

Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería

Número Especial, 50 Aniversario UAM

ISSN: 2683-2607

No. 137

Ingeniería Eléctrica

Treinta años aplicando ciencia
de datos al procesamiento digital
de imágenes médicas

Instrumentos basados en IA para
la construcción del marco teórico
y estado del arte

IntraNet Comunitaria UAMI: una
alternativa de conectividad

Explorando la Ciencia de Datos:
Desde la Estadística
hasta el Big Data



Departamento de Ingeniería Eléctrica





Contenido

Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería
Número Especial, 50 Aniversario UAM, 2024, No. 137

Editorial	3	<i>Instrumentos basados en IA para la construcción del marco teórico y estado del arte</i>	52
<i>Treinta años aplicando ciencia de datos al procesamiento digital de imágenes médicas</i> Juan Ramón Jiménez Alaniz Verónica Medina Bañuelos Raquel Valdés Cristerna Oscar Yáñez Suárez	5	Roberto García Aguirre Roman Anselmo Mora Gutiérrez Eric Alfredo Rincón García Pedro Lara Velázquez Sergio Gerardo de los Cobos Silva Miguel Ángel Gutiérrez Andrade Fabiola Margarita Martínez Licona Alma Edith Martínez Licona Edwin Montes Orozco	
Evolución de los Dispositivos Lógicos Programables (PLD) Luis Alberto Vásquez Toledo Mauricio López Villaseñor Leonardo Palacios Luengas	18	<i>IntraNet Comunitaria UAMI: una alternativa de conectividad</i> Enrique Rodríguez de la Colina Luis Alberto Vásquez Toledo	62
<i>Biometría por detección de luz infrarroja en reflexión y transmisión</i> Norma Pilar Castellanos Abrego José Luis Hernández Pozos	26	<i>Oír con un Implante Coclear</i> Lizzete Carranco Hernández Juan Manuel Cornejo Norma Castañeda María del Pilar Granados	74
<i>Chatbots Educativos en UAM-I: una familia abierta al tiempo</i> R. Carolina Medina Ramírez Pablo César Hernández Cerrito Omar Lucio Cabrera Jiménez Enrique Rodríguez de la Colina Eric Alfredo Rincón García	36	<i>Movilidad humana: modelado y aplicaciones a las TIC</i> Eduardo Andrés Marcelo Adán Geovanni Medrano Chávez Elizabeth Pérez Cortés Miguel López Guerrero	84
<i>El peligro de la suplantación de identidad por medio de audio</i> Carlos Alberto Hernández Nava Eric Alfredo Rincón García Pedro Lara Velázquez Sergio Gerardo de los Cobos Silva Miguel Ángel Gutiérrez Andrade Fabiola Margarita Martínez Licona Alma Edith Martínez Licona Roman Anselmo Mora Gutiérrez Edwin Montes Orozco	42	<i>Neuroestética: Proceso cognitivo del arte</i> Liliana García Madrigal Axayacatl Morales Guadarrama	97
		<i>Aportaciones de la ingeniería biomédica: Seguimiento eléctrico y acústico del bienestar fetal</i> Aída Jiménez González	103
		<i>Explorando la Ciencia de Datos: Desde la Estadística hasta el Big Data</i> José Luis Quiroz Fabián Adriana Pérez Espinosa Graciela Román Alonso Miguel Alfonso Castro García Manuel Aguilar Cornejo	114



Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería
en la WEB

Lea los artículos publicados en
<https://contactos.izt.uam.mx>



Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA



CONACYT
ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS
DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Rector General

Dr. José Antonio de los Reyes Heredia

Secretaria General

Dra. Norma Rondero López

UNIDAD IZTAPALAPA

Rectora

Dra. Verónica Medina Bañuelos

Secretario

Dr. Javier Rodríguez Lagunas

*Director de la División de Ciencias
Básicas e Ingeniería*

Dr. Román Linares Romero

*Director de la División de Ciencias
Biológicas y de la Salud*

Dr. José Luis Gómez Olivares

Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería:

Consejo Editorial:

Dra. Verónica Medina Bañuelos

Dr. Javier Rodríguez Lagunas

Dr. Román Linares Romero

Dr. José Luis Gómez Olivares

UAM- Iztapalapa

Editora en Jefe:

M. C. Alma Edith Martínez Liconá

Asistente Editorial:

Lic. Paula López Andrés

Comité Editorial por CBS:

Dra. Edith Arenas Ríos, Dra. Laura Josefina Pérez Flores, Dr. Pedro Luis Valverde Padilla

Por CBI:

Dr. Hugo Ávila Paredes

Por la Universidad Iberoamericana:

Mtro. Adolfo G. Fink Pastrana

CONTACTOS, REVISTA DE EDUCACIÓN EN CIENCIAS E INGENIERÍA.

3ª Época, No. 137, Número Especial, 50 Aniversario de la Universidad Autónoma Metropolitana a través de la Unidad Iztapalapa, División de Ciencias Básicas e Ingeniería y División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Prolongación Canal de Miramontes 3855, Col. Ex-Hacienda San Juan de Dios, Alcaldía Tlalpan, C.P. 14387, México, Ciudad de México y Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco 186, Col. Leyes de Reforma 1a Sección, Iztapalapa, Cd. de México. C.P. 09310, Edificio T144, Tel. 5804 – 4600. Ext. 1144. Página electrónica de la revista: <https://contactos.izt.uam.mx/> y dirección electrónica: cts@xanum.uam.mx Editora responsable MC Alma E. Martínez Liconá. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo de Título No. 04-2023-061914482700-102, ISSN 2683-2607, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Mtra. Alma E. Martínez Liconá; Unidad Iztapalapa, División de CBI y CBS; fecha de última modificación 10 de diciembre de 2024. Tamaño del archivo 16.9 MB.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma Metropolitana.

Fecha de Publicación: Diciembre 2024.

Los artículos publicados en **Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería** son sometidos a arbitraje; para ello se requiere enviar

el trabajo en Word a <https://contactos.izt.uam.mx/>
Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería,
UAM – Iztapalapa, T144, Tel. 5804-4600. Ext. 1144
Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco 186. C.P. 09310
e-mail cts@xanum.uam.mx

Editorial

En el 50 aniversario de la Universidad Autónoma Metropolitana, se decidió publicar un número especial de la Revista **Contactos Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería** para que los investigadores del Departamento de Ingeniería Eléctrica presenten algunos resultados de sus trabajos de investigación científica y desarrollo tecnológico.

Los integrantes del Laboratorio de Investigación en Neuroimagenología (LINI) nos comparten una reseña cronológica de sus investigaciones y los resultados obtenidos en el artículo **Treinta años aplicando ciencia de datos al procesamiento digital de imágenes médicas**.

El artículo **Evolución de los Dispositivos Lógicos Programables (PLD)** presenta una revisión de las características de las tecnologías basadas en estos elementos a través del tiempo en su capacidad de integración, alcance y aplicaciones tanto en la educación como en la industria.

Los investigadores que colaboran en el Laboratorio de Ingeniería de Fenómenos Fisiológicos Perinatales han desarrollado técnicas para el monitoreo de la frecuencia cardíaca fetal para detectar los problemas de oxigenación. Ellos nos presentan algunos de los resultados que han obtenido en el artículo **Aportaciones de la ingeniería biomédica: Seguimiento eléctrico y acústico del bienestar fetal**.

Oír con un Implante Coclear es el título del artículo en el que se describen las características del sonido y se explica cómo la estimulación eléctrica del nervio auditivo permite el funcionamiento de nuestro sentido del oído. También detalla el funcionamiento de este tipo de implantes que se utilizan en la habilitación o rehabilitación de pacientes hipoacúsicos.

Con el objetivo de mostrar los principios, métodos y herramientas que se requieren para abordar el procesamiento de grandes volúmenes de datos mismo que ha adquirido gran relevancia en la actualidad, los investigadores del Área de Computación y Sistemas nos presentan el artículo titulado **Explorando la Ciencia de Datos: Desde la Estadística hasta el Big Data**.

En el artículo **Movilidad humana: modelado y aplicaciones a las TIC** se detallan tres modelos para simular una red de comunicaciones que involucra personas que portan dispositivos móviles. También se describen algunos proyectos en los que se han usado estos modelos.

Existen distintas herramientas basadas en Inteligencia Artificial que se utilizan ampliamente en nuestros días para la revisión de literatura científica tanto por la comunidad académica como por los alumnos y es muy importante contar con una metodología para su uso en la. Estos son los temas que se presentan en el artículo titulado **Instrumentos**



basados en IA para la construcción del marco teórico y estado del arte.

Neuroestética: proceso cognitivo del arte. ¿Puede una apreciación estética alterar nuestras emociones? es el nombre del artículo en el que se presenta cómo se ha determinado la existencia en el cerebro del concepto de la belleza con el uso de la resonancia magnética funcional que nos permite analizar los mecanismos neurofisiológicos de los procesos mentales asociados con las emociones que se producen por la observación de obras estéticas.

La Biometría es una tecnología emergente considerada de gran importancia para resolver los problemas asociados a la seguridad electrónica que se basa en la adquisición de datos que se obtienen a partir de las características físicas o de los comportamientos de los individuos para su comparación con la información almacenada en una base de datos para validar la identidad cuando existen coincidencias. Este es el tema que será desarrollado en el artículo titulado **Biometría por detección de luz infrarroja en reflexión y transmisión**

En la UAMI se han desarrollado Chatbots para diferentes proyectos con el objetivo de apoyar al alumnado tanto en procesos administrativos como en atención a emergencias. También se han realizado proyectos de este tipo para apoyar el proceso de enseñanza-aprendizaje encontrando que estas tecnologías se pueden incorporar de manera muy sencilla en modalidades de enseñanza presencial, mixta o semipresen-

cial, virtual o en línea y a distancia. Esta es la temática que se presenta en el artículo titulado **Chatbots Educativos en UAMI: una familia abierta al tiempo.**

El artículo llamado **IntraNet Comunitaria UAMI: una alternativa de conectividad** presenta el trabajo que han venido realizando un grupo de profesores del Área de Redes y Telecomunicaciones para reducir el problema de la “brecha digital” que afecta a las comunidades alejadas en zonas rurales. La solución propuesta por los investigadores es el desarrollo de IntraNets comunitarias con ayuda de un sistema denominado Modular System Network Iztapalapa (MoSyNetI). La IntraNet Comunitaria UAMI es adaptable a las condiciones de cada comunidad y ha sido implementado en poblaciones dentro del territorio nacional y de Guatemala.

De la misma forma en que reconocemos las bondades de la tecnología debemos tener en cuenta los riesgos que vamos a encontrar en su uso así como las medidas que debemos tomar para prevenir dichos riesgos. Estos son los temas que se presentan en el artículo titulado. **El peligro de la suplantación de identidad por medio de audio.**

Esperamos que los temas que se abordan en estos artículos de divulgación resulten interesantes y sean una motivación para ahondar en sus contenidos.

*M. C. Omar L. Cabrera Jiménez
Jefe del Departamento
de Ingeniería Eléctrica*

Información para autores

Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería, Revista dirigida a profesores y a estudiantes de estas disciplinas.

Está registrada en el índice de revistas de divulgación de Conacyt, así como en Latindex, Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal.

Para publicar, los trabajos deberán ser originales y accesibles a un público amplio con formación media superior o universitaria pero no especializada; los temas deberán presentarse en forma clara. Cada colaboración debe incluir figuras, diagramas, ilustraciones, fotografías, etc. (otorgando el crédito correspondiente en caso de no ser original), que hagan más accesible la presentación.

Las secciones que la constituyen son:

- 1. Divulgación.** Artículos que presentan temas científicos con enfoques novedosos y accesibles (15 cuartillas).
 - 2. Educación científica.** Enfoques originales en la enseñanza de temas particulares (15 cuartillas).
 - 3. Artículos especializados.** Reportes breves de investigación, relacionados con una problemática concreta (15 cuartillas).
 - 4. Crónicas.** Historia y desarrollo de conceptos científicos, así como teorías alternativas (15 cuartillas).
 - 5. Divertimentos.** Juegos y acertijos intelectuales (5 cuartillas).
 - 6. Noticias breves.** Información de actualidad en el mundo de la ciencia (4 cuartillas).
 - 7. Los laureles de olivo.** Los absurdos de la vida cotidiana y académica (4 cuartillas).
- En todos los casos se debe incluir los nombres completos de los autores con su adscripción, dirección, teléfono y dirección de correo electrónico.

Normas

Las colaboraciones a las secciones 1 a 4 deberán ajustarse a las siguientes normas:

1. Resumen escrito en español e inglés.
2. 4 palabras clave en español en inglés.
3. Cuando se incluya una abreviatura debe explicarse por una sola vez en la forma siguiente: Organización de los Estados Americanos (OEA). . .
4. Cuando se utilice un nombre técnico o una palabra característica de una disciplina científica deberá aclararse su significado de la manera más sencilla posible.

5. Las citas textuales deberán ir de acuerdo al siguiente ejemplo: En cuanto la publicación del placebo se asevera que “el efecto placebo desapareció cuando los comportamientos se estudiaron en esta forma” (Núñez, 1982, p.126).

