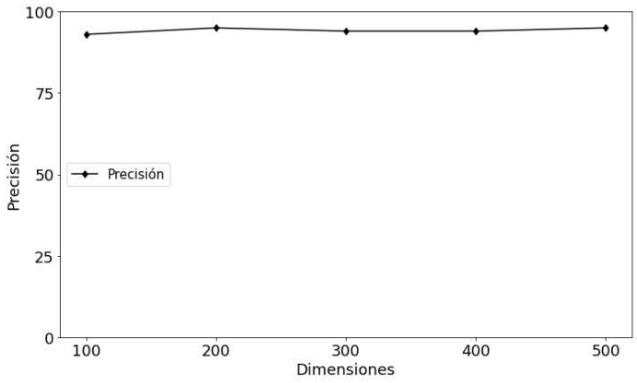


Figura 7. Precisión en las predicciones por lotes.

La media de la precisión obtenida en las pruebas de validación se estableció en un 94.2 % para los experimentos, representado el porcentaje de veces que se acertó en los casos graves de COVID-19 según el análisis de la información de los pacientes. Por otra parte, se obtuvo un valor medio de 87.6 % en la estimación de la exhaustividad, que representa el porcentaje de veces en que la predicción no concuerda con la deseada, según los casos descritos en la Tabla 1. Estos resultados son visualizados mediante la gráfica de la Figura 8.

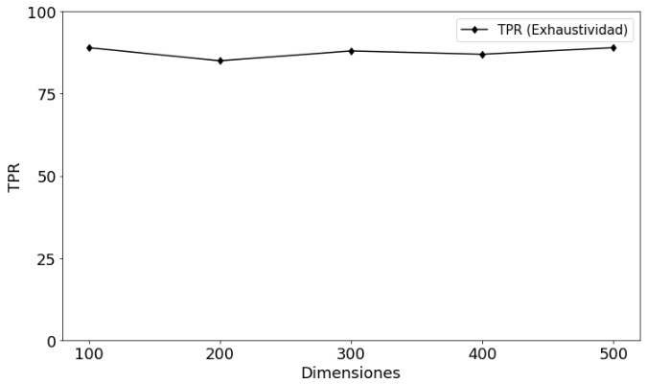


Figura 8. TPR en las predicciones por lotes.

Como complemento a la investigación, fue observado que los casos por contagio de COVID-19, que son considerados de alto riesgo según la red neuronal, presentan en el arreglo de codificación padecimientos médicos como: hipertensión, obesidad, tabaquismo y problemas renales crónicos, además de afectar con mayor frecuencia a los hombres, lo cual es reportado de manera similar en otras investigaciones científicas como se observa en [10], lo que permite verificar que la predicción realizada por la red neuronal tiene correlación con los hallazgos realizados por otros investigadores en el campo de la salud.

Conclusiones

Las técnicas de inteligencia artificial son una herramienta robusta que permiten aprender, automatizar o clasificar información de manera eficaz y semi-autónoma. Además, son de gran ayuda en la resolución de problemas que involucran gran cantidad de datos. En este sentido, con base en la información abierta proporcionada por la dirección general de epidemiología, se estructuró un conjunto de datos para entrenar y validar una red neuronal artificial encargada de predecir si un paciente debe ser considerado o no, de alto riesgo según su historial médico. Como resultado, se obtuvo una precisión y exhaustividad promedio del 94.2 y 87.6 % respectivamente, determinadas con una matriz de verdad descrita en la Tabla 1. Además, basado en el análisis desarrollado, se destacó que algunas afecciones médicas como obesidad, hipertensión, tabaquismo y problemas renales son frecuentemente observadas en pacientes que requirieron atención especializada por problemas severos respiratorios durante su contagio con el virus SARS-CoV-2.✷

REFERENCIAS

1. Villegas, M. (2020). Pandemia de COVID-19: pelea o huye. *Revista Experiencia en Medicina del Hospital Regional Lambayeque*, 6(1), 2-3.

2. Cruz, M., Santos, E., Cervantes, M. y Juárez, M. (2021). COVID-19, a worldwide public health emergency. *Revista Clínica Española (English Edition)*, 221(1), 55-61.

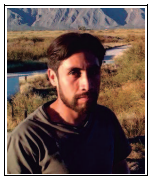
© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

3. Gobierno de México. (2022). Datos Abiertos Direccion General de Epidemiologia. Recuperado el 25 de septiembre de 2022, de https://www.gob.mx/salud/documentos/datos-abiertos-152127.
4. Paguay, J. (2021). Desarrollo de un prototipo para la predicción de nuevos casos de covid-19 en el ecuador mediante el uso de inteligencia artificial. *Conciencia Digital*, 4(3.1), 41-52.
5. Soto, G., Moreno, L. y Pahua, D. (2016). Panorama epidemiológico de México, principales causas de morbilidad y mortalidad. *Revista de la Facultad de Medicina (México)*, 59(6), 8-22.
6. Rouhiainen, L. (2018). Inteligencia artificial. *Alienta Editorial*, 343.
7. Asanza, W. y Olivo, B. (2018). Redes neuronales artificiales aplicadas al reconocimiento de patrones. *Primera edición. UTMACH*, 201.
8. Xiao, F., Honma, Y. y Kono, T. (2005). A simple algebraic interface capturing scheme using hyperbolic tangent function. *International journal for numerical methods in fluids*, 48(9), 1023-1040.
9. González, D., Martín, A. y Arana, L. (2009). Estimación Bootstrap del error cuadrático medio del estimador EBLUP bajo modelos lineales mixtos con dos factores aleatorios anidados. En *XXXI Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa*. Murcia, España, 141
10. Schäfer, E., Scheer, C., Saljé, K., et al. (2022). Course of disease and risk factors for hospitalization in outpatients with a SARS-CoV-2 infection. *Sci Rep*, 12(7249), 1-12.

SOBRE LOS AUTORES



Irvin U. Nopalera Angeles recibió el título de Ingeniero en Computación y Maestro en Ciencias de la Computación por la Universidad Autónoma del Estado de México, en 2019 y 2021, respectivamente. Autor de publicaciones científicas en el campo de la Inteligencia Artificial aplicada en control y sistemas de manufactura moderna. Actualmente es estudiante del Doctorado en Ciencias de la Computación en la Universidad Autónoma del estado de México. Sus intereses de investigación comprenden el control automático, redes neuronales, lógica difusa y sistemas embebidos.



Ángel Hernández Castañeda recibió su Maestría y Doctorado en Ciencias de la Computación, con honores, por el Centro de Investigación en Computación (CIC) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), en 2013 y 2017, respectivamente. Asimismo, es autor de diversas publicaciones en revistas internacionales de alto impacto. Actualmente es Profesor investigador de Tiempo Completo en la Universidad Autónoma del Estado de México y miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) de México. Sus intereses de investigación incluyen el procesamiento del lenguaje natural, la minería de datos, el aprendizaje automático y el reconocimiento de patrones.



Everardo E. Granda Gutiérrez Doctor en Ciencias en Ingeniería Electrónica por el Instituto Tecnológico de Toluca, México (2008). Es profesor en la Maestría en Ciencias de la Computación, adscrito al Centro Universitario UAEM Atlacomulco, de la Universidad Autónoma del Estado de México. Como área de interés central se destaca la aplicación de sistemas inteligentes en la instrumentación y control de procesos de manufactura no convencional.



René A. García Hernández recibió el título de Licenciado en Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Toluca, México, en 2001; la Maestría en Ciencias de la Computación del Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, México, en 2003; y el Doctorado en Ciencias de la Computación por el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, México, en 2017. Es autor de más de 67 publicaciones y 3 libros. Es Investigador Nacional de Nivel II y Profesor de Tiempo Completo en la Facultad de Ingeniería de Software y el Postgrado de la Universidad Autónoma del Estado de México.



Yulia Nikolaevna Ledeneva recibió grado de Maestría en Ciencias de la Computación del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), México, en 2016; el Doctorado en Ciencias de la Computación del Centro de Investigación en Computación, IPN, México. Recibió la presea Lázaro Cárdenas (2009) de manos del presidente de México. Actualmente es profesora investigadora en la Universidad Autónoma del Estado de México y miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) de México. Es autora de más de 70 publicaciones. Sus principales intereses de investigación son: lingüística computacional, procesamiento del lenguaje natural, minería de texto, gráficos y algoritmos genéticos.

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

ARTÍCULO ACEPTADO

Usos de la Inteligencia Artificial para el diagnóstico temprano del cáncer de la mama

José Luis Llaguno Roque, Rocío Erandi Barrientos Martínez, Tania Romo González y Héctor Gabriel Acosta Mesa

Introducción

El cáncer de mama es una de las patologías más frecuentes a nivel mundial y una de las principales causas de muerte en la edad adulta. Se caracteriza por la propagación acelerada y descontrolada de células del epitelio glandular de la mama. Son células sanas que aumentaron su capacidad reproductiva, proliferando y multiplicándose hasta constituir un tumor, el cuál puede ser maligno o benigno dependiendo de sus características [1].

La Organización Mundial de la Salud (OMS) reportó en 2020 2.3 millones de mujeres diagnosticadas con cáncer de mama, de las cuales fallecieron 685,000 en todo el mundo. La buena noticia es que al evitar hábitos pocos saludables (como obesidad, consumo excesivo de alcohol, tabaco ó mala alimentación) y factores de riesgo [2], aunado a la aplicación de estrategias de prevención basadas en investigaciones científicas, es posible reducir entre un 30 % y 50 % la incidencia de esta patología [3].

En México, la historia no es diferente, ya que es la segunda causa de muerte, solo por detrás de las enfermedades cardiovasculares y diabetes, llegando a convertirse en un problema de salud pública y un serio desafío para el sistema de salud mexicano. Las estadísticas indican que en 2020 fallecieron 7821 mujeres por cáncer de mama, lo cual representa el 8 % de todos los fallecimientos por tumores malignos.

Las pruebas tradicionales que se utilizan para detectar el cáncer de mama son: exploración clínica de la mama, ecografía, mastografía, y toma de biopsia [4]. Estas pruebas en general son invasivas, subjetivas, caras, y en la mayoría de los casos dolorosas, por lo que resultan ineficaces en la detección temprana del cáncer y en la disminución de la mortalidad [3]. La biopsia, es de las pruebas más certeras, ya que se extrae una muestra de células mamarias, las cuales se envían a un laboratorio para su análisis, para determinar si las células son o no cancerosas.

Desafortunadamente en la mayoría de los casos, la detección del cáncer de mama en México se realiza en las últimas etapas de la enfermedad, lo cual dificulta la posibilidad de realizar un tratamiento eficaz, y por ende exitoso; es por esto que la esperanza de vida de las pacientes mexicanas es muy baja en relación con países desarrollados [5]. Ésta es la razón por la cual es necesario generar métodos diagnósticos más tempranos, eficaces y menos invasivos.

La Inteligencia Artificial (IA) puede apoyar en esta tarea tan compleja, a través de técnicas de aprendizaje automático, el cual es un campo de la IA que a través de algoritmos dota a las computadoras de capacidad para identificar patrones en conjuntos de datos para producir conocimiento que apoye a la toma de decisiones, mediante la construcción de modelos matemáticos. Este aprendizaje permite a las computadoras aprender a realizar tareas específicas de forma autónoma, sin haber sido explícitamente programadas para ello, mejorando su desempeño a partir de la experiencia adquirida a través de ejemplos.

En el área de la medicina, la IA ha asistido en procesos como la prevención y el diagnóstico del cáncer de mama usando técnicas de aprendizaje automático y visión por computadora. La mayoría de las aportaciones se han hecho en el procesamiento de imágenes de ultrasonido, termográficas y mastográficas, para la identificación de patrones que permiten clasificar a mujeres que presentan patología mamaria de aquellas que no lo presentan [6].

Inteligencia Artificial y el diagnóstico temprano de cáncer de mama

Investigaciones recientes han mostrado cómo la presencia de auto-anticuerpos puede funcionar como un buen método de diagnóstico temprano de cáncer de mama. Éstas se basan en la premisa de que las células tumorales presentan en su superficie antígenos que al ser detectados por el sistema inmunológico desencadenan una respuesta antitumoral. Dentro de esta respuesta se encuentra la producción de auto-anticuerpos, los cuales pueden ser utilizados como una señal carcinogénica antes que se manifieste la tumoración en el organismo y sin ser invasivo a diferencia de los métodos tradicionales [7].

En medicina, la IA ha asistido en procesos como la prevención y el diagnóstico del cáncer de mama.

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

En México, Romo-González et al. [8] desarrollaron un método que corrobora la presencia de auto-anticuerpos contra células tumorales en ductos específicos de la mama, lo que permite distinguir a las mujeres con y sin patología mamaria. Esto a través del análisis de bandas expresadas en imágenes unidimensionales, de la reacción de los auto-anticuerpos con antígenos en una cierta línea tumoral. Las bandas se obtuvieron mediante la técnica de laboratorio Western Blot, que detecta una proteína específica de una muestra de sangre y el riesgo al paciente es mínimo. Si bien los resultados son alentadores, el análisis de las imágenes es complejo, subjetivo y tardado, con tiempos de espera de hasta un mes para lograr crear la base de datos binaria (1 presencia, 0 ausencia de proteína), ya que el análisis de las imágenes requiere que el experto alinee las bandas de las tiras de cada paciente con la ayuda de algún software comercial, pero la identificación final de las bandas y su posición depende del ojo del experto, por lo tanto la identificación de estos patrones de bandeo requiere de herramientas más precisas y automáticas.

En el área de IA, Sánchez-Silva et al. [9] propuso un sistema semiautomático para el análisis de bandas de proteínas, mediante la clasificación de patrones representados como series de tiempo. Para la clasificación usó el algoritmo K-vecinos más cercano (K-NN) con distancias de similitud Euclidiana, Mahalanobis y Correlación, obteniendo un 66.40 % de precisión en la clasificación con tres clases (saludable, patología benigna de mama, cáncer de mama) y un 86.36 % de precisión en la clasificación con dos clases (saludable, cáncer de mama). Dichos porcentajes fueron similares a los reportados con el método tradicional utilizado por el experto, sin embargo, la representación continua por series de tiempo es semiautomática y evita la subjetividad y complejidad del proceso manual de binarización de la base de datos. Aún es necesario mejorar el método y automatizarlo mediante el desarrollo de un software que permita analizar cualquier imagen de patrones de bandeo de una manera fácil y rápida.

Metodología

En la Figura 1 se propone una metodología que permitirá a partir de imágenes de patrones de bandeo, evaluar el algoritmo de aprendizaje supervisado K-NN, con una distancia de similitud llamada DTW, la cual mide la similitud entre series de tiempo de distintas longitudes, esperando mejorar la precisión de la clasificación de datos obtenidos de la presencia de auto-anticuerpos a antígenos tumorales. Se tendrán dos escenarios, el primero con tres clases de series de tiempo (saludable, patología benigna de mama, cáncer de mama) y el segundo con dos clases (saludable, cáncer de mama).

Los detalles de cada proceso de la metodología son los siguientes:

Imágenes de Western blot. Se han utilizado 149 imágenes, 50 corresponden a pacientes con cáncer de mama, 50 a pacientes con patología benigna de mama y 49 a pacientes saludables. Las imágenes han sido proporcionadas por el área de Biología y Salud integral del Instituto de Investigaciones Biológicas de la Universidad Veracruzana, siguiendo las normas éticas y con el correspondiente consentimiento informado de las participantes. El protocolo ha sido revisado y aprobado por el Comité de Ética en Investigación del Hospital General de México Dr. Eduardo Liceaga" (DI/12/111/03/064). El estudio se ajusta al Código de Ética de la Asociación Médica Mundial (Declaración de Helsinki), impreso en el British Medical Journal (18 de julio de 1964).

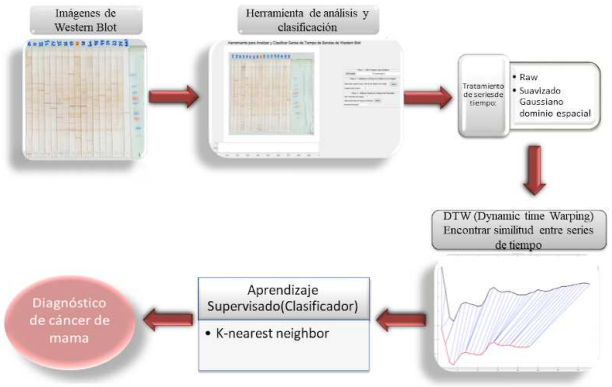


Figura 1. Metodología.

Herramienta de análisis y clasificación. Se ha desarrollado en el lenguaje de programación "Matlab", para obtener las series de tiempo de datos crudos (Raw).

Obtener series de tiempo. Las series de tiempo se han obtenido delimitando el área en donde se encuentran los patrones de bandeo en las imágenes. Estas se representan a partir de la variación de las tonalidades de los pixeles de las bandas. Ver Figura 2.

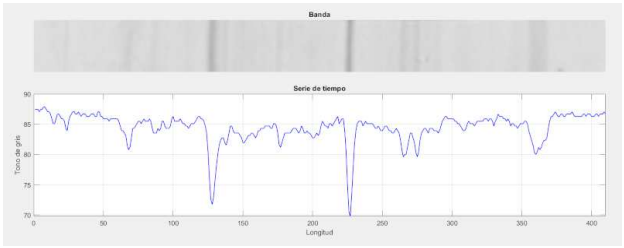


Figura 2. Serie de Tiempo que se obtiene de las imágenes al promediar los diferentes valores de los renglones que pertenecen a cada columna, por lo que de una imagen de N (filas) x M (columnas) se obtiene una serie de tiempo de 1 x M.

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

Medida de similitud entre series de tiempo. Se ha utilizado una técnica de inteligencia artificial que permite encontrar una medida de similitud entre series de tiempo de diferentes longitudes y desfasadas en el tiempo. La búsqueda de la medida de similitud ha sido restringida por una ventana con valor de 0.06 (6 %), 0.10 (10 %), 0.20 (20 %), que corresponde al porcentaje de la longitud de la serie de tiempo con mayor longitud.

Tratamiento de series de tiempo. Se han utilizado las series de tiempo en dos formas: 1) con valores crudos y 2) con suavizado gaussiano en el dominio del espacio, donde se han usado técnicas de visión computacional, ya que corresponde a un filtro pasa bajas que permite mejorar la calidad de una imagen mediante el realce de ciertas características, así como atenuar el ruido. En la Figura 3 se muestran un ejemplo de ambas series.

Clasificación de series de tiempo. Se ha evaluado el desempeño del algoritmo de aprendizaje supervisado K-NN. Para los experimentos propuestos, el valor de K ha sido de 1, 3, 5, 7, 10.

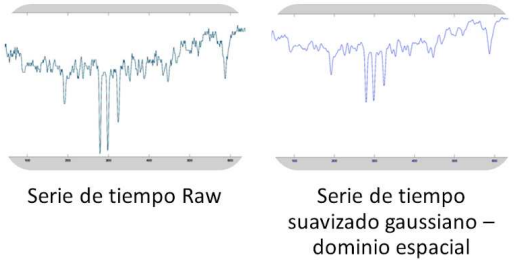


Figura 3. Ejemplos del procesamiento de las series de tiempo.

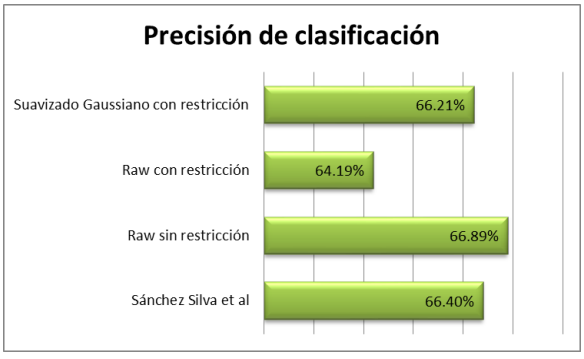


Figura 4. Resultados de clasificación de series de tiempo con tres clases.

Resultados

Se han llevado a cabo dos experimentos a partir de la metodología propuesta. En la Figura 4 se muestran los resultados de los experimentos que se realizaron con tres clases. La mejor precisión de clasificación que se obtuvo fue de 66.88 % con las series de tiempo con datos crudos (RAW), con K=3 en el clasificador K-NN y la distancia de similitud sin ventana de restricción.

En la Figura 5 se muestran los resultados de los experimentos que se realizaron con dos clases. La mejor precisión de clasificación que se obtuvo fue de 88.77 % con las series de tiempo con datos crudos, con K=3 en el clasificador K-NN y la distancia de similitud sin ventana de restricción.