6. Las referencias (no más de 10) se marcarán de acuerdo al siguiente ejemplo: Sin embargo, ese no es el punto de vista de la Escuela de Copenhague (Heisenberg, 1958), que insiste en. . .

7. Al final del artículo se citarán las referencias por orden alfabético de autores. Pueden añadirse lecturas recomendadas (no más de 5).

8. Cada referencia a un artículo debe justarse al siguiente formato: Szabadvary, F. y Oesper, E., Development of the pH concept, J. Chem. Educ, 41 [2], pp.105 -107, 1964.

9. Cada referencia a un libro se ajustará al siguiente formato: Heisenberg, W., Physics and Philosophy. The Revolution in Modern Science, Harper Torchbook, Nueva York, pp.44-58, 1958.

10. Para páginas electrónicas: dirección (fecha de acceso).

11. Los títulos de reportes, memorias, etcétera, deben ir subrayados o en itálicas.

Envío y características del artículo

El envío del artículo deberá ser en archivo electrónico, en Word, tipo de letra Times New Roman, tamaño 12 con interlineado sencillo y uso de editor de ecuaciones.

En el caso de ilustraciones por computadora (BMP, JPG, TIFF, etc.) envíelos en archivos por separado. El material es recibido en:

Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería.

UAM – Iztapalapa, T144,

Información: cts@xanum.uam.mx,

Tel. 5804-4600. Ext. 1144.

Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco 186.

C.P. 09310

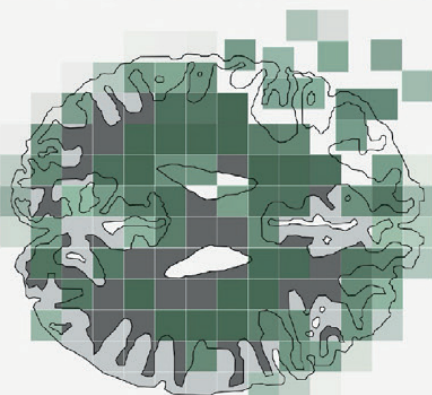
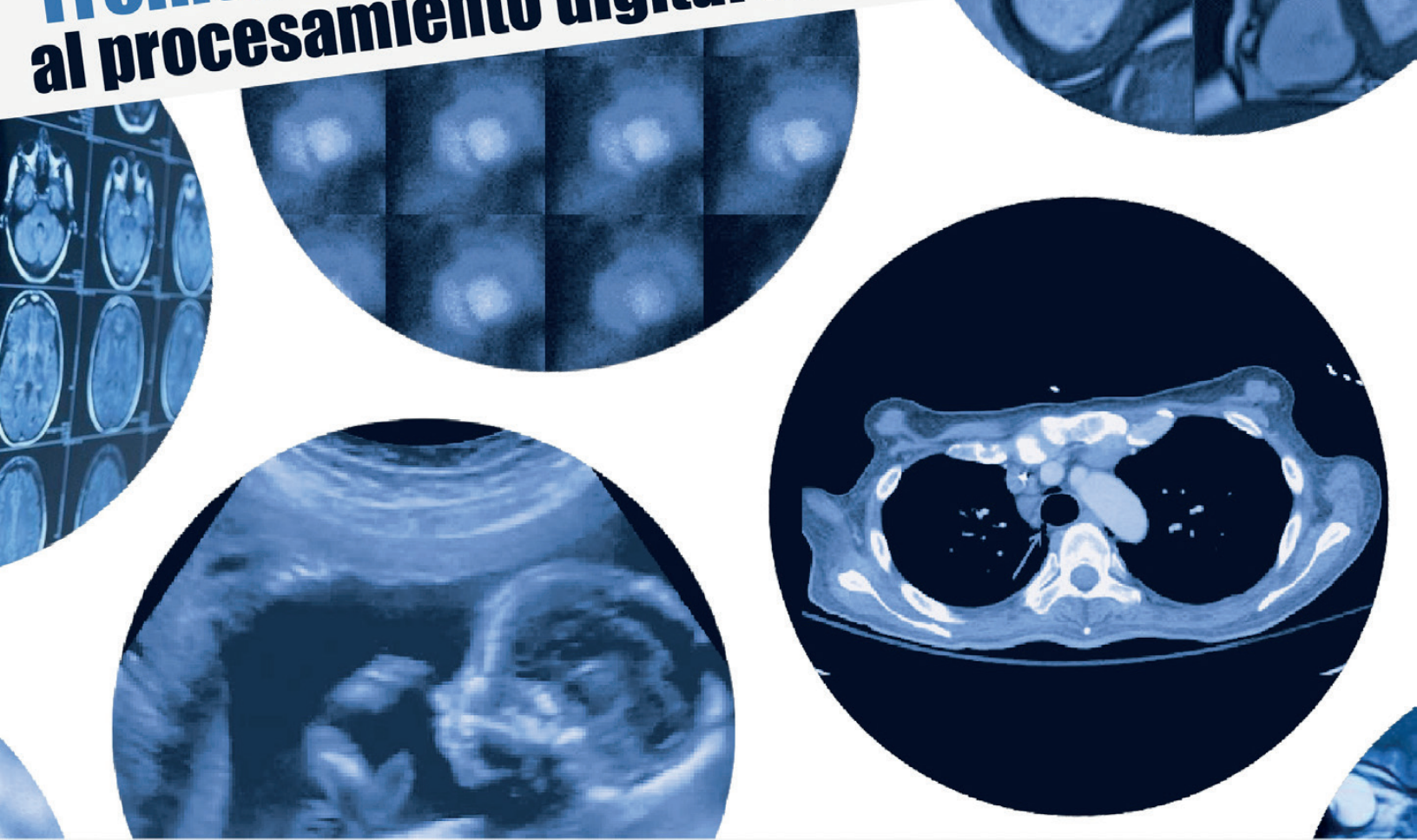
Arbitraje

El Comité utiliza un sistema de arbitraje anónimo que requiere un mes. Se entiende que los autores no han enviado su artículo a otra revista y que dispondrán de un plazo máximo de un mes para incorporar las observaciones de los árbitros.

La decisión final de publicar un artículo es responsabilidad exclusiva del Comité Editorial.



Treinta años aplicando ciencia de datos al procesamiento digital de imágenes médicas



LINI
laboratorio de
neuroimagenología

Juan Ramón Jiménez Alaniz
Verónica Medina Bañuelos
Raquel Valdés Cristerna
Oscar Yáñez Suárez

Abstract

Computer-aided diagnostic systems have been commonplace even before the term *data science* was coined. Among these systems, those involved with medical image analysis are challenging, as they require multivariate statistical modelling and effective classification schemes. Always close to the medical experts at the National Institutes of Health and other clinical settings, the Neuroimaging Laboratory at UAM Iztapalapa has dedicated over thirty years of research and development to this subject. That experience is recounted in this paper.

Keywords: Data science, digital image processing, medical imaging

Resumen

Los sistemas de diagnóstico asistido por computadora han existido incluso desde antes de que se acuñara el término *ciencia de datos*. Entre estos sistemas, los relacionados con el análisis de imágenes médicas son especialmente desafiantes, ya que requieren modelado estadístico multivariado y esquemas efectivos de clasificación. Siempre en estrecha colaboración con expertos médicos en los Institutos Nacionales de Salud y otros entornos clínicos, el Laboratorio de Investigación en Neuroimagenología de la UAM Iztapalapa ha dedicado más de treinta años de investigación y desarrollo a este tema. Esta experiencia se detalla en el presente artículo.

Palabras clave: Ciencia de datos, procesamiento digital de imágenes, imágenes médicas

Introducción

El Laboratorio de Investigación en Neuroimagenología (LINI), está integrado por Juan Ramón Jiménez Alaniz, Verónica

Medina Bañuelos, Raquel Valdés Cristerna, Oscar Yáñez Suárez, y un sinnúmero de alumnos y ex-alumnos de diversas licenciaturas y posgrados de la UAM Iztapalapa y otras instituciones nacionales y extranjeras de educación superior. Perteneció al Área de Procesamiento Digital de Señales e Imágenes Biomédicas del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería.

En tres décadas de existencia, el grupo ha dedicado sus esfuerzos de investigación al tratamiento y al análisis de imágenes y señales biomédicas. Aunque en un inicio y durante varios años nuestro interés se ha centrado en trabajar con imágenes de resonancia magnética (IRM) para la exploración de estructuras cerebrales, la presencia del grupo en diversas instituciones de salud y las colaboraciones que fueron suscitándose en consecuencia, lo llevaron a abordar otros ámbitos del diagnóstico clínico por imagen:

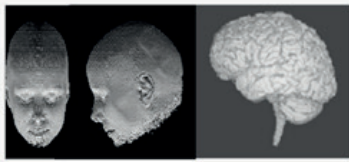
- El estudio de las vías aéreas superiores, en particular para la valoración de la estenosis traqueal a partir de la tomografía axial computada por rayos X (TAC)
- La valoración de la contractilidad cardíaca mediante modelos de series de tiempo de las secuencias de imágenes de ventriculografía radioisotópica en equilibrio (VRIE)
- El perfilado del curso normal o patológico del embarazo desde la perspectiva del desarrollo fetal, mediante ultrasonografía (US) 2D y 3D
- En un sentido general, para el abordaje de todos estos problemas se ha partido

Línea de tiempo

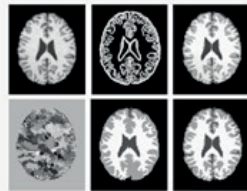


LINI
laboratorio de
neuroimagenología

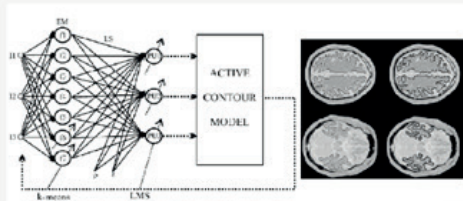
1994



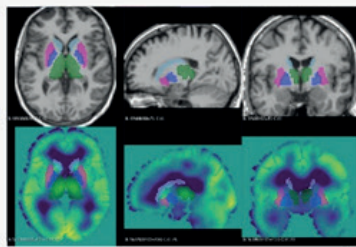
A



B

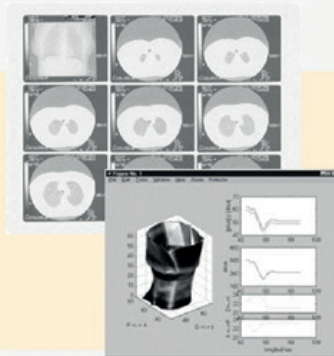


C



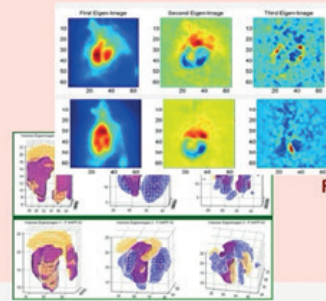
D

2000



E

2006

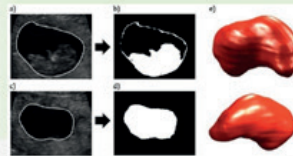


F

2014



H



G



de un marco referencial que contempla: (i) el modelado estadístico de los datos, usualmente multivariados, para hacer (ii) inferencias de utilidad clínica mediante modelos de clasificación asociados al aprendizaje maquinal. Por ello, la *ciencia de datos*¹ ha sido el hilo conductor de toda la investigación.

En este texto, hacemos un recorrido por el trabajo que hemos desarrollado en esta dirección. La *Línea de tiempo* que se muestra en la figura es la referencia temporal de lo logrado y lo que nos ocupa hoy. Por restricciones de espacio, hemos reducido las referencias a una decena clave, pero el lector interesado puede consultar el listado completo de publicaciones del grupo relativas a imágenes médicas, en la dirección electrónica <http://itzamna.izt.uam.mx>.

Imágenes Cerebrales

El tratamiento de imágenes se volvió la tarea esencial del Laboratorio a finales de los noventas y la vuelta del siglo, con los trabajos iniciales sobre segmentación robusta -tolerante a las inhomogeneidades del campo principal del resonador- de imágenes de RM a cargo de la Dra. María Garza (Garza-Jinich et al. 1999), la incursión en la visualización tridimensional del cerebro segmentado por parte de la Dra. Norma Pilar Castellanos (Castellanos- Abrego et al. 2004) y las entonces aún incipientes colaboraciones clínicas con el Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía, gracias al interés de la Dra. Josefina Gutiérrez y el Dr. Luis Mario Igartúa, o las primeras exploraciones del deterioro cognitivo desde la perspec-

tiva imagenológica con el grupo de neuropsicología de la Dra. Feggy Ostrosky en la UNAM. De hecho, las primeras tesis de posgrado en tratamiento de imágenes surgidas del LINI son resultado de los trabajos mencionados (ver Línea de Tiempo (A) que muestra algunas de las primeras reconstrucciones 3D). Con estas primeras incursiones quedaba claro que los esfuerzos del Laboratorio en el tema, estarían ceñidos al uso de modelos estadísticos de los datos de imagen y en consecuencia al *aprendizaje maquinal*² y a la *visualización por computadora*.