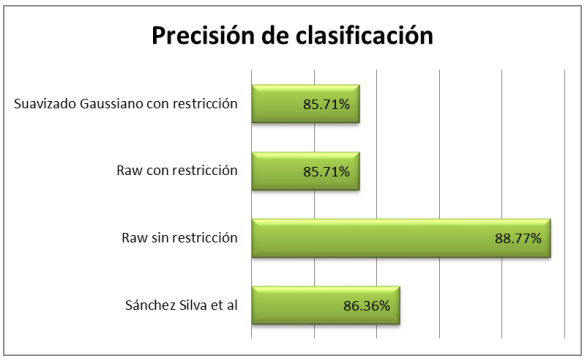


Figura 5. Resultados de clasificación de series de tiempo con dos clases.

Conclusiones

El cáncer de mama es uno de los mayores desafíos en el sistema de salud mundial. La detección temprana del cáncer de mama mediante la respuesta del sistema inmunológico a antígenos tumorales, permitirá tener un mejor pronóstico en el tratamiento, así como el descenso en la mortalidad de las pacientes.

Los resultados obtenidos en los experimentos preliminares para la discriminación de las series de tiempo mediante el algoritmo de clasificación K-NN, con la distancia de similitud DTW, sugieren un ligero aumento en la precisión de clasificación con respecto a lo reportado en [8], sin embargo, los valores no son concluyentes en estos momentos, toda vez que es necesario aumentar la casuística de estudio para obtener tendencias estadísticamente significativas.

En cuanto a la metodología propuesta, ha sido posible explorar técnicas de aprendizaje automático y visión por computadora que han permitido obtener las medidas de similitud de las series de tiempo sin necesidad de utilizar la transformación geométrica de escalamiento, así como también atenuar el ruido de las series de tiempo con el uso del filtro gaussiano, con la finalidad de mejorar el desempeño de la precisión de clasificación.

Si bien esta metodología es susceptible de ser mejorada, y más experimentación es necesaria para poder aplicarla y así obtener un beneficio social, aporta avances y conocimiento que pueden servir de base para futuras investigaciones con mejores resultados.✳

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

REFERENCIAS

1. Collado, R. (2011). Hablemos del cáncer de mama con Roche. Recuperado el 13 de Junio de 2021, de https://www.seom.org/seomcms/images/stories/recursos/infopublico/publicaciones/HABLEMOS_CANCER_MAMA.pdf.
2. Carvalho-Fernández, A.F., Mesquita-Melo, E., de-Almeida-Araújo,I.M. y Figueiredo-Carvalho, Z.M. (2005). Aspectos culturales en el proceso de padecer cáncer de mama. Avances en Enfermería. Recuperado el 8 de Junio del 2022, de https://revistas.unal.edu.co/index.php/avenferm/article/view/37559.
3. Chávarri-Guerra, Y., Villarreal-Garza, C., et al. (2012). Breast cancer in Mexico: a growing challenge to health and the health system. *Lancet Oncol*, 13(8), 335-343.
4. División de Excelencia Clínica. (2011). Diagnóstico y Tratamiento de la Patología Mamaria Benigna en Primer y Segundo Nivel de Atención. *IMSS*, ISBN 978-607-8270-73-6, 71.
5. Brandan, M.E. (2006). Detección del Cáncer de Mama: Estado de la Mamografía en México. *Revista del Instituto Nacional de Cancerología*, 27(3), 16.
6. Zhang, M. et al. (2021). Background Parenchymal Enhancement on Breast MRI as a Prognostic Surrogate: Correlation With Breast Cancer Oncotype Dx Score. *Frontiers in Oncology*, 10, 1-7.
7. Piura, E. y Piura, B. (2011). Autoantibodies to Tailor-Made Panels of Tumor-Associated Antigens in Breast Carcinoma, *Journal of Oncology*, 2011, 1–7.
8. Romo-González, T. et al. (2015). The Network of Antigen-Antibody Reactions in Adult Women with Breast Cancer or Benign Breast Pathology or without Breast Pathology. *PLoS ONE*, 10(3), 1-21.
9. Sánchez-Silva, D.M., Acosta-Mesa, H.G. y Romo-González, T. (2018). Semi-Automatic Analysis for Unidimensional Immunoblot Images to Discriminate Breast Cancer Cases Using Time Series Data Mining. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 32(1), 1-20.

SOBRE LOS AUTORES



José Luis Llaguno Roque es estudiante de Doctorado en Biología Integrativa del Instituto de Investigaciones Biológicas de la Universidad Veracruzana. Maestro en Inteligencia Artificial y Licenciado en Informática por la Universidad Veracruzana. Sus intereses son visión computacional y aprendizaje automático.



Rocío Erandi Barrientos Martínez es Maestra en Inteligencia Artificial y Licenciada en Informática por la Universidad Veracruzana. Técnico-Académico del Instituto de Investigaciones en Inteligencia Artificial de la Universidad Veracruzana. Áreas de Interés: Aprendizaje automático y visión por computadora.



Tania Romo González de la Parra es Química Farmacéutica Bióloga por la Universidad Veracruzana. Doctorado en Ciencias Biomédicas por la UNAM y Posdoctorado en Cáncer de Mama en el Departamento de Inmunología del Instituto de Investigaciones Biomédicas de la UNAM. Investigadora en el Instituto de Investigaciones Biológicas de la Universidad Veracruzana en donde desarrolla diversos proyectos de investigación en las líneas 1) Psiconeuroinmunología, salud y bienestar y 2) estilos de vida y salud.



Héctor Gabriel Acosta Mesa es Doctor en Inteligencia Artificial por la Universidad de Sheffield, Inglaterra. Maestro en Inteligencia Artificial por la Universidad Veracruzana. Ingeniero en Sistemas Computacionales por el Instituto Tecnológico de Veracruz. Profesor-Investigador de tiempo completo del Instituto de Investigaciones en Inteligencia Artificial de la Universidad Veracruzana. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Áreas de interés: Aprendizaje automático, visión por computadora y sus aplicaciones.

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

ARTÍCULO ACEPTADO

¿Pudo la Inteligencia Artificial ayudar a los médicos con información oportuna durante la pandemia de COVID-19?

Jonathan Rojas-Simón, Yulia Ledeneva y René A. García-Hernández

La sobrecarga de información biomédica del COVID-19

Hoy en día, la enfermedad por coronavirus (COVID-19) es un problema de salud pública que afecta a la población mexicana y mundial. De acuerdo con la Universidad Johns Hopkins, la COVID-19 ha causado más de 330 mil muertes en México y 6.6 millones de muertes en todo el mundo[1]. Por esta razón, la búsqueda de información actualizada y precisa en el ámbito biomédico y sanitario es necesaria, con el fin de conocer los últimos avances logrados.

Durante los últimos dos años, investigadores y compañías farmacéuticas han sumado esfuerzos en el desarrollo de diagnósticos, tratamientos y vacunas que ayuden a reducir contagios y muertes causadas por COVID-19. A raíz de esto, se han publicado muchas investigaciones relacionadas al tema a través de artículos científicos. Si bien esto fomenta el desarrollo y divulgación de resultados en la biomedicina del COVID-19, también representa una sobrecarga de información para investigadores y personas interesadas en obtener conocimiento. Por lo que puede resultar imposible contar con información oportuna y precisa sobre la COVID-19. Debido a este problema, se ha recurrido a la generación automática de resúmenes.

La generación automática de resúmenes biomédicos

Esta área de trabajo ha sido una alternativa que busca analizar, sintetizar y presentar información relevante de uno o varios documentos a través de inteligencia artificial. En el ámbito de la biomedicina, este proceso se ha abordado a partir de dos principales enfoques:

1. Selección y extracción de oraciones.
2. Abstracción o parafraseo de contenido.

Los resúmenes generados por extracción o abstracción deben proporcionar información actualizada y concisa sobre los avances biomédicos relacionados al COVID-19. Como resultado de ello, se han propuesto sistemas que generan resúmenes automáticos de documentos biomédicos [1, 2]. Sin embargo, ¿estas herramientas han ayudado a los médicos e investigadores en proporcionar información oportuna sobre la COVID-19? En teoría esto sería lo deseable, pero las herramientas aún continúan en validación y evaluación.

Por esta razón, es importante estimar la calidad de resúmenes biomédicos mediante herramientas de evaluación automática. A través de la evaluación, es posible determinar qué generadores automáticos de resúmenes pueden obtener resúmenes con mayor coherencia e informatividad.

En la actualidad, existen varias herramientas que ayudan a calificar resúmenes [3]. En particular, ROUGE es la más utilizada para evaluar resúmenes biomédicos. Sin embargo, su uso es limitado porque necesita de resúmenes escritos por expertos humanos (referencias humanas). Generar referencias humanas es una tarea costosa en esfuerzo, tiempo y dinero[2]. Para abordar este problema, se presenta a SECO-SEVA[3] (SElf-COntent Summary EVAluation) como una herramienta que incorpora dos aspectos relevantes:

1. La evaluación de resúmenes sin referencias humanas.
2. Combinación y optimización de medidas basadas en el análisis de contenido e informatividad.

En este artículo, se describe brevemente las etapas que conforman a SECO-SEVA. Se presentan los módulos que integra en su proceso de evaluación, mismos que están disponibles para su uso en la plataforma GitLab®. Finalmente, se explica su importancia frente a la necesidad de tener resúmenes biomédicos de mayor calidad.

SECO-SEVA

SECO-SEVA es una herramienta de evaluación autocontenida. Es decir, califica al resumen comparando su información con respecto a su documento fuente. La principal razón de manejar estos textos es porque cuentan con la información necesaria para estimar la calidad de los resúmenes.

A grandes rasgos, SECO-SEVA está conformada por las etapas que se muestran en la Figura 1. Las primeras

[1] Información consultada del portal de la Universidad John Hopkins (https://coronavirus.jhu.edu/map.html) el 7 de noviembre del 2022.
[2] Incluso, varias organizaciones y centros de investigación han invertido bastante dinero en generar colecciones de referencias humanas [3].
[3] SECO-SEVA está disponible en: `https://gitlab.com/JohnRojas/SECO-SEVA`.

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

tres son consideradas como pasos estándar en el Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN) y Minería de Textos (MD). Posteriormente, las últimas dos son encargadas de realizar la evaluación de resúmenes. A continuación, se describe a detalle cada etapa de SECO-SEVA.

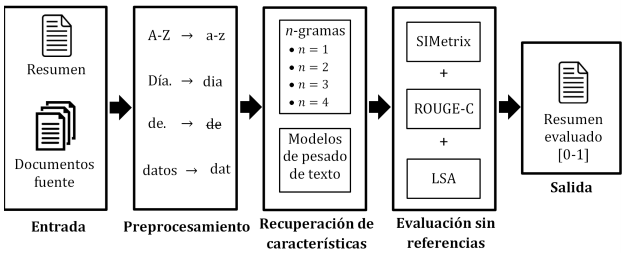


Figura 1. Etapas de SECO-SEVA.

1. Entrada. Se introducen los resúmenes a evaluar y sus documentos fuente como referencia. **2. Preprocesamiento o limpieza de texto.** Se filtra la información relevante de los resúmenes y sus documentos fuente. Durante el filtrado, se normalizan los textos a través de los siguientes pasos:

- Convertir el texto en minúsculas, debido a que el uso de mayúsculas no aporta información adicional.
- Eliminar signos de puntuación y acentos, siempre y cuando se separe el inicio y término de cada oración o idea en líneas separadas.
- Reducción de palabras a su raíz o stemming. Palabras que pertenezcan a una raíz en común (por ejemplo, *niños*, *niña* y *niñez* tienen la misma raíz: *niñ*) son acotadas por su palabra raíz.
- Eliminación de stopwords. Las stopwords son aquellas preposiciones, artículos y adverbios y algunos verbos que aportan poca información o ruido a la evaluación.

En la Figura 2, se muestran gráficamente los pasos seguidos en esta etapa, usando como ejemplo un breve texto extraído de un artículo científico referente al COVID-19 [4]. Si bien el texto de salida no es legible por el lector, SECO-SEVA analiza las relaciones de estos términos entre documentos y se mejora la recuperación de información relevante. El preprocesamiento está dividido en submódulos de desarrollo disponibles en `https://gitlab.com/text-pre-processing`.

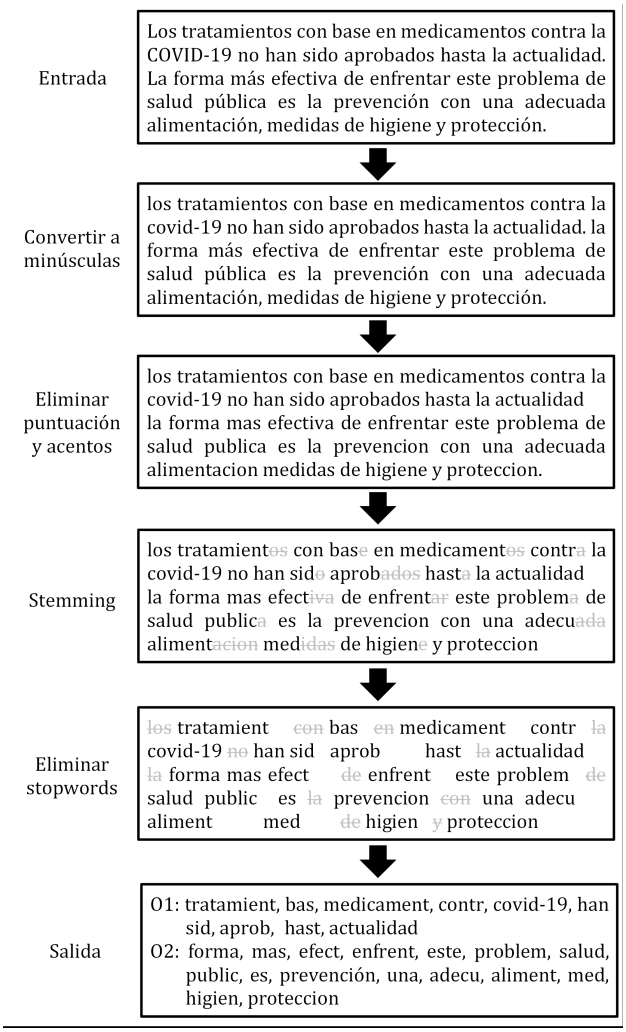


Figura 2. Ejemplo de preprocesamiento y limpieza de texto.

3. Recuperación de características. Se emplean técnicas de MD que modelan y recuperan la información relevante de los documentos. En primer lugar, se realiza una tokenización, que es el proceso de segmentar el texto en unidades atómicas como palabras.

Después de la tokenización, se construyen secuencias contiguas de palabras comúnmente conocidas como n-gramas, cuyas longitudes varían de 1 a 4, como se observa en la Figura 3. Con los *n-gramas* obtenidos, se modela las características lingüísticas de cada documento de entrada. Además, se resaltan las relaciones existentes entre secuencias de palabras.

Además de la tokenización y extracción de n-gramas, se emplean modelos de pesado de texto, los cuales asignan valores numéricos de importancia a los n-gramas de cada documento. Esta asignación de valores es un proceso que involucra transformar los textos a vectores numéricos. En la Figura 4, se muestra un ejemplo práctico al aplicar el pesado de texto a un documento de cuatro oraciones referentes a la COVID-19.

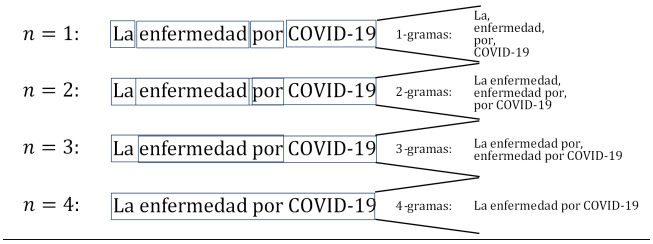
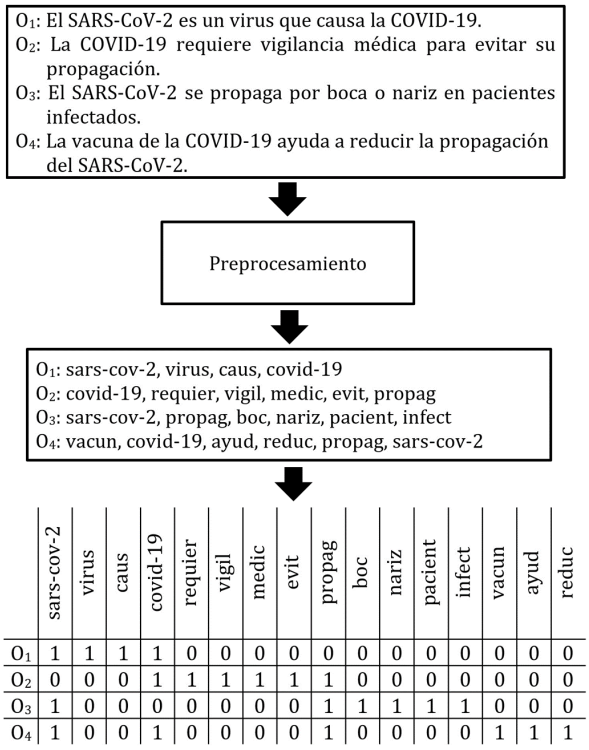


Figura 3. Ejemplo de extracción de n-gramas.



	sars-cov-2	virus	caus	covid-19	requier	vigil	medic	evit	propag	boc	nariz	pacient	infect	vacun	ayud	reduc
O_1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O_2	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
O_3	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
O_4	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1

Figura 4. Ejemplo de ponderación de palabras.

La representación que se presenta de la Figura 4 es popularmente conocida como *one-hot-encoding*, cuyos valores asignados son 1s y 0s, indicado la presencia o ausencia de cada palabra o n-grama en cada oración. A partir de este ejemplo, se observa que existen palabras en común entre oraciones (p. ej. sars-cov-2, covid-19 y propag). Sin embargo, SECO-SEVA emplea otras formas de ponderación de términos más avanzadas, tales como *Frecuencia de términos aumentada*, *Frecuencia de términos – Frecuencia inversa del documento* (*TF-IDF*, por sus siglas en inglés), pesado por entropía de palabras, entre otras.

Los submódulos de recuperación y ponderación de características se encuentran disponibles para su uso a través del siguiente repositorio de GitLab: `https://gitlab.com/information-retrieval2`.

4. Evaluación sin referencias humanas. Durante esta etapa, se emplean 31 medidas de evaluación automática. Cada una de estas medidas es obtenida a partir de la configuración de las siguientes herramientas[4]:

1. SIMetrix (Métricas de Similitud para Resúmenes de Entrada) [5]. Es un paquete de evaluación que incorpora 10 medidas de similitud y distancia. Cada medida compara el contenido del resumen a evaluar con respecto a su documento fuente. Principalmente, la medida de divergencia Jensen-Shannon ha probado ser la mejor en esta herramienta, ya que calcula la pérdida de información de cada resumen respecto a su documento fuente.

2. ROUGE-C [6]. Esta herramienta es una adaptación de ROUGE, la cual realiza una comparación de palabras y n-gramas entre el resumen biomédico y su texto fuente. La cantidad de medidas que emplea depende de la longitud de los n-gramas, por lo que cada medida extrae diferentes cualidades lingüísticas de los documentos de entrada.

3. Análisis Semántico Latente (LSA, por sus siglas en inglés) [7]. El LSA es considerado un método matemático que permite calcular la similitud semántica y contextual entre el resumen y su documento fuente. Es decir, elimina el ruido presente entre ambos documentos y muestra la similitud de los principales temas que abordan.

Cada medida de evaluación utilizada en SECO-SEVA califica resúmenes bajo diferentes criterios. Pero ¿por qué considerar muchos criterios? Estos criterios son relevantes porque cada uno recupera diferentes cualidades lingüísticas y calculan la semejanza entre el resumen y el documento fuente. Sin embargo, algunos de ellos son más relevantes que otros porque tienden a ser más afines a la evaluación manual. Por lo tanto, se optimizaron los niveles de participación de cada criterio mediante un Algoritmo Genético (AG).

El AG es un método de optimización evolutiva e iterativa, el cual es usado para resolver problemas de búsqueda a través de los procesos evolutivos biológicos de selección, cruza y mutación, que se simulan dentro del AG para lograr encontrar soluciones útiles para el problema en cuestión. En general, el AG está conformado por las etapas que se muestran del diagrama de flujo de la Figura 5.