Utilidad clínica de la IRM

La IRM es una herramienta fundamental en el diagnóstico clínico, pues ofrece una visión sin igual de la estructura y función del cuerpo humano, y en particular del cerebro. Su naturaleza no invasiva, sin radiación ionizante, junto con su capacidad para realizar un contraste excepcional de tejidos blandos, la convierten en indispensable en diversas especialidades médicas. Desde detectar anomalías anatómicas hasta evidenciar enfermedades cardiovasculares o tumores, la IRM proporciona imágenes clave para el diagnóstico clínico y la planificación del tratamiento correspondiente. Adicionalmente, avances como la IRM funcional (IRMf) permiten la evaluación de la actividad cerebral, mejorando nuestra comprensión de los trastornos neurológicos.

Segmentación de IRM

Procesar y analizar la información de un estudio de IRM impone diversos retos, pues la información es multidimensional

¹ Campo interdisciplinario que emplea métodos, procesos y sistemas de las matemáticas y la computación para extraer conocimiento a partir de muestras de datos de un fenómeno

² Campo de estudio que permite a las máquinas hacer predicciones de un fenómeno a partir de muestras de datos del mismo, sin ser explícitamente programadas

y de gran volumen de datos. Para hacerlo, es indispensable el uso de recursos de cómputo y el diseño e implementación de algoritmos diversos.

Estimación de densidad multivariada y corrimiento de media

Las colaboraciones de aquellos años con el Dr. Peter Meer, entonces en la Universidad de Rutgers, EUA, fueron la semilla del diseño de un método clave de segmentación automática de imágenes de resonancia magnética basado en un modelo Bayesiano no paramétrico de densidad de probabilidad multivariada, el filtrado espacial robusto -insensible a bordes- y modelos elementales de probabilidades previas obtenidos a partir de mapas probabilísticos de dominio público. Desde la perspectiva algorítmica básica del tratamiento de imágenes de resonancia, la segmentación por *corrimiento de media* y otras extensiones asociadas, ha sido una contribución clave del grupo al campo, a partir de la tesis doctoral del Dr. Juan Ramón Jiménez (Jimenez-Alaniz et al. 2006).

La segmentación por corrimiento de media (ver Línea de Tiempo (B)) es un procedimiento en dos pasos: los píxeles de la imagen (fila superior, imagen izquierda), considerados datos en un espacio 3D (dos coordenadas espaciales, una coordenada de intensidad) son tratados como realizaciones de una función de densidad desconocida, cuyas modas se determinan mediante métodos numéricos que consideran si un píxel está cerca o lejos de un borde entre regiones (fila superior, imagen central). En las iteraciones del método, los datos se van “corriendo” hacia las modas locales de la densidad. La imagen original, sustituyendo la intensidad de cada píxel por la intensidad de su moda local

(fila superior, imagen derecha) es una versión filtrada de la original, con excelente preservación de bordes. Regiones diferentes de la imagen quedan asociadas a una moda local distinta (fila inferior, imagen izquierda), que al combinarse con la información de *atlas probabilísticos cerebrales* (distribuciones espaciales de probabilidad del tipo de tejido) genera estimados de probabilidad de tejido entre materia blanca, materia gris y líquido cefalorraquídeo (fila inferior, imagen central), con los cuales se forma la imagen segmentada final (fila inferior, imagen derecha).

Aprendizaje maquinal para imágenes multiespectrales

Concurrentemente con el desarrollo del modelo de corrimiento de media, el grupo se adentró en los modelos de mezclas de Gaussianas y su combinación con clasificadores lineales, con la Dra. Raquel Valdés liderando el desarrollo de segmentadores multiclase para imágenes multiespectrales de resonancia, que culminó con su tesis doctoral (Valdes-Cristerna et al. 2004). La experiencia de estos desarrollos nos permite hoy en día concebir con comodidad a las imágenes médicas como realizaciones de modelos estocásticos multivariados, que son la esencia de la ciencia de datos.

Para la segmentación multiespectral (ver Línea de Tiempo (C)), los datos son vistos como realizaciones de una densidad desconocida con dominio en 3D, donde cada dimensión corresponde a la intensidad de imagen (I1-I3) en una de tres diferentes modalidades de adquisición, a saber, secuencias T1, T2 y Flair. La información multiespectral se utiliza en un modelo de clasificación no lineal (red neuronal de funciones de base radial, RBFNN) que

en esencia modela la densidad con una mezcla de Gaussianas y estima las probabilidades posteriores de materia blanca, materia gris y líquido cefalorraquídeo usando discriminantes lineales. La segmentación producida por la RBFNN determina el término de restricción para una ecuación diferencial que modela un contorno activo de splines cúbicos, cuya configuración de equilibrio se espera determine el contorno de interés. La regla de aprendizaje en este modelo adapta, secuencial e iterativamente, los parámetros de la red y del contorno hasta alcanzar la configuración de equilibrio.

Aplicaciones

Teniendo a la mano métodos confiables de segmentación, el paso lógico hacia las aplicaciones era explorar medidas anatómicas o funcionales útiles que pudieran obtenerse a partir de dichas segmentaciones. Así nos dimos a la tarea de construir tanto modelos físicos para calibración, como modelos de geometría computacional basados en la *compacidad discreta*³. El grupo se ha dedicado las últimas dos décadas al establecimiento de aplicaciones clínicas y tecnológicas a partir de los métodos desarrollados previamente y la incorporación de nuevas propuestas. Del lado tecnológico, por ejemplo, se ha incursionado en el diseño de hardware digital para el tratamiento de stacks de IRM, así como en modelos de aplicación en software como plugins, visualizadores en la nube y reconocedores- segmentadores automáticos para múltiples modalidades de imagen médica basados en redes neuronales profundas.

En cuanto a la clínica basada en imagen cerebral, el trabajo predominante ha sido en relación a establecer la evolución del deterioro cognitivo (Perez-Gonzalez et al. 2014b). La estrategia general ha sido la combinación de métricas obtenidas del análisis de imágenes (compacidad discreta, volumen normalizado, *tortuosidad*⁴) con otros marcadores, dentro de modelos de clasificación binaria, típicamente *máquinas de soporte vectorial*⁵ (SVM), para distinguir entre el envejecimiento normal y el patológico (Barbará-Morales et al. 2020) e incluso se ha explorado la extensión de estas ideas al estudio de otras condiciones neuropatológicas y daño cerebral adquirido, o a otras modalidades de imagen, como tomografía por emisión de positrones (PET), para la valoración de Parkinson (ver Línea de Tiempo (D)).

Imágenes de Vías Respiratorias Inferiores

Hacia finales de la década de los 90, se presentó al grupo el reto de caracterizar la condición de estenosis traqueal como consecuencia de procedimientos de intubación prolongada, crecimiento de tumores o bien algún traumatismo. La necesidad se planteó desde el Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias en donde la valoración clínica de tales casos requería de la observación directa de las imágenes TAC por parte del especialista y de su juicio crítico sobre la valoración de la severidad de la estenosis así como su extensión.

Estenosis traqueal

El aparato respiratorio se encarga de tomar oxígeno del ambiente a través de las

³ Medida que evalúa el grado de proximidad o agrupación de los vóxeles de un volumen segmentado

⁴ Medida que evalúa los cambios de curvatura de un contorno o superficie

⁵ Algoritmo de aprendizaje maquina utilizado para la clasificación y regresión que encuentra hiperplanos óptimos en espacios multi- dimensionales

fosas nasales o boca y conducirlo hasta los pulmones; para ello, las vías respiratorias se dividen en dos secciones: las superiores integradas por la boca, fosas nasales, faringe y una porción alta de laringe, y las inferiores que se ubican por debajo de las cuerdas vocales como la porción baja de la laringe, tráquea, bronquios y pulmones.

La tráquea constituye una estructura en forma tubular cuya gran área transversal permite la entrada masiva del flujo aéreo. Cualquier circunstancia que reduzca la "luz" de dicho tubo se declara como estenosis traqueal. Caracterizar la estenosis u obstrucción traqueal requiere del aislamiento de la estructura traqueal del resto de los órganos y poder valorar su morfología. Desde el abordaje del procesamiento digital de imágenes, este aislamiento requiere de la segmentación de la región de la tráquea para buscar su reconstrucción tridimensional independiente del resto de la información contenida en la serie de imágenes y con ello buscar la descripción de su morfología.

Segmentación de TAC traqueal

En las imágenes TAC, las cavidades o vías con aire, no absorben la radiación por lo que los píxeles correspondientes se codifican con tonos de gris muy oscuros, el tejido óseo absorbe una gran cantidad de radiación y los píxeles se codifican en tonos de gris muy claros, el tejido blanco que corresponde a los recubrimientos pulmonares y mediastino se codifican en tonos de gris medios o medios claros.

En la segmentación de imágenes de TAC de tórax, particularmente en la segmentación de vías aéreas, la técnica que se utilizaba con frecuencia, en ese momento era la de umbralización de los niveles de gris.

Trabajos posteriores retomaron el tema del umbral en estrategias de segmentación por crecimiento de regiones, algunos autores incluían eventualmente criterios adicionales para lograr la segmentación completa del árbol aéreo o de algunas porciones de él, criterios como conectividad de la estructura segmentada o distancia a la semilla. Las imágenes utilizadas mayormente reportadas en la literatura eran TAC helicoidales, modalidad que permitía generar una reconstrucción tridimensional de buena calidad, sin embargo esta tecnología no se encontraba disponible para cualquier centro hospitalario. Para resolver la incertidumbre en la segmentación justo en el borde de la vía aérea con el tejido blando circundante, se propusieron modelos de clasificación para incorporar información contextual a priori y con ello ayudar a la determinación de la localización de bordes y la consecuente estimación del diámetro transversal de la vía. Pocos autores abordaron el problema modelando la segmentación como una detección de borde continuo de las vías aéreas.

El grupo planteó una reformulación del método de los contornos activos (*snakes*) para la segmentación de bordes continuos en imágenes, incorporando al modelo mismo una interpolación con splines cúbicos. Se propuso la formulación para bordes en 2D y 3D, incorporando como términos externos al contorno o superficie activos la información del mapa de bordes construido con el filtro de Canny sobre las imágenes o volúmenes en estudio y minimizando el término de energía del contorno o superficie activos mediante métodos numéricos (Valdes-Cristerna et al. 2003). Para la aplicación de la detección del borde o superficie interna traqueal con esta propuesta, se generó un procedimiento

para inicializar el modelo a partir del procesamiento de las imágenes de TAC: detección de bordes, *binarización*⁶ de bordes, clasificación y muestreo regular de puntos que forman parte del borde (ver Línea de Tiempo (E), que muestra diversos cortes de TAC, contornos inicial (blanco) y final (gris), así como modelo 3D de superficie de la reconstrucción.).

Los modelos de contornos o superficies activos con *interpolación spline cúbica* han sido aplicados posteriormente por el grupo a problemas de segmentación de cavidades cardíacas en imágenes ecocardiográficas y por resonancia magnética.

Imágenes Cardíacas

En el Departamento de Cardiología Nuclear del Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez se inició investigación para tratar de obtener información cardio-funcional que permitiera establecer un mejor pronóstico de la respuesta de un candidato a terapia de resincronización cardíaca, procedimiento necesario en algunos casos de insuficiencia. En el año de 2006 se inició una colaboración entre LINI y dicho Departamento, para tratar de caracterizar la dinámica de los patrones sanos y alterados de contracción cardíaca.

Insuficiencia cardíaca

La insuficiencia cardíaca (IC) es una condición crítica de salud que desde hace varias décadas contribuye con un índice altísimo de morbi-mortalidad en México y en el mundo. Muchos de quienes la sufren desarrollan trastornos de la conducción eléctrica que ocasionan asincronía de la contracción ventricular, lo que deriva en un

agravamiento de la disfunción ventricular izquierda. La Asociación Americana de Cardiología ha propuesto una clasificación funcional en cuatro estratos o clases que ayudan a elaborar un pronóstico de la condición de salud del cardiópata y se utiliza como criterio decisivo en la elección de determinadas intervenciones terapéuticas, tanto médicas como quirúrgicas. En casos de IC avanzada, el uso de dispositivos resincronizadores cardíacos han mostrado su utilidad, mejorando la clasificación funcional del paciente y la disminución de síntomas, sin embargo, ha sido documentado que el 30 % de los pacientes con un resincronizador cardíaco no responden al tratamiento, ni muestran mejoría.

Descomposición de series de tiempo de contracción

Se planteó una metodología de análisis de imágenes de ventriculografía radioisotópica en equilibrio (VRIE) planares que inicia con una etapa de preprocesamiento para reducir el ruido propio de las imágenes de medicina nuclear, se generan la *imagen de fase* de contracción y su histograma, a partir del primer armónico de la serie de Fourier de las VRIE. Esta evaluación del estudio VRIE es una referencia en el estudio del análisis de contracción cardíaca con imágenes de medicina nuclear. La innovación propuesta fue realizar la descomposición en los “modos” dinámicos del flujo sanguíneo observado en las imágenes llamada análisis de factores de estructuras dinámicas (AFED), que permitió generar *imágenes factoriales de fase*⁷ que resaltan patrones espaciales de contracción cardíaca (ver Línea de Tiempo (F), que muestra imágenes principales e imágenes

⁶ Método de procesamiento de imágenes que clasifica píxeles según un umbral predefinido, asignándoles un valor binario (por ejemplo, blanco o negro) basado en si superan o no ese umbral.