El AG inicia su procedimiento con una población *inicial* aleatoria de individuos. Cada individuo representa un grupo de porcentajes que indican el nivel de relevancia y participación de las medidas de evaluación. Después de ello, cada individuo se evalúa a través de una *función de aptitud*, la cual se encarga de medir la proximidad entre

[4]SIMetrix, ROUGE-C y LSA están disponibles en: `https://gitlab.com/evaluators1`

la evaluación automática propuesta y los juicios humanos. Posteriormente, se analiza si se ha cumplido alguna condición de término. En caso de que aún no se cumpla, se aplican operadores *genéticos de selección*, *cruza* y *mutación* para obtener mejores porcentajes de relevancia y participación en las medidas de evaluación. En caso contrario, el AG debe terminar de iterar y se obtiene la mejor combinación de medidas propuesta.

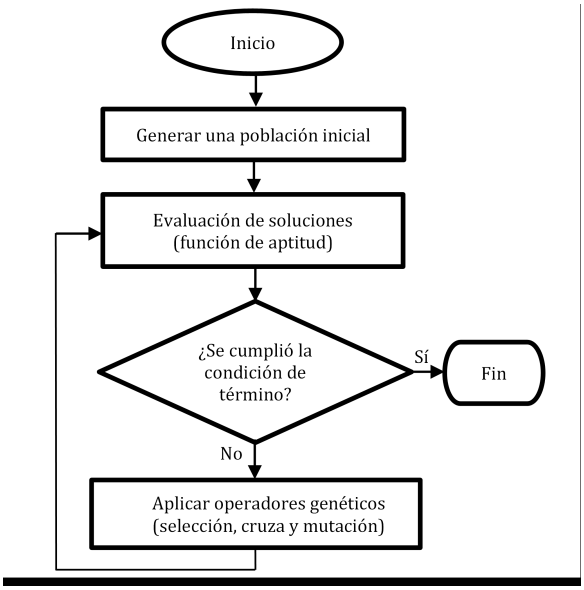


Figura 5. Diagrama de flujo del AG.

5. Salida. Una vez que se obtienen los mejores niveles de participación de cada medida, se implementan para SECO-SEVA. Por lo tanto, cada resumen evaluado es producto una combinación de 31 medidas de evaluación. Posterior a ello, se extraen los puntajes de evaluación de cada resumen, el cual indica el grado de similitud o semejanza con respecto a su documento fuente. Dicha semejanza se muestra en valores decimales de 0 a 1, donde 0 representa la más baja calificación posible, por lo que el resumen no es informativo para el lector. Cuando los valores de similitud sean cercanos a 1, el resumen es lo suficientemente informativo y presenta las mismas ideas en comparación con el documento fuente.

Desempeño de SECO-SEVA

En trabajos previos [8], el desempeño de SECO-SEVA se ha evaluado mediante índices de correlación, los cuales miden la similitud entre la evaluación automática y manual. De acuerdo con estos índices, SECO-SEVA ha alcanzado una correlación de 0.95607. En otras palabras, la evaluación de SECO-SEVA es 95.6 % similar a los juicios humanos. Por lo tanto, es una herramienta que supera a los mejores evaluadores conocidos en la investigación como ROUGE, el cual maneja valores de similitud cercanos al 90 % [9].

Aportaciones

La generación automática de resúmenes biomédicos se ha vuelto un tema esencial, ya que es necesario obtener información novedosa, concisa y actualizada sobre la COVID-19. Actualmente, las herramientas que generan resúmenes son puestas a prueba en un escenario de evaluación en donde es necesario contar con referencias humanas. Debido a que la generación de referencias humanas es una tarea muy costosa, SECO-SEVA es una herramienta que aporta a la generación de resúmenes biomédicos de las siguientes maneras:

1. Propone evaluar resúmenes biomédicos sin referencias humanas, lo cual genera un costo-beneficio en el manejo de recursos y esfuerzo humano.

2. Mejora el desempeño de la evaluación automática, a través de la optimización de diferentes medidas de evaluación.

Además del dominio biomédico, SECO-SEVA está dirigida hacia el sector educativo, que también ha sido afectado por la pandemia del COVID-19. Actualmente, las plataformas de cursos en línea masivos y abiertos (*Massive Open Online Courses* o MOOC) están limitadas en los procesos de evaluación escolar, ya a que solo es posible calificar exámenes de opción múltiple o en coevaluación (evaluación manual). Incluso, las MOOC no cuentan con herramientas orientadas a la calificación de ensayos. Por estas razones, es necesario evaluar otras capacidades que son necesarias en el desarrollo de los alumnos, tales como la lectura, redacción, legibilidad y la capacidad de generar resúmenes coherentes, concisos y lo suficientemente informativos. Con SECO-SEVA, será posible evaluar automáticamente resúmenes y ensayos de alumnos en plataformas educativas en línea.

Conclusiones y trabajos futuros

La pandemia del COVID-19 ha causado millones de contagios y muertes en todo el mundo. Por esta razón, contar con información concisa y actualizada es de vital importancia para el desarrollo de nuevas vacunas y tratamientos. De modo que la gestión de información útil referente a la COVID-19 es necesaria, la cual es abordada a través de la generación de resúmenes biomédicos. Si bien en la actualidad existen varias herramientas que generan resúmenes biomédicos, es necesario medir su desempeño evaluando los resúmenes que generan. Además, las herramientas actuales necesitan de resúmenes biomédicos escritos por expertos humanos. En este artículo, se presenta una herramienta de evaluación de resúmenes que no necesita de referencias humanas, la cual es denominada SECO-SEVA.

Con SECO-SEVA, se logra reducir la dependencia de generar referencias humanas en una evaluación autocontenida semejante a como la haría el ser humano.

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

De acuerdo con los resultados obtenidos en investigaciones previas, SECO-SEVA es una alternativa que genera costo-beneficio en el ámbito biomédico, al evaluar información relacionada a la COVID-19. Por otro lado, su futura implementación en plataformas de educación en línea complementará los procesos de evaluación de alumnos a distancia.

Finalmente, también es importante destacar que SECO-SEVA puede ser útil en la evaluación de experiencias formativas, laborales y habilidades profesionales que se describen en un Currículum Vitae (CV). Actualmente, el reclutamiento de personal es una actividad realizada mediante un análisis manual e individual de los CV que recibe el departamento de recursos humanos en una empresa. Mediante SECO-SEVA (con sus debidas adecuaciones como trabajo futuro), será posible mejorar los procesos de evaluación y selección de personal adecuado para una empresa.✷

REFERENCIAS

1. El-Kassas, W., Salama, C., Rafea, A., et al. (2021). Automatic text summarization: A comprehensive survey. *Expert Systems with Applications*, 165, 113679.
2. Cai, X., Liu, S., Yang, L., et al. (2022). COVIDSum: A linguistically enriched SciBERT-based summarization model for COVID-19 scientific papers. *Journal of Biomedical Informatics*, 127, 103999.
3. Lloret, E., Plaza, L. y Aker, A. (2018). The challenging task of summary evaluation: an overview. *Language Resources & Evaluation*, 52(1), 101-148.
4. Huaccho-Rojas, J., Yánac-Tellería, W., Balladares, A., et al. (2021). Alimentos con potencial efecto inmunomodulador y antiviral a propósito de la pandemia COVID-19. *Perspectivas en Nutrición Humana*, 23(2), 199-220.
5. Louis, A. y Nenkova, A. (2013). Automatically Assessing Machine Summary Content Without a Gold Standard. *Computational Linguistics*, 39(2), 267-300.
6. He, T., Chen, J., Ma, L., et al. (2008). ROUGE-C: A fully automated evaluation method for multi-document summarization. En *2008 IEEE International Conference on Granular Computing. Hangzhou, China*, 269-274.
7. Steinberger, J. y Ježek, K. (2009). Evaluation Measures for Text Summarization. *Computing and Informatics*, 28(1), 1001-1026.
8. Rojas-Simón, J., Ledeneva, Y. y García-Hernández, R. (2021). Evaluation of text summaries without human references based on the linear optimization of content metrics using a genetic algorithm. *Expert Systems with Applications*, 167, 113827.
9. Lin, C-Y. (2004). ROUGE: A Package for Automatic Evaluation of Summaries. En *Proceedings of Workshop on Text Summarization Branches Out, Post-Conference Workshop of ACL 2004. Barcelona, España*, 74-81.

SOBRE LOS AUTORES



Jonathan Rojas-Simón es estudiante del Doctorado en Ciencias de la Computación de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex). En el 2020, recibió la presea Ignacio Manuel Altamirano (otorgado por la UAEMex) y el premio "José Negrete Martínez" (otorgado por la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial, SMIA) por sus recientes contribuciones en la Inteligencia Artificial. En los últimos tres años, ha sido autor de artículos científicos en revistas de alto impacto y congresos internacionales. Recientemente, ha publicado el libro titulado "Evaluation of Text Summaries Based on Linear Optimization of Content Metrics" con la editorial Springer. Sus principales temas de investigación están relacionados a la minería de textos, procesamiento del lenguaje natural, computación evolutiva y métodos estadísticos.



Yulia Ledeneva es Doctora en Ciencias de la Computación por el Centro de la Investigación en Computación del Instituto Politécnico Nacional (CIC-IPN). En 2009, la Dra. Yulia Ledeneva recibió la presea Lázaro Cárdenas de las manos del presidente de México. Actualmente, es profesora investigadora de la UAEMex, miembro del Sistema Nacional de Investigadores (Nivel I) y autora de más de 80 publicaciones científicas en revistas de alto impacto y congresos internacionales. Sus principales temas de investigación son: lingüística computacional, procesamiento del lenguaje natural, minería de textos, métodos basados en grafos y algoritmos genéticos.



René A. García-Hernández es Doctor en Ciencias de la Computación por el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE). Actualmente, es profesor investigador de la UAEMex, miembro del Sistema Nacional de Investigadores (Nivel II) y autor de más de 80 publicaciones científicas en revistas de alto impacto y congresos internacionales. Además, ha recibido primeros lugares en competencias SOCO de reutilización de código fuente. Sus principales temas de investigación están relacionados al reconocimiento de patrones, computación evolutiva, minería de textos y el procesamiento del lenguaje natural.

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

ARTÍCULO ACEPTADO

Innovación en la robótica médica para la rehabilitación de miembro superior

Issy Madelein Hernández Durán, Juana Mariel Dávila Vilchis, Adriana Herlinda Vilchis González y Juan Carlos Ávila Vilchis

Introducción

La robótica, en conjunto con la rehabilitación, abren una ventana de oportunidades para crear Robots Médicos que den solución a la demanda de las discapacidades motoras, y que permitan aumentar la neuroplasticidad en los pacientes.

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estima que cerca de 2,4 millones de personas en el mundo, tienen alguna afectación neurológica que se vería beneficiada al recibir algún tipo de rehabilitación, tal es el caso de la espasticidad, que ocurre en numerosas afectaciones neurológicas, como la esclerosis múltiple (EM), los accidentes cerebrovasculares (AC), lesiones medulares (LM), tumores y otras enfermedades.

El cuerpo humano posee 4 miembros: 2 miembros superiores y 2 inferiores; donde estos últimos están altamente ligados a la locomoción, mientras que los superiores se encuentran relacionados con la prensión o agarre.

El miembro superior se puede ver afectado por patologías de todo tipo, siendo una de las principales afectaciones la espasticidad, que se define como el aumento desmedido de los reflejos en los estiramientos tónicos [1], por lo que el tendón es estirado con exageración debido a una hiperexitación, generando con ello una postura inadecuada del músculo.

Este trastorno muscular, se manifiesta como un desorden en el control sensoriomotor que se caracteriza por el aumento en la excitabilidad de los reflejos de estiramiento, produciendo engrandecimiento del tono muscular, lo que el paciente percibe como una rigidez constante, a la que se le añaden trastornos de movilidad, espasmos y dolor.

La prevalencia de la espasticidad es variable en cada patología: en las LM se estima que el 40 % de los pacientes la presentan; en la EM, luego del primer año de presentar algún síntoma, es del 67 % [1], sin embargo, se refiere que un 80 % de los pacientes con EM la presentan en algún momento; y finalmente, en los AC se estima que es del 38 % al 40 %, de acuerdo a estudios reportados se indica que de 498 pacientes con infarto cerebral, el 34.5 % podrían presentar espasticidad en el miembro superior.

En las afectaciones más comunes generadas por la espasticidad en el miembro superior, se presenta exacerbación en la aducción en hombro, flexión en codo, pronación en antebrazo, flexión en muñeca, mano en puño, pulgar pegado a la mano y dedos engarrotados [1].

El papel de la robótica en la rehabilitación

En la rehabilitación se realizan tareas centradas en movimientos altamente repetitivos, por lo que la duración, capacidad e intensidad permiten obtener un impacto positivo en la mejoría de la parte motora.

Es por ello, que en el campo de la medicina, se ha incursionado la robótica médica, donde los sistemas se caracterizan por tener una relación física con la persona o paciente [2].

Estos sistemas pueden ir desde el microrobot cápsula que navega por el interior del cuerpo humano, los robots asistentes que permiten realizar tareas de la vida cotidiana, robots quirúrgicos como el Da Vinci, hasta robots asistenciales como el Nurse-Bot o de rehabilitación, como los Bionik [2].

La participación de los robots en el proceso de rehabilitación permiten realizar ejercicios de manera pasiva como activa, además de recibir información durante los movimientos del paciente; todo esto mientras el terapeuta guía la sesión y evalúa la información arrojada por el robot como fuerza, posición y velocidad [2].

La rehabilitación es de gran importancia, dado que se prevé un incremento de padecimientos crónicos y discapacitantes.

Avances en la Robótica Médica

A través de los años, la robótica médica ha ido evolucionado; inicialmente se propusieron sistemas robóticos rígidos, caracterizados por la formación de una cadena cinemática de varios grados de libertad, constituidos por eslabones y articulaciones, que, en conjunto, efectúan el movimiento deseado.

Estos desarrollos, se componen de elementos mecánicos robustos, que presentan mínima o nula deformación elástica, así como adaptabilidad [3].

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

Aunque estos robots han tenido un gran auge en los últimos años, al fabricarse con materiales rígidos presentan limitaciones en el peso, en los sistemas de actuación y para su manipulación requieren de grandes espacios de trabajo, en la Figura 1, se muestran algunos ejemplos de robots médicos rígidos.



Figura 1. Ejemplos de Robots Médicos Rígidos.

Como solución a lo anterior, ha surgido un nuevo enfoque, la robótica suave, con propuestas de diseño inspiradas en sistemas biológicos, como los pulpos o las medusas, que presentan la capacidad de adaptarse a diversos entornos y sus cambios [3].

Este tipo de robots se caracterizan por ser ligeros, ofrecen mayor seguridad, ajuste, movilidad, utilizan materiales flexibles, presentan una deformación constante, cuentan con grados de libertad más complejos que simulan la anatomía humana de forma natural; por lo que la implementación de robots suaves brinda mayor accesibilidad y aceptación por parte del paciente, debido a que los diseños simples coinciden con las características del cuerpo.

Desarrollos a lo largo del tiempo para rehabilitar el miembro superior

Este artículo presenta una revisión del estado del arte acerca de robots médicos que han sido desarrollados durante los últimos 10 años, específicamente para tareas de rehabilitación de miembro superior enfocados en el tratamiento de la espasticidad, causada principalmente por AC, EM y LM o atrofia muscular.

De los artículos encontrados, se excluyeron aquellos que no estuvieran relacionados con el miembro superior, ni con la rigidez; también se adoptó una clasificación de los robots rígidos y suaves para establecer criterios de diseño basados en su funcionalidad, movilidad y usabilidad propuestos por Dávila-Vilchis y colaboradores [4]. Los criterios a considerar, son los siguientes:

1. Tipo de robot (rígidos o suaves).
2. Función (rehabilitación y/o asistencia).
3. Articulación (hombro, codo, muñeca, mano o dedos).
4. Aplicación (patología o actividad).
5. Sistema de actuación (neumáticos y eléctricos).
6. Número de grados de libertad (GDL).
7. Movimiento (flexión-extensión, abducción-aducción, rotación o todos).
8. Material.
9. Peso.
10. Fuerza.
11. Presión que ejerce el sistema.
12. Configuración.
13. Variable de control; la cual permite evaluar el seguimiento del sistema, por ejemplo, mediante el rango de movilidad, electromiografía (EMG), fuerza o presión.

Los resultados de esta revisión presentan un análisis de 16 robots para rehabilitación de miembro superior, de los cuales 14 son suaves y 2 son rígidos, lo que demuestra que hay una tendencia en los diseños enfocados a robótica suave, debido a sus múltiples bondades al ser dispositivos más cómodos y amigables con el paciente durante el protocolo de rehabilitación.

En la Tabla 1, se resumen 8 sistemas más vanguardistas de los últimos 5 años para miembro superior, incluyendo sus 13 criterios de diseño, presentados anteriormente, de acuerdo con la información proporcionada en la literatura. De manera general, la rehabilitación de miembro superior incluye robots rígidos que apoyan en los movimientos de flexión, extensión, abducción, aducción y rotación para rehabilitación de todo el miembro superior con el fin de recuperar la movilidad para actividades de la vida cotidiana [5], o bien, como los que se encargan de la flexión y extensión de codo y muñeca [6].

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

Tabla 1. Clasificación de robots médicos para rehabilitación de miembro superior.

Tipo de robot		Articulación	Aplicación	Actuación	GDL	Movimiento	Material	Peso (gr)	Fuerza (N)	Presión (kPa)	Configuración	Variable de control	Robot Médico
Suave	Rehabilitación	Miembro superior	Aumento muscular	Eléctrica	6	Flexión-extensión, abducción-aducción y rotación	Neopreno	1300	88.3	N/A	Lazo cerrado	Acción del usuario	
Suave	Asistencia	Dedos	Mano humanoide	Neumática	13	Flexión-extensión	Silicona	1270	5.7-8.5	160	Lazo cerrado	Presión	
Suave	Rehabilitación	Muñeca	Secuelas de accidente cerebrovascular	Eléctrica	2	Flexión-extensión y abducción-aducción	Silicona	1003	50	60	--	EMG	
Suave	Rehabilitación	Muñeca	Lesión	Neumática	3	Flexión-extensión, abducción-aducción y rotación	--	--	--	--	--	EMG	
Suave	Rehabilitación	Muñeca	Secuelas de accidente cerebrovascular	Eléctrica	2	Flexión-extensión y abducción-aducción	Poliuretano termoplástico	--	--	200	--	EMG	
Suave	Rehabilitación	Muñeca	Secuelas de accidente cerebrovascular	Neumática	1	Flexión-extensión	Silicona	--	--	15	--	--	
Suave	Rehabilitación	Muñeca	Discapacidad motora	Neumática	3	Flexión-extensión y abducción-aducción	Acero elástico	--	--	0 - 500	Lazo abierto	EMG	
Suave	Rehabilitación	Muñeca	Discapacidad motora	Neumática	2	Flexión-extensión y abducción-aducción	Acetato de etileno y vinilo	241	7.5	206	Lazo cerrado	Presión	

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

Por otro lado, estas mismas articulaciones se están trabajando con robots suaves, cuyos sistemas de actuación son accionados por cables y motores eléctricos para el aumento muscular de todo el miembro superior [7]; o por actuadores neumáticos, que trabajan la articulación del codo en conjunto con la muñeca y mano, enfocándose también a la asistencia de pacientes con AC [8].

Para este análisis, 10 de los sistemas revisados son para rehabilitación, mientras que 5 son para asistencia y solo uno posee ambas funciones.

Por otro lado, la rehabilitación en el segmento distal es la más sobresaliente con 9 sistemas para muñeca y 4 para dedos, mientras que para el segmento proximal se encontraron 2. Además, es notable que los AC son prioridad en el desarrollo de estos sistemas.

En la Figura 2, se muestra una gráfica de los robots que se han desarrollado para las principales articulaciones de miembro superior.

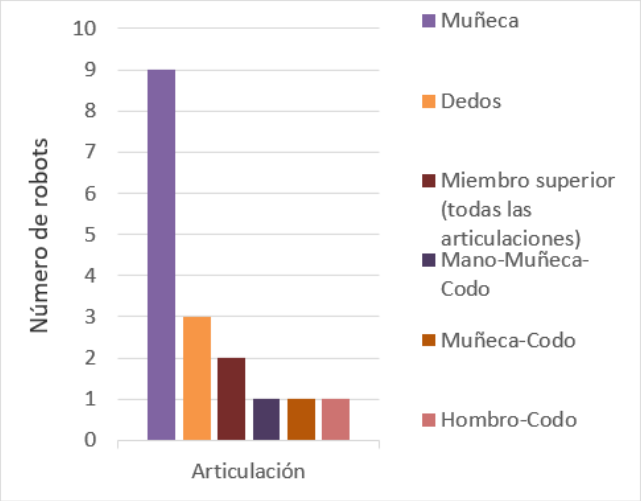


Figura 2. Desarrollo de robots para articulación.