⁷ Proyecciones de las VRIE al espacio de componentes principales ⁷Proyecciones de las VRIE al espacio de componentes principales

de factores para diversas condiciones).

A partir de la información obtenida del AFED para un grupo control de sujetos con un patrón sano de contracción cardiaca, fue posible ajustar un modelo estadístico considerando los tres factores principales, que explicaban más del 95 % de la variabilidad de los datos. Con este modelo de referencia fue calculado el valor de su máxima verosimilitud, mismo que fue usado como criterio para comparar los patrones de contracción cardiaca de pacientes con miocardiopatía dilatada y con bloqueo completo de la rama izquierda del haz de His (Jimenez-Angeles et al. 2009).

Cabe señalar que la metodología propuesta fue probada inicialmente con imágenes de un robot mecánico y con imágenes creadas a partir de un simulador de imágenes VRIE sintéticas, en el que es posible ajustar la fracción de eyección del ventrículo izquierdo, la frecuencia cardiaca y la actividad de fondo. La metodología se extendió al análisis de imágenes tridimensionales VRIE-SPECT confirmando los hallazgos previos. En este trabajo se compararon los patrones de contracción de un grupo control con un grupo de pacientes con hipertensión arterial pulmonar (HAP). Los tres primeros factores de estructuras dinámicas resultaron suficientes para distinguir un patrón de contracción anormal en el grupo de los HAP.

Clasificación del grado de asincronía

Con los resultados obtenidos, se propuso obtener una clasificación de la severidad de la asincronía de contracción cardiaca, a partir del AFED e incorporando al modelo la información clínica como la frac-

ción de eyección del ventrículo izquierdo (FEVI), la duración del complejo QRS y la duración del intervalo PR. Se empleó una SVM para clasificar cada caso de estudio en asincronía severa, asincronía moderada y asincronía ligera; empleando este mismo sistema fueron evaluados algunos pacientes seis meses después de la terapia de resincronización cardiaca. Sólo uno de ellos mostró en las imágenes subsecuentes un cambio en el patrón de contracción suficiente para cambiarlo de la clase inicial de asincronía moderada a la clase de asincronía leve. Una mejora a esta metodología de clasificación se logró al proponer dos esquemas de clasificación en cascada emulando el proceso de valoración clínica, una primera etapa para determinar si existe o no disincronía de contracción y una segunda capa para determinar si la disincronía es severa o moderada (Santos-Diaz et al. 2017).

Imágenes Fetales

El monitoreo del desarrollo fetal durante la gestación es un proceso de gran relevancia clínica, por las implicaciones que tiene en la posterior morbi-mortalidad infantil y durante toda la vida. La prevención de complicaciones durante el embarazo ha ocupado a especialistas de gineco-obstetricia y perinatología para el diseño de curvas de crecimiento fetal, índices e instrumentos de monitoreo y predicción del estado de salud materno-fetal. Una de las técnicas más útiles para la cuantificación de diversos indicadores de crecimiento es la imagenología por ultrasonido, que representa una modalidad no invasiva, aplicable en todas las etapas del embarazo y que proporciona valiosa información sobre la anatomía y funcio-

⁷ Proyecciones de las VRIE al espacio de componentes principales

namiento de las estructuras fetales. Es por ello que el grupo del LINI ha venido colaborando desde el 2014 con el Instituto Nacional de Perinatología (Dres. Lisbeth Camargo y Mario Guzmán) y con la Universidad Nacional Autónoma de México, (Dres. Fernando Arámbula y Jorge Luis Pérez), para el desarrollo de sistemas de cuantificación de índices fetales a partir de imágenes de ultrasonido, en diferentes etapas de la gestación, a partir de los requerimientos de los expertos clínicos para apoyo a su diagnóstico.

Mediciones en primer trimestre: Volumen del saco gestacional

Se emplearon snakes para la segmentación del saco gestacional (SG) diseñando así un método semiautomático, donde se delimita primero una región de interés, que contiene al SG y se selecciona el corte medio para trazar manualmente un contorno cercano; el contorno activo se ajusta en este corte y esta segmentación se utiliza como inicialización en los cortes vecinos, propagando así el contorno segmentado en una dirección. Posteriormente, se rota el volumen para repetir el procedimiento en la proyección axial. La unión de las dos segmentaciones se utiliza para complementar la información de los bordes del SG. (ver Línea de Tiempo (G))

Mediciones en segundo trimestre: Fetometrías

Determinación del diámetro biparietal y la circunferencia craneal

Se desarrolló un método de segmentación semiautomático del cráneo fetal en imágenes de ultrasonido, con la finalidad de determinar el diámetro biparietal (DBP) y la circunferencia craneal (CC) fetales,

de manera mínimamente dependiente del usuario. La estrategia general consiste en modelar el cráneo del feto como una elipse y determinar la CC como el perímetro de ésta y el DBP como la longitud del eje menor. La segmentación se realizó mediante la combinación de un método de crecimiento de regiones, con la colocación automática de la semilla, y una binarización de la imagen original. Posteriormente, las coordenadas polares de los píxeles activos fueron convertidas a coordenadas cartesianas para seleccionar solo aquellos que se encuentren dentro de un intervalo de radios predefinido. Se aplicó un filtro máximo a la imagen binaria y mediante las coordenadas de los píxeles activos restantes se realizó el ajuste de una curva mediante el método de mínimos cuadrados (Perez-Gonzalez et al. 2014a).

Determinación

de la Circunferencia Abdominal

Para la segmentación del abdomen se hizo uso de una metodología similar a la empleada para segmentar el cráneo, pero la circunferencia abdominal (CA) se modeló mediante una circunferencia en lugar de una elipse. Primero se calcularon los mapas de *textura*⁸ de entropía, rango y varianza para la obtención de una imagen de norma infinita de estos mapas. Se binarizó la imagen original con un umbral bajo, con el fin de enmascarar el resultado de la imagen de la norma infinita. Esta imagen se segmenta mediante un método de crecimiento de regiones con la colocación automática de la semilla y el resultado es filtrado mediante un filtro máximo. La imagen binaria obtenida es utilizada para enmascarar la imagen original. En la ima-

⁸ Distribución espacial de descriptores de textura en la imagen

gen enmascarada obtenida se realiza una detección de bordes y una binarización. Se utiliza el método de mínimos cuadrados para el ajuste de una circunferencia a las coordenadas polares de los píxeles activos dentro de un rango predefinido.

Determinación automática de la longitud del fémur

Se desarrolló un método de segmentación automática del fémur en imágenes de ultrasonido fetal, con el propósito de realizar la medición automática de la longitud femoral como parte de un sistema de fetometría automática. El método consta de una etapa de pre-procesamiento para obtener regiones más homogéneas y resaltar la estructura del fémur, que a su vez consiste de cuatro procesos: primero se hace uso de un filtro de realce de información, el cual mejora el contraste y reduce el ruido conservando los bordes de las estructuras; posteriormente, se realiza una ecualización del histograma de la imagen con el fin de aumentar el contraste entre las diferentes estructuras que se encuentran en la imagen; a continuación, se hace uso de morfología matemática en escalas de grises, mediante una operación de apertura con un elemento estructural de disco de 25 píxeles, cuyo tamaño se eligió mediante un análisis cualitativo del ancho del fémur en las imágenes de calibración; para finalizar, a la imagen obtenida de la apertura en escalas de grises se le sustrae la imagen obtenida mediante la ecualización del histograma, con el fin de eliminar todas aquellas estructuras brillantes que tengan un ancho mayor a la estructura del fémur. La segmentación del fémur es realizada mediante una binarización por el método Otsu y operaciones morfológicas binarias, a la que después se le aplica una operación de apertura con un elemento es-

tructural cuadrado de 9 píxeles con el fin de limpiar la imagen. Posteriormente, se etiquetan todas las regiones remanentes y se les asigna una métrica normalizada, basada en cuatro parámetros: intensidad, entropía, distancia de la base de la base del transductor al centroide y longitud de la región. La región que presenta una métrica mayor que las demás es elegida como la región femoral. Para realizar la medición de la longitud del fémur se realizó un adelgazamiento de la región segmentada a una estructura de un píxel de ancho. Asumiendo que la estructura no tiene cambios bruscos en la curvatura de su morfología, se obtiene la longitud del fémur como la medición de la distancia que existe entre los puntos extremos de la estructura (ver Línea de Tiempo (H)).

Imágenes de tercer trimestre: Composición de imágenes de ultrasonido

Durante etapas avanzadas del embarazo, el grosor del cráneo fetal obstruye las ondas acústicas emitidas por la sonda del ultrasonido, bloqueando la vista de las estructuras que se encuentran detrás de las regiones del cráneo engrosadas. Para mejorar la visibilidad del cerebro fetal, se desarrolló un método para la generación de una imagen compuesta con información obtenida de diferentes vistas del mismo plano anatómico. Se utiliza una SVM para calcular los pesos de cada píxel en cada vista, con base en la intensidad, entropía y varianza de la región.

Para realizar la composición de imágenes, primero se obtienen imágenes de ultrasonido de la región que se desea analizar, en diferentes vistas. Posteriormente, estas imágenes son registradas en un sistema de coordenadas global, mediante un regis-

tro rígido de puntos fiduciaros y se calcula el nivel de intensidad de gris que mejor representa la anatomía. La fusión de las imágenes se realiza mediante una composición espacial probabilística, donde cada imagen es modulada por un peso. El método aprende los pesos de una manera supervisada, haciendo uso de imágenes anotadas con dos clases: cerebro y regiones con sombras. Se realiza una extracción y selección de características y el cómputo de probabilidades posteriores haciendo uso de un clasificador para obtener la estimación de los pesos. Para la extracción de características, se obtienen diferentes descriptores de textura en la imagen mediante el uso del histograma (varianza, entropía y la media de las intensidades de niveles de gris) y la matriz de co-ocurrencia (energía, entropía, homogeneidad y contraste). Estas características son utilizadas para clasificar los píxeles como cerebro o sombra acústica mediante una SVM. En lugar de realizar una predicción de etiquetas para cada píxel, se calcula la probabilidad de un dato a pertenecer al tejido cerebral, utilizando este valor como el peso de cada píxel para formar la imagen combinada (Perez-Gonzalez et al. 2018).

Actualmente continuamos en el desarrollo de técnicas y aplicaciones para la valoración del bienestar fetal en colaboración con el Instituto Nacional de Perinatología, aplicando técnicas de aprendizaje profundo para detectar automáticamente los planos estándar para posteriormente realizar las fetometrías en embarazos de segundo y tercer trimestre. El objetivo a mediano plazo es la realización automática de fetometrías, la estimación del peso y talla fetal con la combinación de información imagenológica, parámetros étnicos y clínicos parentales.

Conclusión

Durante varias décadas, el LINI ha aplicado métodos de procesamiento digital de señales, modelado estadístico de datos y técnicas de clasificación empleando aprendizaje maquina, para el diseño de soluciones a necesidades clínicas de diagnóstico cuantitativo. La colaboración entre los integrantes del grupo y expertos clínicos de instituciones de salud y de otras universidades y centros de investigación, ha permitido una producción científica sostenida y, sobre todo, la formación de decenas de jóvenes a nivel licenciatura, maestría y doctorado. Ha sido, en suma, una colaboración fructífera y armoniosa.

Referencias

Barbará-Morales, Eduardo, Perez-Gonzalez, Jorge Luis, Rojas-Saavedra, Karla y Medina-Banuelos, Veronica (2020). «Evaluation of Brain Tortuosity Measurement for the Automatic Multimodal Classification of Subjects with Alzheimer's Disease». En: *Computational Intell. and Neuroscience 2020*, págs. 1-11. doi: 10.1155/2020/4041832.

Castellanos-Abrego, Norma Pilar, Del Angel, Pedro Luis y Medina-Banuelos, Veronica (nov. de 2004). «Nonrigid medical image registration technique as a composition of local warpings». En: *Pattern Recognition 37*, págs. 2141-2154. doi: 10.1016/j.patcog.2003.09.019.

Garza-Jinich, Maria, Meer, Peter y Medina-Banuelos, Veronica (1999). «Robust retrieval of three-dimensional structures from image stacks». En: *Medical Image Analysis 3.1*, págs. 21-35. issn: 1361-8415. doi: [https://doi.org/10.1016/S1361-8415\(99\)80014-0](https://doi.org/10.1016/S1361-8415(99)80014-0). url: <https://>

www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361841599800140.

Jimenez-Alaniz, Juan Ramón, Medina-Banuelos, Veronica y Yanez-Suarez, Oscar (2006). «Data-driven brain MRI segmentation supported on edge confidence and a priori tissue information». En: *IEEE Transactions on Medical Imaging* 25.1, págs. 74-83. doi: 10.1109/TMI.2005.860999.