Investigaciones recientes, sugieren que las cámaras semicirculares fabricadas con elastómeros presentan mayor eficiencia en cuanto a la presión ejercida y el ángulo de flexión, en comparación de aquellas cámaras triangulares o con forma de trapezoide [9].

Por otro lado, en el caso de actuadores neumáticos, basados en músculos artificiales como los McKibben, se requieren de presiones altas para alcanzar el rango de movimiento deseado [8].

Recientemente, la nueva propuesta son los robots neumáticos origami, cuyos diseños compactos permiten alcanzar movimientos de flexión, extensión, abducción y aducción de muñeca a través del dobles de caras hexagonales [10].

Conclusiones

La robótica en conjunto con la rehabilitación abre una ventana de oportunidades para crear Robots Médicos que den solución a la demanda de las discapacidades motoras en ambos miembros, y que permitan aumentar la neuroplasticidad en los usuarios.

La mayoría de los robots mencionados se orientan en AC, dejando así un abanico de posibilidades para incursionar en la espasticidad y su relación con otras patologías, como la esclerosis múltiple, a fin de apoyar en la rehabilitación motriz, y, por ende, a reaprender, restaurar o mejorar los movimientos funcionales de los pacientes, donde el dispositivo permita alcanzar su fin último, que es incidir en una movilidad mejorada y repercutir positivamente en la calidad de vida de los pacientes.

Principalmente se sugiere trabajar en el desarrollo de prototipos con el enfoque de robótica suave, ya que proponen diseños ergonómicos, portables, ligeros, compactos, de fácil uso dado que se han convertido en una herramienta de asistencia durante los protocolos de rehabilitación para médicos, terapeutas y pacientes.

Además, esta nueva vertiente de la robótica permite innovar en futuras propuestas, materiales y modelos de actuación con la finalidad de ofrecer sistemas que garanticen la seguridad, comodidad y movilidad del paciente.✳

REFERENCIAS

1. Gómez-Rendón, J.F., Moreno-Arango, J.D., Medina-Salcedo, J.M., Becerra-Velásquez, J., Gil-Henao, G.A. y Gil-Guerrero, M. A. (2020). Rehabilitación robótica en espasticidad de mano y muñeca. *Revista Colombiana de Medicina Física y Rehabilitación*, 30(2).

2. Sabater-Navarro, J., Saltaren, R., Ibarra-Zannatha, J., Rodriguez Cheu, L., Vivas, A., Politti, J., Serracin, J. y Rubio, E. (2013). ROBOTICA MEDICA – Notas prácticas para el aprendizaje de la robótica en bioingeniería. *CYTED*.

3. Rus, D. y Tolley, M. T. (2015). Design, fabrication and control of soft robots. *Nature*, 521(7553).

4. Dávila-Vilchis, J.-M., Ávila-Vilchis, J.C., Vilchis-González, A.H. y LAZ-Avilés. (2020). Design Criteria of Soft Exogloves for Hand Rehabilitation-Assistance Tasks. Applied Bionics and Biomechanics.

5. Balasubramanian, S., Wei, R., Perez, M., Shepard, B., Koeneman, E., Koeneman, J. y He, J. (2008). RUPERT: An exoskeleton robot for assisting rehabilitation of arm functions. *2008 Virtual Rehabilitation*, 163–167.

6. Nam, H. S., Koh, S., Kim, Y. J., Beom, J., Lee, W. H., Lee, S.-U. y Kim, S. (2017). Biomechanical Reactions of Exoskeleton Neurorehabilitation Robots in Spastic Elbows and Wrists. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 25(11), 2196–2203.

7. Lessard, S., Pansodtee, P., Robbins, A., Baltaxe-Admony, L. B., Trombadore, J. M., Teodorescu, M., Agogino, A. y Kurniawan, S. (2017). CRUX: A compliant robotic upper-extremity exosuit for lightweight, portable, multi-joint muscular augmentation. En *2017 International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, 1633–1638.

8. Bartlett, N.W., Lyau, V., Raiford, W.A., Holland, D., Gafford, J.B., Ellis, T.D. y Walsh, C.J. (2015). A Soft Robotic Orthosis for Wrist Rehabilitation. *Journal of Medical Devices*, 9(3).

9. Xu, Y. (2020). Design and Simulation of a Soft Robotic Device for Wrist Rehabilitation. En *2020 3rd International Conference on Advanced Electronic Materials, Computers and Software Engineering (AEMCSE)*, 697–701.

10. Liu, S., Fang, Z., Liu, J., Tang, K., Luo, J., Yi, J., Hu, X. y Wang, Z. (2021). A Compact Soft Robotic Wrist Brace With Origami Actuators. *Frontiers in Robotics and AI*, 8.

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

SOBRE LOS AUTORES



Issy Madelein Hernández Durán es pasante de Bioingeniería Médica de la Universidad Autónoma del Estado de México. Se desempeña actualmente como auditor en el departamento de Ingeniería Biomédica en un hospital de segundo nivel y en el desarrollo de un sistema suave para rehabilitación de espasticidad de muñeca. Sus áreas de interés incluyen Robótica Médica, Rehabilitación y Robots Suaves.



Juana Mariel Dávila Vilchis es Doctora en Ciencia de la Ingeniería con enfoque en Robótica Suave por la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). Actualmente, forma parte del Sistema Nacional de Investigadores. Es académica de asignatura e investigadora en las áreas de Robótica, Tecnología Médica y Energías Renovables en la Facultad de Ingeniería de la UAEM.



Adriana Herlinda Vilchis González obtuvo el grado de doctor en Imagen, Visión y Robótica en el Instituto Politécnico de Grenoble, Francia. Actualmente es profesor investigador en las Facultades de Ingeniería y de Medicina de la Universidad Autónoma del Estado de México. Sus intereses científicos incluyen Robótica Medica, Robots Suaves y Sistemas Mecatrónicos.



Juan Carlos Ávila Vilchis obtuvo el grado de doctor en el Instituto Nacional Politécnico de Grenoble, Francia. Actualmente es profesor investigador en las Facultades de Ingeniería y de Medicina de la Universidad Autónoma del Estado de México. Sus intereses científicos incluyen Modelado, Análisis y Control de sistemas no lineales y Robótica Médica

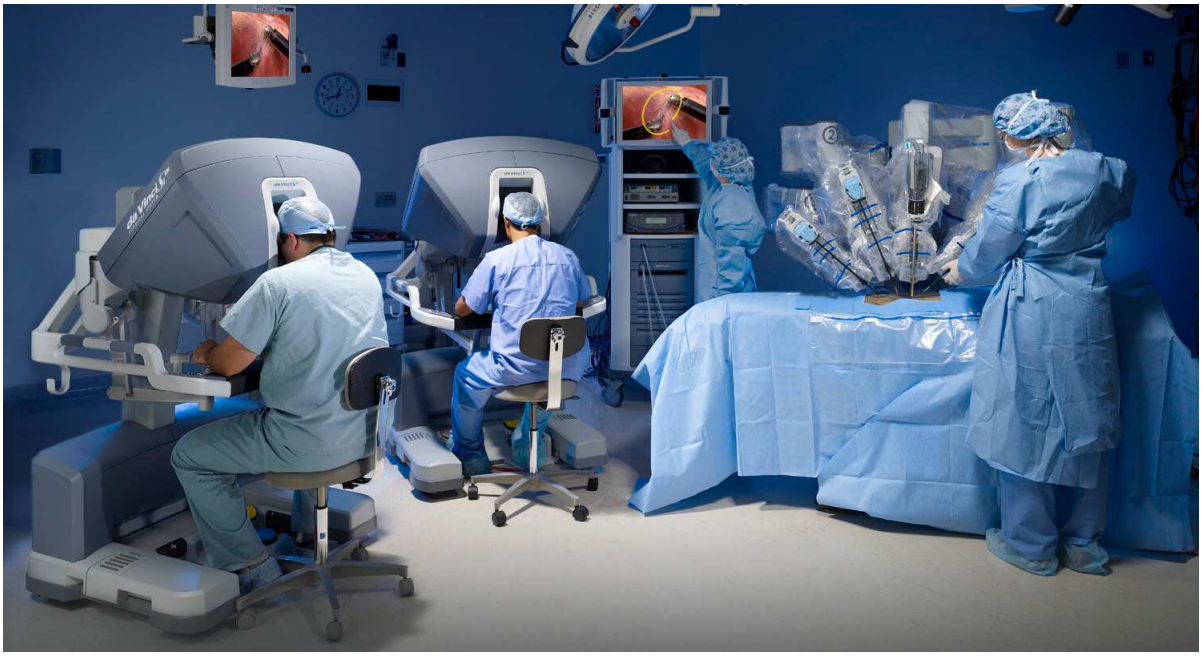


Imagen tomada de: https://rgtconsultores.mx/blog/da-vinci-de-los-primeros-robots-a-la-cirugia-robotica.

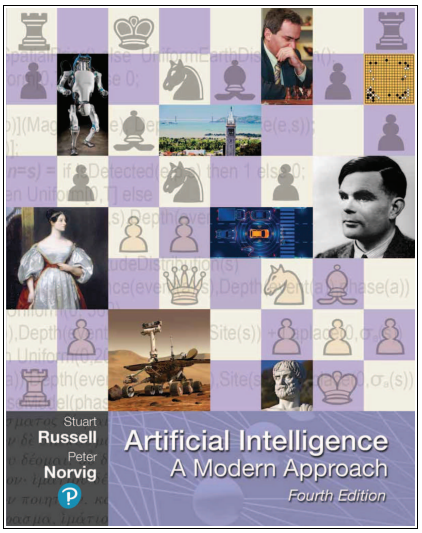
© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

Deskubriendo Konocimiento

Alejandro Guerra Hernández y Leonardo Garrido
deskubriendokonocimiento@komputersapiens.org

Revisión de "Artificial Intelligence: A Modern Approach" *

Dr. Alejandro Guerra Hernández
Universidad Veracruzana
Instituto de Investigaciones en Inteligencia Artificial



Portada del libro. *

Cuando me plantee hacer esta reseña, estaba convencido de que ya habíamos revisado el "Artificial Intelligence: A Modern Approach", AIMA de ahora en adelante, en algún número previo y que convenía hablar aquí de las novedades de la cuarta edición, por pertinentes. Para mi sorpresa, resultó que ese no es el caso, así que sirva este texto para resarcir tamaña omisión de mi parte.