Jimenez-Angeles, Luis, Valdes-Cristerna, Raquel, Vallejo, Enrique, Bialostozky, David y Medina-Banuelos, Veronica (abr. de 2009). «Factorial phase analysis of ventricular contraction using equilibrium radionuclide angiography images». En: *Biomedical Signal Processing and Control* 4, págs. 149-161. doi: 10.1016/j.bspc.2008.11.004.

Perez-Gonzalez, Jorge Luis, Arámula-Cosío, Fernando, Guzmán, Mario, Camargo, Lisbeth, Gutierrez, B, Mateus, D, Navab, N y Medina-Banuelos, Veronica (2018). «Spatial Compounding of 3-D Fetal Brain Ultrasound Using Probabilistic Maps». En: *Ultrasound Med Biol.* (44(1).), págs. 278-291. doi: 10.1016/j.ultrasmedbio.2017.09.001.

Perez-Gonzalez, Jorge Luis, Bello-Munoz, Juan, Porras, M.C., Arambula-Cosio, Fernando y Medina-Banuelos, Veronica (oct. de 2014a). «Automatic Fetal Head Measurements from Ultrasound Images Using Optimal Ellipse Detection and Texture Maps». En: vol. 49. isbn: 978-3-319-13116-0. doi: 10.1007/978-3-319-13117-7_85.

Perez-Gonzalez, Jorge Luis, Yanez-Suarez, Oscar, Bribiesca, Ernesto, Arambula Cosio, Fernando, Jimenez-Alaniz, Juan Ramon y Medina-Banuelos, Veronica (2014b). «Description and classification of normal and pathological aging processes based on brain magnetic resonance imaging morphology measures». En: *Journal of Medical Imaging* 1.3, pág. 034002. doi: 10.1117/1.JMI.1.3.034002. url: <https://doi.org/10.1117/1.JMI.1.3.034002>.

Santos-Diaz, Alejandro, Valdes-Cristerna, Raquel, Vallejo, Enrique, Hernández, Salvador y Jimenez-Angeles, Luis (feb. de 2017). «Automated Classification of Severity in Cardiac Dyssynchrony Merging Clinical Data and Mechanical Descriptors». En: *Computational and Mathematical Methods in Medicine* 2017, págs. 1-9. doi: 10.1155/2017/3087407.

Valdes-Cristerna, Raquel, Medina-Banuelos, Veronica y Yanez-Suarez, Oscar (2004). «Coupling of radial-basis network and active contour model for multispectral brain MRI segmentation». En: *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 51.3, págs. 459-470. doi: 10.1109/TBME.2003.820377.

Valdes-Cristerna, Raquel y Yanez-Suarez, Oscar (2003). «Active contours and surfaces with cubic splines for semiautomatic tracheal segmentation». En: *Journal of Electronic Imaging* 12.1, págs. 81-96. doi: 10.1117/1.1526847. url: <https://doi.org/10.1117/1.1526847>.



EVOLUCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS LÓGICOS PROGRAMABLES (PLD)



Luis Alberto Vásquez Toledo



Mauricio López Villaseñor



Leonardo Palacios Luengas

Abstract

In this paper, the authors provide a comprehensive overview of technology based on Programmable Logic Devices (PLD) from its inception to the present. They discuss its integration capabilities, scope, and applications across various fields including research, education, and industry.

Resumen

En este trabajo de divulgación los autores describen un panorama general desde los inicios hasta la actualidad de la tecnología basada en los Dispositivos Lógicos Programables (PLD, por sus siglas en inglés), sus capacidades de integración, sus alcances y sus aplicaciones en diversas áreas de investigación, educación e industria.

Palabras clave: Circuitos Digitales, Dispositivos Programables, PLD, FPGA.

I. Generalidades de los PLD

Entenderemos como dispositivo de lógica programable a aquel dispositivo electrónico que, a partir de un circuito integrado (CI o chip), construido con un arreglo de compuertas lógicas, pueda configurarse al utilizar algún proceso de programación, de manera que genere un circuito digital con una función lógica cuyo comportamiento funcional satisfaga un diseño específico para alguna aplicación. Es decir, se fabrica un lote de un circuito integrado, vea la figura 1, con un único diseño y sin satisfacer una función en específica, en la que se establezcan conexiones de compuertas lógicas con un cierto comportamiento funcional antes de que éste pueda ser usado.

Este dispositivo puede ser programado por el fabricante (esto se conoce como “lógica programable de fábrica”) o por un



Figura 1. Lote de dispositivos semiconductores con un único diseño.

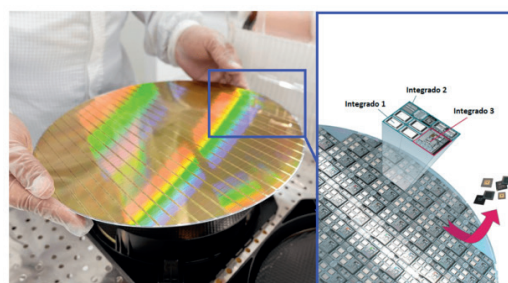


Figura 2. Construcción de un chip a partir de una oblea.

usuario que haya adquirido el circuito integrado y cuente con las herramientas capaces de programarlo (esto se conoce como “lógica programable de campo”). Muchos de estos dispositivos soportan la reprogramación o reconfiguración, permitiendo cambiar el diseño tantas veces como se requiera, mientras que en otros, una vez programados mantienen su comportamiento funcional hasta finalizar su ciclo de vida.

En este punto debe mencionarse que el diseño y la fabricación de los chips semiconductores se lleva a cabo mediante la creación de la oblea, la creación de intrincados patrones en la oblea, el corte preciso para formar troqueles individuales o chips semiconductores, entre otros procesos sofisticados, vea la figura 2. De manera que a medida que aumenta el volumen de producción de un diseño,

los costos disminuyen exponencialmente. Mientras que en los diseños que requieren de un bajo volumen de producción podrían ser prohibitivos para muchas empresas de la industria.

Tomando como base lo indicado en el párrafo anterior, se puede decir que la necesidad de crear dispositivos lógicos programables surge de la exigencia de reducir el tiempo de entrega por parte del fabricante del diseño de un chip y por otro reducir los costos de producción. Por supuesto, esto se logra con la implementación del diseño de un solo chip, sin una función en específica, en la que se pueda programar y con la posibilidad de obtener como producto final el diseño con el comportamiento funcional deseado. De esta forma, el fabricante sólo requiere reprogramar a un determinado número de estos chips con el diseño particular, como se indicó, reduciendo el tiempo de respuesta de entrega, así como de los costos, inclusive para requerimientos de un bajo volumen de producción.

En la actualidad es de suma importancia para la industria electrónica hacer llegar al mercado sus productos al reducir los tiempos de desarrollo, de producción y su costo. El conjunto de dispositivos programables ha resuelto en gran medida estas demandas. El avance que se ha logrado en el desarrollo de esta tecnología permite que un usuario final tenga la posibilidad de configurar un circuito digital con una función lógica específica, sin la necesidad de contar con una instalación especializada en la fabricación de circuitos integrados.

Sin menospreciar los avances que se han obtenido en los últimos años, los dispositi-

vos programables durante mucho tiempo han jugado un papel clave en el diseño del hardware digital. Por ejemplo, uno de los primeros dispositivos programables de uso generalizado fue la memoria programable de sólo lectura, conocida como PROM (por el acrónimo de las siglas *Programmable Read-Only Memory*), de éstas pueden identificarse dos versiones, aquellas programables por máscara (programadas por el fabricante) y las programables en campo (programadas por el usuario final). A medida que fue avanzando la tecnología surgieron las EPROM (por el acrónimo de las siglas *Erasable Programmable Read-Only Memory*) y las EEPROM (por el acrónimo de las siglas *Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*).

Existe otro tipo de dispositivos programables que están diseñados para implementar circuitos lógicos, llamado dispositivo lógico programable (PLD, por el acrónimo de las siglas *Programmable Logic Device*), y los arreglos de compuertas programables en campo (FPGA, por el acrónimo de las siglas *Field Programmable Gate Array*). En éstos existen dos ramas principales: los de lógica programable de fábrica y los de campo, como se comentó previamente. A su vez los PLD se clasifican en PLD simples (SPLD, por el acrónimo de las siglas *Simple Programmable Logic Devices*) y PLD complejos (CPLD, por el acrónimo de las siglas *Complex Programmable Logic Devices*). Mientras que en los SPLD se identifican dos categorías, los de matriz lógica programable (PAL, por el acrónimo de las siglas *Programmable Array Logic*) y los de matriz lógica genérica (GAL, por el acrónimo de las siglas *Generic Array Logic*) [1].

Es importante comentar que el rendimiento en general y en velocidad de un chip programable por máscara es superior al de un chip programable en campo. Sin embargo, estos últimos ofrecen ventajas que superan dicha deficiencia. Por ejemplo, éstos pueden programarse en minutos y tienen un menor costo para volúmenes bajos de producción.

Los dispositivos lógicos programables son convenientes para utilizarse en aparatos electrónicos que por su naturaleza sean factibles de reprogramar su chip, de manera remota por el proveedor, de tal forma que el usuario final obtenga, con una actualización, nuevas funciones que se reflejen en mayores prestaciones en su equipo, ver la figura 3. En resumen, se traduce como si el usuario final obtuviera un nuevo dispositivo con un hardware diferente y con mayores prestaciones, como se comentó.

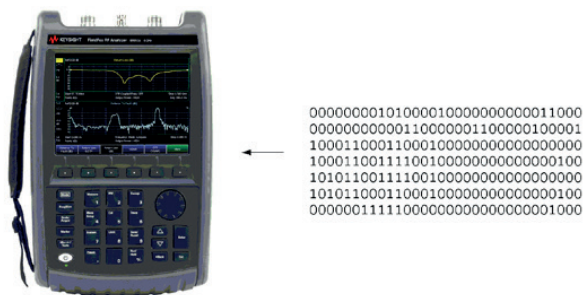


Figura 3. Aparato electrónico programado remotamente.

II. Clasificación de los Pld

En esta sección se describe a detalle cada uno de los dispositivos lógicos programables mencionados en I.

A. SPLD

Los SPLD se utilizan para aplicaciones

que solo exigen un número pequeño de entradas y salidas (I/O) para operar de manera simultánea. Son dispositivos de bajo consumo de energía, pequeños y económicos. Algunos productos comerciales se muestran en la tabla 1.

Fabricante	Dispositivos Lógicos Programables Simples
Altera	Clásicos, FLASHLogic
Atmel	PAL
Cypress	PAL
Lattice	GAL
Philips	PAL
Vantis	PAL

Tabla 1. Productos SPLD comerciales.

B. CPLD

Los CPLD se utilizan para aplicaciones que requieren un número grande de entradas y salidas (I/O) para operar de manera simultánea. Son dispositivos de bajo procesamiento de datos, al mismo tiempo son más grandes que los SPLD y más costosos. Algunos productos comerciales se muestran en la tabla 2.

Fabricante	Dispositivos Lógicos Programables Complejos
Altera	MAX 5000, 7000 y 9000
Atmel	ATF, ATV
Cypress	FLASH370, ULTRA37000
Lattice	IspLS11000 a 8000
Philips	XPLA
Vantis	MACH 1 a 5
Xilinx	XC9500, CoolRunner

Tabla 2. Productos CPLD comerciales

C. FPGA

Los FPGA son circuitos integrado que contiene Celdas Lógicas Configurables, las cuales se interconectan por medio de

una *Matriz de Interconexión Programable*. Algunos productos comerciales se muestran en la tabla 3.

Fabricante	Arreglo de Compuertas Programables en Campo
Actel	ACT 1 a 3, MX, SX
Altera	Flex, Cyclone, Stratix
Atmel	AT6000, AT40K
Lucent	ORCA 1 a 3
QuickLogic	pASIC 1 a 3
Vantis	VF1
Xilinx	Spartan, Artix, Kintex, Virtex

Tabla 3. Productos FPGA comerciales

Los FPGA son dispositivos electrónicos utilizados para construir arquitecturas reconfigurables de circuitos digitales [2]. Ofrecen una gran flexibilidad y son ampliamente utilizados en una variedad de aplicaciones, desde electrónica de consumo hasta sistemas embebidos y computación de alto rendimiento. En la figura 4, se proporciona una breve descripción

considerando los inicios, desarrollo, expansión, avances, consolidación y tendencias futuras, también se muestran los principales fabricantes de FPGA.

III. Integración de circuitos integrados en un SPLD

Los circuitos integrados serie **74XX** originalmente fueron fabricados en tecnología de lógica transistor-transistor (TTL, por el acrónimo de las siglas *Transistor-Transistor Logic*) y forman una subfamilia de semiconductores, dentro del campo de la electrónica digital. Estos fueron ampliamente utilizados en la década de los sesenta y setenta para construir computadoras. La serie **74XX** contiene cientos de dispositivos, desde compuertas lógicas básicas (AND, OR, NOR, NAND, XOR y NOT) hasta flip-flops, contadores, unidades lógicas aritméticas, etc. Un SPLD, por ejemplo, una GAL sustituye aproximadamente a 100 circuitos integrados de la familia **74XX**.



Figura 4. Evolución de los FPGA

Esto se muestra en la figura 5.



Figura 5. Integración en un SPLD

IV. Integración de SPLD en un CPLD

UN CPLD, por ejemplo, de la familia MAX5000, sustituye aproximadamente a 50 SPLD, por ejemplo, GAL, esto es aproximadamente a 5000 circuitos integrados de la familia 74XX. Esto se muestra en la figura 6.

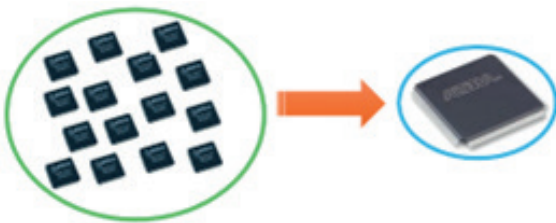


Figura 6. Integración en un CPLD

V. Arquitectura de los FPGA

De acuerdo con la figura 7, en una arquitectura básica de un FPGA se pueden identificar tres partes principales [3]: (a) Bloques de interconexión programable que permiten enlazar los diferentes bloques lógicos, bloques de memoria, bloques de entrada/salida y otros elementos dentro del dispositivo según el diseño del usuario. Estas interconexiones son configurables y se pueden adaptar dinámicamente para cumplir con los requisitos específicos de cada aplicación. Permiten establecer las conexiones eléctricas entre los diferentes elementos del FPGA de manera flexible y personalizable, lo que proporciona un alto grado de adaptabilidad y reconfigurabilidad en el diseño del circuito. (b) Los bloques de entrada/salida (IOB, por el acrónimo de las siglas *Input / Output Blocks*) facilitan la conexión del dispositivo con el entorno externo. Estos bloques proporcionan interfaces entre el FPGA y otros dispositivos o circuitos, permitiendo la entrada y salida de datos hacia y desde el FPGA. Los IOB pueden incluir una variedad de funcionalidades, como *buffers* de entrada y salida, terminación de señales, controladores de impedancia, y cir-

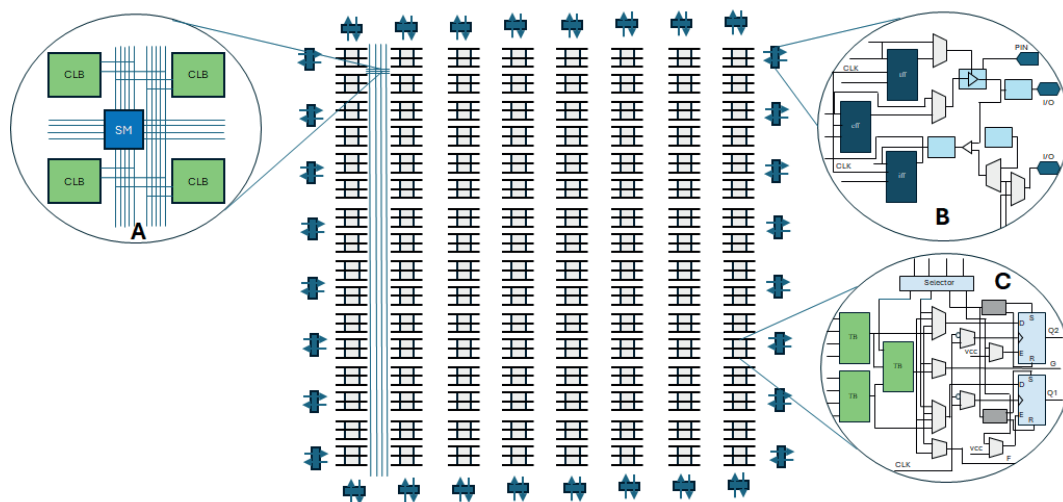


Figura 7. Arquitectura de FPGA

cuitos de protección. Estas características aseguran una adecuada interfaz eléctrica entre el FPGA y otros dispositivos, así como una adecuada adaptación a las condiciones de carga externa. (c) Los bloques de lógica configurable (CLB, por el acrónimo de las siglas *Configurable Logic Blocks*). Son componentes fundamentales en la arquitectura de un FPGA, ya que están diseñados para proporcionar una funcionalidad lógica flexible y configurable que puede adaptarse según las necesidades del diseño específico del usuario.

Cada CLB está compuesto por una combinación de elementos lógicos básicos, tales como compuertas AND, OR y XOR, flip-flops y multiplexores, que pueden ser interconectados y configurados mediante la programación del FPGA.

VI. Modelos de FPGA

Los FPGA se clasifican en diferentes categorías según su densidad, la cual se re-

fiere a la cantidad de bloques lógicos que contienen. Esta clasificación permite elegir adecuadamente un FPGA para aplicaciones específicas, considerando factores como la complejidad del circuito, el rendimiento requerido y el presupuesto.

Un FPGA de baja densidad considera menos de 10,000 bloques lógicos y son adecuados para aplicaciones simples como control de motores y procesamiento de señales básicas. La densidad media de un FPGA considera entre 10,000 y 100,000 bloques lógicos, ofrece un equilibrio entre costo y rendimiento, siendo ideales para aplicaciones como redes de comunicación y sistemas embebidos. La alta densidad comprende entre más de 100,000 bloques lógicos, proporcionando el máximo rendimiento y flexibilidad, pero también son los más costosos. Se utilizan en aplicaciones exigentes como computación de alto rendimiento, redes neuronales y procesamiento de imágenes. Los diferentes fabricantes de FPGA

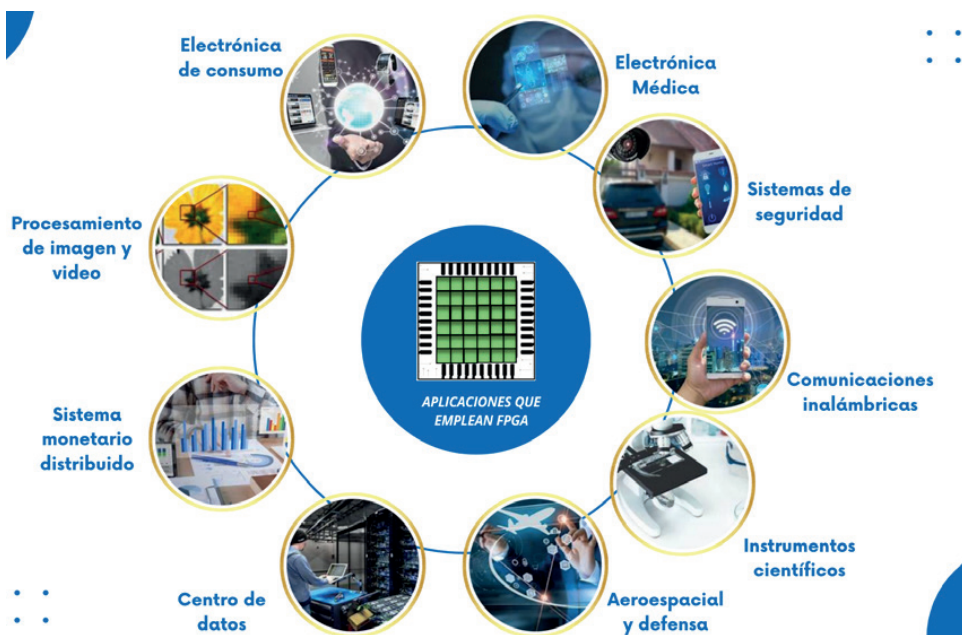


Figura 8. Aplicaciones de los FPGA



Figura 9. Asignaturas que se imparten en la UAM-Iztapalapa relacionadas con las aplicaciones mostradas en la figura 8.

ofrecen una amplia gama de modelos con diferentes densidades y características.

VII. Algunas aplicaciones que utilizan FPGA

En la figura 8 se muestran algunas aplicaciones en diversas áreas tecnológicas que utilizan FPGA debido a su flexibilidad, capacidad de adaptación y alto rendimiento.

En la UAM-Iztapalapa se imparten asignaturas relacionadas con las aplicaciones mostradas en la figura 8, tales como las presentadas en la figura 9.

En la UAM, se han desarrollado diversos proyectos de investigación, tesis, proyecto terminal, etc., usando los FPGA.

VIII. Conclusiones

En este trabajo de difusión los autores muestran que el uso de los FPGA permite la integración de diversos Dispositivos Lógicos Programables en un solo dispositivo para una diversidad de aplicaciones en distintas áreas de investigación, educación

e industria. Además, se hace mención que, en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, se cuenta con personal docente para formar profesionistas en el área de los Dispositivos Lógicos Programables, tanto a nivel Licenciatura como de Posgrado.

Referencias

- [1] Floyd, Thomas L. “Digital Fundamentals”, in Pearson, Pearson Education India, 2015.
- [2] Andina, Juan Jose Rodriguez, Eduardo De la Torre Aranz, & María Dolores Valdés Peña, “FPGAs: fundamentals, advanced features, and applications in industrial electronics” in CRC Press, 2017.
- [3] Mencer, O., Allison, D., Blatt, E., Cummings, M., Flynn, M. J., Harris, J., & Shirazi, S, “The History, Status, and Future of FPGAs: Hitting a nerve with field-programmable gate arrays” in Queue, 2020, vol. 18, no 3, p. 71-82.

Biometría por detección de luz infrarroja en reflexión y transmisión



Norma Pilar Castellanos Abrego
Departamento de Ingeniería Eléctrica, UAMI
José Luis Hernández Pozos
Departamento de Física, UAMI

Resumen.

El campo de la investigación en la detección y procesamiento de datos biométricos es muy actual. La biometría es la medición de datos obtenidos por características físicas o de comportamiento de los individuos con la finalidad de compararlos con una base de datos y determinar la similitud entre ellos como prueba de identidad. Dentro de los datos biométricos físicos se encuentran las venas de los dedos o de la palma de la mano obtenidos por medios ópticos ante una iluminación infrarroja. Las grandes ventajas de emplear las venas de dedos o manos son: las imágenes de las venas permanecen sin cambios con la edad, los sistemas de detección no son peligrosos a la salud del usuario, el estado de la piel como tono y quemaduras no afecta, el patrón venoso presenta un reto de falsificación para delincuentes o el reemplazo mediante cirugías. La luz infrarroja puede penetrar la piel humana, y de 880 a 930 nm provee buen contraste debido a la absorción de estas longitudes de onda por la hemoglobina contenida en la sangre. Un sistema de reconocimiento de imágenes venosas de los dedos o de las manos contiene 3 procesos: preprocesamiento, extracción de patrones, emparejado por aprendizaje maquina o por métodos convencionales o la combinación de ambos. El conjunto de datos es muy importante, es el fundamento de la investigación biométrica; sin embargo, hasta el momento ha sido muy difícil la estandarización ya que es una tecnología reciente y no ha sido discutida ampliamente.

Palabras clave: Biometría, Biometría infrarroja, Extracción de patrones, Reconocimiento de imágenes, Emparejado de patrones

Abstract.

The field of research in the detection and processing of biometric data is very current. Biometrics is the measurement of data obtained by physical or behavioral characteristics of individuals with the purpose of comparing them with a database and determining the similarity between them as proof of identity. Among the physical biometric data are the veins of the fingers or palm of the hand obtained by optical means under infrared illumination. The great advantages of using finger or hand veins are the images of the veins remain unchanged with age, the detection systems are not dangerous to the user's health, the condition of the skin such as tone and burns is not affected. The venous pattern presents a challenge for criminals to falsify or replace through surgery. Infrared light can penetrate human skin, and 880 to 930 nm provides good contrast due to the absorption of these wavelengths by the hemoglobin contained in the blood. A finger or hand vein image recognition system contains 3 processes: pre-processing, pattern extraction, matching by machine learning or by conventional methods or the combination of both. The data set is very important, it is the foundation of biometric research; However, until now standardization has been very difficult since it is a recent technology and has not been widely discussed.

Keywords: Biometrics, Infrared Biometrics, Pattern Extraction, Image Recognition, Pattern Matching

El propósito del presente trabajo es mostrar un panorama de la biometría por detección de luz infrarroja por reflexión y transmisión, desde su fundamento, el estado del arte y las expectativas en cuanto a investigación.

¿Qué es la biometría?

La biometría es la medición de datos obtenidos por características físicas o de comportamiento de los individuos con la finalidad principal de compararlos con una base de datos y determinar la similitud entre ellos como prueba de identidad. En la vida diaria están sustituyendo a las palabras clave, para el acceso a la computadora, la empresa, laboratorios, escuelas, etc. Es una tecnología emergente en la era del internet y las comunicaciones móviles siendo considerada el futuro de la seguridad electrónica la cual, además, provee de autenticación (Gayathry, 2020). Para proveer mayor seguridad se realiza la fusión entre datos biométricos de diferente modalidad (adquiridos con diversos sensores) con diferentes métodos computacionales. Los sistemas biométricos constan de dos opciones: verificación (proceso uno-a-uno) e identificación (proceso uno-a-muchos).

La prueba de identidad de mayor uso es la fotografía (actualmente digital), donde no necesariamente se emplea un sistema digital de reconocimiento sino simplemente con la observación del individuo y su fotografía impresa (en la tarjeta de identificación como la credencial para votar, el pasaporte o la licencia de conducir).