El AIMA es, según su página web (`http://aima.cs.berkeley.edu`), uno de los libros de texto sobre Inteligencia Artificial (IA) más usado en el mundo. Ha sido adoptado en alrededor de 1500 instituciones a lo largo de sus cuatro ediciones (1995, 2003, 2010 y 2020) que han sido traducidas a una docena de idiomas a la fecha. En la cuarta edición que hoy nos ocupa, el libro ha crecido hasta alcanzar 1165 páginas que dan cuenta de la amplitud y profundidad de los temas de IA que se abordan. De hecho, el aumento de tamaño es mayor si tomamos en cuenta que los ejercicios que venían al final de cada capítulo se han movido del libro físico a la mencionada página web. Solo para comparar, la primera edición de 1995 tenía 932 páginas, ejercicios incluidos.

El soporte en la web ofrece también acceso a la implementación del código del libro en diferentes lenguajes de programación. Una de las premisas de Stuart J. Russell y Peter Norvig, desde la primer edición, era que el libro debía equilibrar las aproximaciones teóricas y prácticas en todo momento. De ahí que el repositorio de código haya estado siempre presente, desde una excelente versión en Common Lisp (Peter Norvig es también autor del fabuloso "Paradigms of Artificial Intelligence Programming: Case Studies in Common Lisp-**, hasta las recientes implementaciones en Julia. Aquí cabe resaltar que de entre todas las implementaciones disponibles, la versión en Python es de gran valor didáctico pues, si bien la implementación en Lisp es muy buena, y sigue una noble tradición en IA, era más difícil establecer una correspondencia entre el código implementado y los algoritmos tal y como se presentan en el libro. La implementación en Python solventa este problema. Además, actualmente, el código en este lenguaje es posiblemente más accesible a las y los estudiantes que se acercan a la IA por vez primera.

Desde la primera edición del AIMA a finales del siglo pasado, me pareció que lo de enfoque moderno estaba plenamente justificado. Y, aunque parezca irónico, lo sigue estando. ¿Cómo puede mantener su modernidad un libro de texto sobre IA a lo largo de tantos años? En mi opinión, esto se debe principalmente a la idea de adoptar un marco conceptual que ha permitido presentar de manera coherente y unificada los diversos intereses y avances de la IA a lo largo del tiempo. Este marco conceptual es el agente inteligente.

Según nuestros autores, el problema de la IA es describir y construir agentes que reciben percepciones del ambiente donde llevan a cabo sus acciones. Esta perspectiva pone los diferentes temas de interés de la IA, como el aprendizaje, la visión, la planificación, el razonamiento, la representación del conocimiento, etc., al servicio de la solución de este problema, dando una visión más coherente de la relación entre ellos. Por ejemplo, visión y robótica no se abordan como temas

*S. Russell and P. Norvig. Artificial Intelligence: A Modern Approach. Pearson, New York, NY, USA, fourth edition, 2020.
**Norvig, P. (1992). Paradigms of artificial intelligence programming: case studies in Common LISP. Morgan Kaufmann.

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

aislados, sino como técnicas complementarias que contribuyen a que los agentes cumplan sus objetivos. En mi experiencia personal, la manera en que se integra el aprendizaje automático a la arquitectura de los agentes que aprenden ha sido de gran utilidad.

Esta idea se ve reflejada en la organización del libro que incluye 28 capítulos divididos en ocho partes, cuyos nombres casi no han cambiado a lo largo de las diferentes ediciones del libro: Inteligencia Artificial; Solución de Problemas; Conocimiento, Razonamiento y Planificación; Conocimiento Incierto y Razonamiento; Aprendizaje Máquina; Comunicación, Percepción y Acción; y Conclusiones.

Evidentemente, lo que sí ha cambiado es el contenido de cada una de estas partes para reflejar los cambios en el marco conceptual adoptado y la relevancia de los temas de interés al momento de cada edición. Con respecto al marco conceptual, este ha evolucionado de manera muy acorde al desarrollo de la IA en estos años, pasando del énfasis en la representación del conocimiento y el razonamiento, al uso de enfoques más probabilistas para contender con la incertidumbre. Y de la concepción de agentes que maximizan la utilidad esperada, definida por sus diseñadores, a una aproximación donde la función de utilidad no es fija, ni conocida por el agente inteligente que debe aprender su función objetivo mientras se comporta de manera adecuada. Incluso la segunda edición del AIMA, que pudiese parecer menos innovadora en este sentido, lo es en otro aspecto muy importante: introdujo algoritmos que permitían una escalabilidad mucho mayor que los de la primera edición del libro.

En esta cuarta edición, se hace énfasis en el uso del aprendizaje máquina como una alternativa a la ingeniería de conocimiento tradicional, lo cual tiene mucho sentido, dada la mayor disponibilidad de datos, recursos computacionales y nuevos algoritmos. El aprendizaje profundo, la programación probabilista, los sistemas multi-agentes se abordan en mayor detalle con la ayuda de colaboradores invitados de la talla de Judea Pearl, Ian Goodfellow y Michael Wooldridge, entre otros. La parte de Comunicación, Percepción y Acción ha sido profundamente revisada para reflejar el impacto del aprendizaje profundo en el reconocimiento de lenguaje natural, la visión y la robótica. También se ha considerado el impacto del aprendizaje por refuerzo en esta última área. La parte de Conclusiones incluye ahora un capítulo de consideraciones sobre el uso de la IA, a saber: éticas, de igualdad, confianza y seguridad; además de las consideraciones filosóficas que ya se incluían en ediciones pasadas.

El material del libro está pensado para cubrirse en dos semestres, pero es posible organizar diferentes trayectorias con los capítulos que permitan cubrir el material en cuatrimestres, o focalizando en diferentes líneas de investigación. Para las y los estudiantes, el AIMA es el libro de consulta que puede acompañar sus estudios en IA a nivel licenciatura o posgrado, complementado con una bibliografía muy completa y actualizada en cada edición. En esta última, el 22 % de las citas son posteriores al año 2010. Además, combinado con sus recursos en línea, una gran fuente de ideas, técnicas y trucos. El único detalle a mencionar es el elevado precio de esta cuarta edición, situación que se puede paliar un poco comprando la edición global de 2022, que es un poco más económica. Ahora, si me preguntan, la inversión vale cada peso gastado.✷



Imagen tomada de: https://innfopedia.com/artificial-intelligence-a-modern-approach/.

© 2023 - Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial ISSN 2007-0691

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



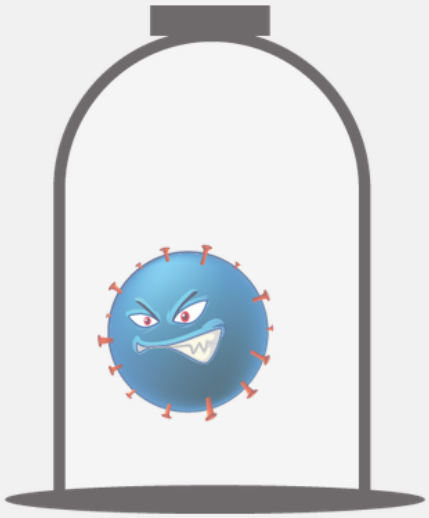
TOSE O ESTORNUDA EN LA PARTE INTERNA DE TU CODO



NO DIFUNDAS NOTICIAS FALSAS

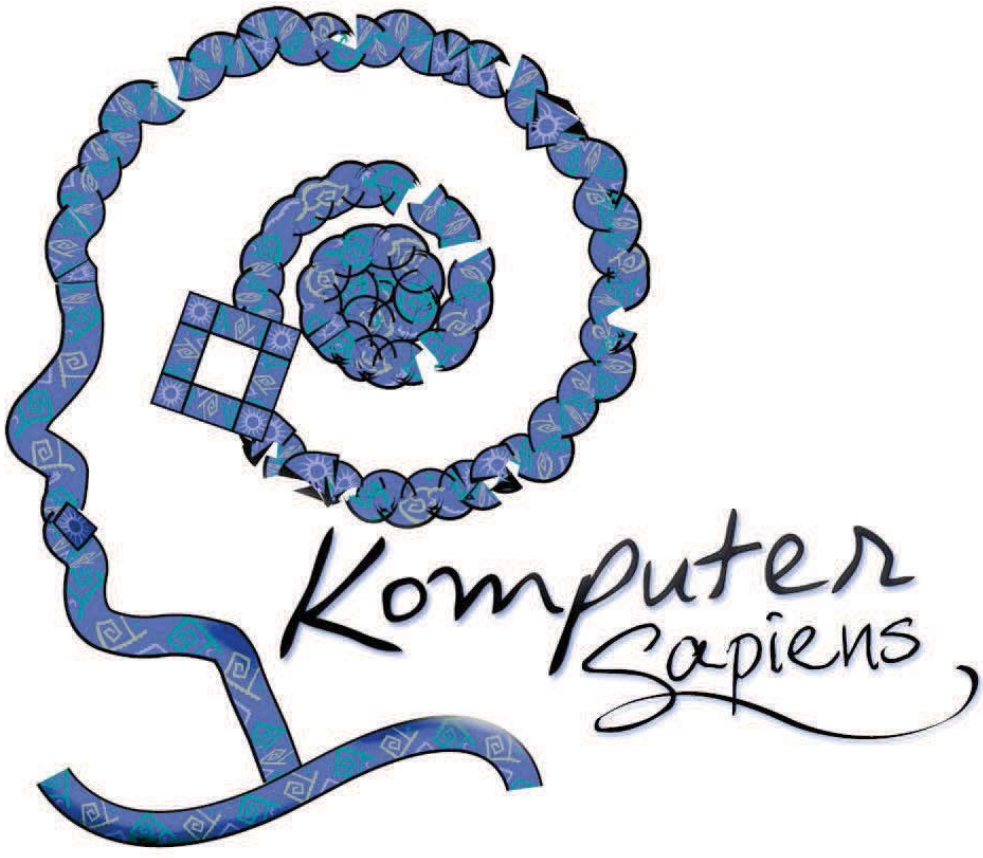
Atendiendo las normas de la Nueva Normalidad y cuidándonos unos a otros podremos salir adelante.

¡SI AISLAMOS AL VIRUS, LO VENCEREMOS!



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

Indizada en el IRMDCT de CONACYT y en Latindex



¡Publique en Komputer Sapiens!

CONACYT
ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA (IRMDCT)

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**

SMIA
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