Debido a la evaluación subjetiva de fotografías y a los problemas de identificación que pudieran surgir entre gemelos, uso de barba, cirugía estética, edad, etc., surgen otros datos biométricos como son las huellas dactilares. Las huellas dactilares se han incorporado a la identificación de personas, sin embargo, no está libre de inconvenientes como es el deterioro de la piel de los dedos debido a la diversidad de usos y el contacto con sus-

tancias tóxicas, inclusive puede haber pérdida del dedo. Las huellas dactilares son obtenidas mediante un detector de huellas dactilares que puede ser con 4 tipos de tecnología diferente como son sensores ópticos, térmicos, capacitivos y ultrasónicos sensibles a las crestas y valles de la piel de los dedos.

Esta técnica biométrica ha sufrido problemas de exactitud ya que la piel se degrada o puede contener partículas, entre otros problemas asociados (Ruaa, 2022). En estos datos, al ser digitalizados, se extraen patrones como las crestas, valles, islas y lagos, y son comparados con una base de datos para la identificación de identidad o para firmar documentos como contratos bancarios, pasaporte, etc.

Además de la huella dactilar otros datos biométricos son las líneas de la palma de la mano, adquiridas por métodos ópticos (fotografía) o térmicos. También la geometría de la mano es única entre individuos. El iris, contiene una distribución de vasos sanguíneos y fibras único entre personas, difícil de falsificar, donde es empleada una cámara de alta resolución para adquirir una imagen con iluminación infrarroja. El iris se considera el dato biométrico más exacto.

Con la misma técnica se toma la imagen de la retina en el fondo del globo ocular y a través de la pupila del ojo; contiene una red vascular y de nervios única entre individuos. Tiene como limitación que requiere de equipo especializado, la pupila tiene que dilatarse y es sensible al movimiento ocular.

El DNA también es un dato biométrico que requiere de la identificación de 4 bases: adenina (A), guanina (G), citocina (C)

y timina (T). Pueden extraerse de la saliva, sangre o cabello. Desafortunadamente hay que montar un laboratorio para realizar la lectura de DNA haciendo ésta una técnica muy costosa. Útil en criminología.

La forma de la oreja en 2D y 3D; se extraen patrones capturados por una cámara fotográfica. Los datos extraídos pueden considerarse holísticos, locales, geométricos e híbridos. Se emplean varias técnicas de procesamiento digital de imágenes para hacer verificación y autenticación que son costosas computacionalmente y complejas. Este dato biométrico es sensible al envejecimiento del individuo.

Curiosamente el EEG (electroencefalograma) es también un dato biométrico físico; sin embargo, sufre de contaminación por ruido eléctrico y requiere colocar sensores en la cabeza. Se emplean redes neuronales artificiales para extraer patrones característicos y realizar la clasificación.

Entre otros datos biométricos por comportamiento está la voz, difícil de falsificar mas no imposible para la tecnología actual que emplea inteligencia artificial. La firma, otro dato biométrico muy empleado para validar documentos, con características únicas entre individuos pero que mediante un entrenamiento y dependiendo de su complejidad es sensible a falsificación.

El modo de andar (*gait* en inglés), es empleado principalmente en video vigilancia. En este dato biométrico se registra el modo de caminar y el movimiento cíclico. Se requiere gran cantidad de datos para que funcione la técnica de procesamiento digital conocida como aprendizaje maquina (subcampo de la inteligencia artificial:

máquinas de soporte vectorial, árboles de decisión y k-means).

Otro dato biométrico por comportamiento que está teniendo mucho éxito es la dinámica del tacto. Las acciones del tacto como desplazamientos, movimientos del dedo rápidos, introducir caracteres alfabéticos o numéricos, son registradas y capturadas. Aquí se emplea probabilidad para analizar los datos, así como técnicas de reconocimiento de patrones. El sistema Android de los teléfonos móviles usa este dato biométrico.

La dinámica del ratón de computadora es otro dato biométrico. Los movimientos del ratón tales como arrastrar, dejar de presionar, mover y presionar y soltar rápidamente, son registrados. Desafortunadamente para los dedicados al procesamiento de datos digitales, aquí no hay suficientes bases de datos. Se emplean técnicas estadísticas y probabilísticas para la extracción de patrones característicos del individuo.

Dentro de los datos biométricos físicos se encuentran las venas de los dedos o de la palma de la mano obtenidos por medios ópticos ante una iluminación infrarroja. La iluminación infrarroja se refleja o transmite generando una absorción en los vasos sanguíneos. Así que aparecen en la imagen como líneas oscuras, mostrando patrones únicos entre individuos que no cambian con los años, y son diferentes entre gemelos. La adquisición de la imagen se realiza en modo reflexión o en modo transmisión. Actualmente usado en cajeros automáticos o servicios de bancos remotos. Ofrece grandes ventajas, difícil de falsificar, observar, oscurecer, dañar o cambiar. Además, integra

un dato más sobre si el sujeto está vivo (Raut, 2014).

Las grandes ventajas de emplear las venas de dedos o manos son (Ruua, 2022):

- Las imágenes de las venas permanecen sin cambios con la edad
- Los sistemas de detección no son peligrosos a la salud del usuario
- El estado de la piel como tono y quemaduras no afecta la detección de las venas
- El patrón venoso presenta un reto a la falsificación por delincuentes o el reemplazo mediante cirugías.

Tiene la limitación de ser sensible al estado de salud del individuo, como son los problemas circulatorios, el flujo sanguíneo y a la postura durante la toma de la imagen. Hablaremos de esta técnica biométrica con más detalle a continuación.

¿Por qué luz infrarroja?

La luz infrarroja cercana es una región del espectro electromagnético contenido dentro de los 700 a los 1000 nm de longitud de onda (figura. 1).

Puede penetrar la piel humana, y en el sub-rango de 880 a 930 nm (conocido como infrarrojo cercano-NIR) (Jia, 2021) provee buen contraste de las venas subcutáneas debido a la absorción de estas longitudes de onda por la hemoglobina contenida en la sangre (fig. 2). La luz infrarroja puede atravesar el grosor de los dedos y de la palma de la mano generando una imagen contrastada conocida como de transmisión; pero también hay reflexión, la cual también puede ser capturada con una cámara infrarroja.

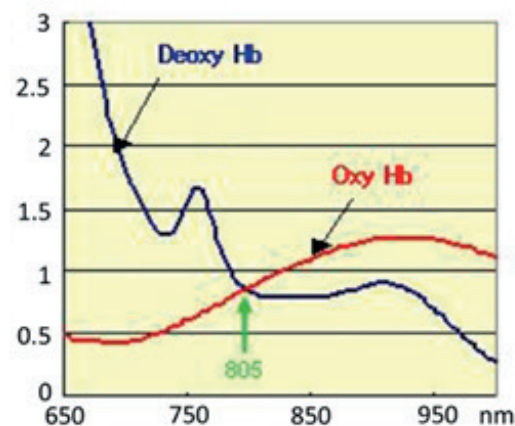


Figura 2. Espectro de absorción de la hemoglobina, se muestra la absorción tanto para hemoglobina oxigenada como sin oxígeno.

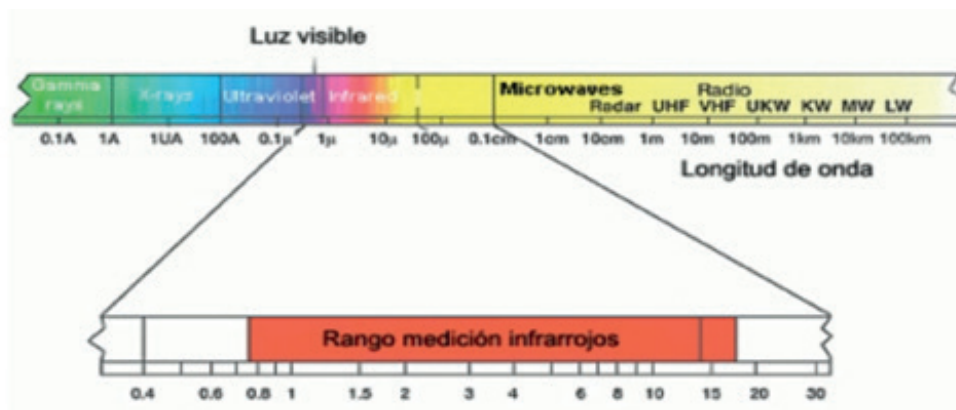


Figura 1. Rango de longitudes de onda para el infrarrojo dentro de todo el espectro electromagnético.

La palma de la mano tiene un patrón venoso más complejo que los dedos y es más fácil la autenticación (ver figura 3).

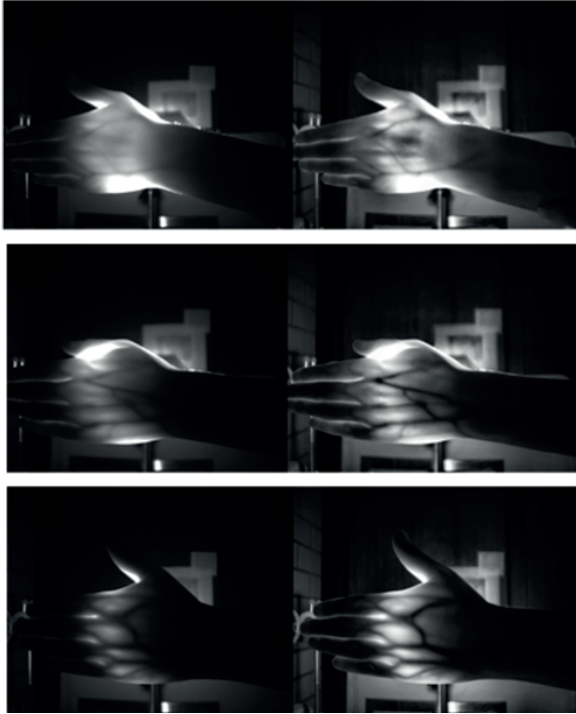


Figura 3. Imágenes de patrón de venas usando transmisión de luz en el NIR (840 nm) de la palma de la mano. Note que el patrón es completamente diferente para cada individuo. En la columna de la izquierda se muestran las imágenes directamente obtenidas por la cámara, las de la derecha después de ser procesadas.

De hecho, este patrón es considerado con un alto nivel de exactitud en la autenticación por la complejidad de los patrones formados por los vasos sanguíneos de la palma de la mano y una más compleja comparación con los patrones de otros individuos (Raut, 2014).

¿Cómo es un sistema de emisión-recepción de luz infrarroja?

Un sistema de detección de las venas ya sea de los dedos o de la palma de la mano requiere del diodo emisor (LED) o un diodo láser a una longitud de onda en el infrarrojo cercano (700 a 1000 nm), típicamente 760 nm para dedos (Ruaa, 2022). Puede emplearse una configuración en modo transmisión o reflexión, en la figura 4 se muestra un diagrama a bloques de un sistema para un modo de transmisión.

Se observa cómo el diodo de estado sólido debe alimentarse con una fuente que le proporcione la potencia adecuada, típicamente 100 mW con voltaje de 4.5 a 12 v en corriente continua con un diámetro aproximado de 4 mm.

Esta radiación se dirige hacia un sistema óptico que incrementa el diámetro del haz tal que pueda cubrir la zona de interés donde se coloca la mano o el dedo.

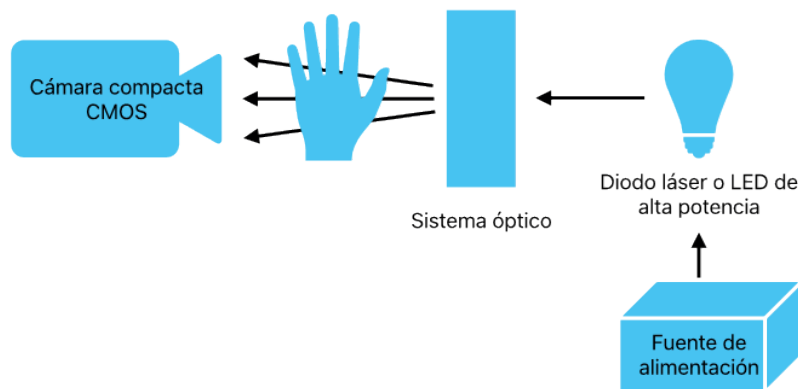


Figura 4. Diagrama a bloques de un sistema de detección de venas de la palma de la mano en modo transmisión con radiación en el infrarrojo cercano (NIR).

La radiación se transmite a través de la mano a excepción de la zona de las venas que la absorben. Como ejemplo, para una configuración para la mano (imágenes mostradas en la figura 3) se emplea una lente de 2.5 cm de diámetro y longitud focal de -75.0 mm. La radiación transmitida es captada por una cámara CMOS especializada en radiación IR marca Thorlabs modelo DCC1645C (Hernández, 2018). La lente puede sustituirse por un vector de LEDs (Ruuaa, 2022).

Una vez que se tiene la imagen digitalizada, ésta es procesada en una computadora con algoritmos de procesamiento digital de imágenes a fin de extraer los patrones más relevantes. Posteriormente se emplean algoritmos para la autenticación o verificación comparando con una base de datos. Se han empleado diversas metodologías, cada una con ventajas y desventajas, en la siguiente sección se mencionan algunas de ellas.

Métodos de pre-procesamiento y emparejado de imágenes biométricas

En general, un sistema de reconocimiento de imágenes venosas de los dedos o de las manos contiene 3 procesos:

1. Preprocesamiento de la imagen
2. Extracción de patrones
3. Emparejado por aprendizaje maquina, métodos convencionales y la combinación de ambos.

1. Preprocesamiento de la imagen

Las imágenes, sobre todo las de los dedos son muy ruidosas, pequeñas y de bajo contraste, más que las de las manos, por lo que

el pre-procesamiento es muy importante. La exactitud del proceso de identificación requiere y depende su éxito, de la detección de la región de interés (ROI), el realce de los patrones de interés, la segmentación de los vasos sanguíneos y el filtrado empleado para la eliminación de ruido.

2. Extracción de patrones venosos.

La extracción de patrones venosos es muy importante porque simplifica la tarea del apareamiento con fines de comparación con una base de datos. Existen varias técnicas clasificadas en 3 categorías:

- a) Reducción de la dimensión: Reduce la dimensión de la información contenida a fin de simplificación y, por tanto, más fácil visualización de los patrones de interés desembocando en una mayor interpretabilidad y predicción. Generalmente emplea técnicas de aprendizaje maquina. El análisis por componentes principales (conocido como PCA por sus siglas en inglés) es una herramienta utilizada, aunque tiene el inconveniente de que los patrones globales son altamente dependientes de la localización, oclusión, distorsión e iluminación.
- b) Binomios locales: Generalmente evalúa un píxel de la imagen y una vecindad para generar descriptores específicos a los patrones encontrados. Estos descriptores pueden encontrar información sobre la textura, forma y variaciones de intensidad del vecindario. Tienen la ventaja de ser altamente robustos, con una discriminación potente. Tiene la desventaja de requerir cálculos numerosos y alto consumo de tiempo.
- c) Basados en venas: La extracción del patrón de las venas puede simplificarse si

la imagen no es muy ruidosa. Entonces puede aplicarse un método de segmentación por umbral donde los niveles por debajo de cierto umbral son llevados a cero, y en otro caso al valor de 1. También puede aplicarse un filtrado. Tiene la ventaja de que es insensible al ancho de las venas, así como a la extracción de venas del núcleo. Tiene la desventaja de que es poco robusto.

3. Emparejado.

Es el paso final, cuando se compara con una base de datos para asegurar si pertenece a una persona. Hay 2 tipos de métodos de emparejado: i) los basados en distancia y, ii) los métodos conocidos como 'matching classics' (funciones basadas en distancia o en la similitud como la distancia cuadrática media, entropía de Shannon, información mutua normalizada, etc.). Las venas menores pueden compararse usando los algoritmos de aprendizaje maquina como el análisis por componentes principales (PCA), máquinas de soporte vectorial (SVM), aprendizaje profundo, lógica difusa, procesamiento de lenguaje natural (NLP), Redes neuronales Artificiales (ANN), son más fuertes contra los datos ruidosos. Todos ofrecen ventajas y desventajas; en general, los métodos de aprendizaje profundo son más robustos, pero requieren de bases de datos muy grandes para entrenarlos, limitando su aplicabilidad. Los basados en distancia son menos robustos, pero son simples y por lo tanto se implementan más fácilmente.

Es posible que se necesite un procedimiento previo al emparejamiento que es un proceso de alineación de imágenes que contemple transformaciones lineales como la rotación y la traslación, para ubicar la imagen a verificar dentro del mismo sis-

tema coordinado de la imagen de la base de datos con la finalidad de simplificar la tarea de la comparación.

Datos

El conjunto de datos es muy importante, es el fundamento de la investigación biométrica; sin embargo, hasta el momento ha sido muy difícil la estandarización ya que es una tecnología reciente y no ha sido discutida ampliamente. Muchas veces los investigadores construyen su propia base de datos ante la escasez de datos públicos, sobre todo en imágenes de las venas de la palma de la mano. Cada sistema de rastreo de la imagen de las venas tiene sus propias características proporcionando diferente calidad a la imagen final.

Los escasos conjuntos de datos proporcionados por diferentes universidades no están perfectamente organizados y, por tanto, hacen difícil la conclusión sobre la utilidad de las medidas de reconocimiento de biometría. Por ejemplo, los conjuntos de datos deben incluir una clasificación de género, tipo de sangre, color de la piel y nacionalidad. Toda esta información es crucial en la funcionalidad del dispositivo.

Las bases de datos públicas de venas de los dedos pertenecen principalmente a universidades orientales: Universidad de Pekín, Politécnico de Hong Kong, Universidad de Malasia, Universidad Chonbuk en Corea del Sur, Universidad Shandong de China y la Universidad de Twente en Países Bajos. Ofrecen conjuntos de datos pequeños de 60 muestras hasta más de 5000 con resoluciones de imagen: la más pobre de 320x240 pixeles y la más alta de 720x576 pixeles (Ruaa, 2022).

En el caso de bases de datos de las venas de las manos hay más opciones, sin embargo, de 35 solo 4 son públicas. A diferencia de los dedos, las imágenes de las manos se reportan en modo reflexión y transmisión, y algunas son pequeñas, con 125 muestras hasta 6160 formadas desde el 2004 (Wei, 2021).

Seguridad

La mayoría de los datos biométricos emplean encriptación fuerte para garantizar seguridad en el almacenamiento. Se emplea, esteganografía, marca de agua y encriptación visual. De todos, la encriptación visual gana terreno para compartir los datos biométricos en forma segura.

Los datos biométricos han reducido la actividad de delincuentes, sin embargo, no al 100%; esta inclinación de ciertas personas por lo ajeno continuará existiendo. Así como aparece tecnología más sofisticada, también hay ladrones cada vez técnicamente mejor preparados para hackear los sistemas de seguridad de las diferentes empresas.

La tendencia actual en sistemas de seguridad biométrica incluye aplicaciones como carros con ECG (Electrocardiografía) para vigilar el estado de salud del conductor y los pasajeros, así como la detección del patrón de las venas de la palma de la mano en carros autónomos.

Cosas por hacer en la investigación

Actualmente mejorar la seguridad se ha convertido en una prioridad. Dentro de las cosas que se han hecho está la fusión de datos usando biometría multimodal. Esto es, a los datos obtenidos por radiación infrarroja se fusiona típicamente con el patrón de las marcas de la piel obtenida con fotografía convencional de la palma de la mano.

Aunque el aprendizaje profundo y el aprendizaje maquina están tomando mucha utilidad recientemente, es necesario mejorar y ampliar las bases de datos de prueba para mejorar la robustez y buen funcionamiento de esta técnica.

Actualmente, existen productos comerciales para tanto venas de la palma de la mano como de los dedos. Por ejemplo, Fujitsu Ltd. en Japón ofrece un sistema bastante confiable llamado PalmSecure. Otro sistema comercial es el producido por Techsphere Co. Ltd de Corea del Sur, llamado VP-II Hand Vascular Scanner, que es de contacto, tiene rápida verificación (0.4 seg/persona) y excelente exactitud.

Aunque existen bases de datos públicas, éstas están limitadas en tamaño y diversidad. Se desea que los métodos de reconocimiento biométrico sean robustos y que puedan aplicarse a una gran cantidad de imágenes con diferentes características como la edad, género, color de la piel, etnia, resolución de la imagen, una o dos manos (1 o 10 dedos), longitud de onda empleada, traslaciones y rotaciones, etc.

El campo de la investigación en la detección y procesamiento de datos biométricos es muy actual. Específicamente hablando de imágenes obtenidas mediante iluminación infrarroja el reto es encontrar el método suficientemente robusto que incluya el pre-procesamiento, extracción de patrones en la región de interés (ROI) y emparejado con una base de datos para su verificación, ahí deberá dirigirse la investigación.

Referencias.

Gayathri M., Malathy C., Prabhakaran M., "A review on various biometric techniques, its features, methods, security is-

sues and application areas”, Springer Nature Switzerland, pp 931-941, 2021.

Hernández García A. A., “Estudio comparativo de la robustez de 4 medidas de similitud como método de autenticar personas, con imágenes de luz infrarroja de la mano”, Proyecto terminal de Ing. Biomédica, Universidad Autónoma Metropolitana, 2018.

Jia W., Xia W., Zhang B., Zhao Y., Fei L., Kang W., Huang D., Guo G., “A survey on dorsal hand vein biometrics”, *Pattern Recognition* 120, 2021.

Raut S. D., Humbe V. T., “Review of Biometrics: Palm Vein Recognition System”, *Journal of Management and Research*, 3(1), pp. 217-223, 2014.

Ruaa S.S. Al-Khafaji, Mohammed S.H. Al-Tamimi, “Vein Biometric Recognition Methods and Systems: A Review”, *Advances in Science and Technology Research Journal*, 16(1), pp. 36-46, 2022.

Wei Jia, Wei Xia, B. Zang, Y. Zhao, L. Fei, W. Kang, D. Huang, G. Guo, “A survey on dorsal hand veins biometrics”, *Pattern Recognition*, 120, 2021.

Chatbots Educativos en UAM-I: *una familia abierta al tiempo*

*Saben mucho, pero No son chismosos
Son Educados, aunque estén disponibles 24/7*



R. Carolina Medina Ramírez
Pablo César Hernández Cerrito
Omar Lucio Cabrera Jiménez
Enrique Rodríguez de la Colina
Eric Alfredo Rincón García

Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa,
CDMX, México

Abstract

In this paper we describe the UAM-I projects, in which chatbots have been developed to support students in school services, attend to urgent or emergency events, as well as assist in the teaching-learning process. The development of this type of technology is a starting point both for the assistance of the community in general, and for its incorporation into face-to-face, mixed or blended, virtual or online and distance teaching modalities.

Keywords: Educational chatbots, Education, NLP, MACCA

Resumen

En este artículo se describen los proyectos UAM-I, en los cuales se han desarrollado chatbots como apoyo al alumnado en servicios escolares, atención a eventos de urgencia o emergencia, así como coadyuvar en el proceso de enseñanza-aprendizaje. El desarrollo de este tipo de tecnología es un punto de partida tanto para la asistencia de la comunidad en general, como para la incorporación en modalidades de enseñanza presencial, mixta o semipresencial, virtual o en línea y a distancia.

Palabras clave: Chatbots Educativos, Educación, PLN, MACCA

I. Introducción

El lema “*Casa abierta al tiempo*” cobra más sentido en nuestros días pues a 50 años de la existencia de la UAM, se mantiene como una institución sólida, flexible que atiende a una sociedad cambiante y compleja. En particular, durante la pandemia, como comunidad universitaria pusimos en práctica la resiliencia, empatía y creatividad para encontrar soluciones a la gestión de información, al diálogo como

comunidad, pero también a la forma de aprender y enseñar (Medina -Ramírez, 2024). Sobre este punto, en la Unidad Iztapalapa, se han impulsado iniciativas tanto para el desarrollo de la comunidad académica (alumnado, profesorado, personal de apoyo), como para consolidar el modelo académico MACCA (MACCA, 2022). La coordinación de Desarrollo Académico Institucional (CODAI), como la de Apoyo a la Educación Mixta y Virtual (VIRTUAMI) son algunas de las instancias de la Rectoría de Unidad que impulsan el desarrollo académico e institucional de la Unidad.

Por lo anterior, resulta pertinente el desarrollo de tecnologías como la que se utiliza para implementar los chatbots, no solo para enriquecer los servicios educativos que ofrece la Universidad, sino también para proyectarlos más allá del recinto universitario.

En este artículo se describen los proyectos UAM-I que aplican chatbots en el entorno educativo, dependiendo de su objetivo se identifican y describen las categorías en las cuales se insertan.

II. Antecedentes

Un chatbot es un programa que tiene la habilidad de interactuar con personas utilizando interfaces basadas en el Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN) para comprender y responder preguntas, proporcionar explicaciones y, en general, ayudar a los usuarios tanto para adquirir conocimiento, como desarrollar habilidades en temas específicos. Un chatbot se puede desarrollar utilizando lenguajes de programación como Java, Python o plataformas de código abierto. Existen plataformas que eliminan la complejidad

y ayudan a crear una mejor experiencia tanto para los desarrolladores, como para los usuarios. Los chatbots crean interacciones que pueden ser sencillas o complejas. Por ejemplo, un chatbot de preguntas y respuestas (interacciones sencillas) o un chatbot para mantener una conversación más humana (interacciones complejas). En el desarrollo de chatbots se pueden considerar diferentes arquitecturas, por ejemplo, en (Anzures-Villareal, 2022) se propone una arquitectura capaz de satisfacer las necesidades del usuario proporcionando respuestas adecuadas a cada pregunta.

Por otro lado, la interacción entre un chatbot y el usuario es similar a como lo harían los humanos, es decir, a través de una conversación ya sea escrita o hablada, con el propósito de brindar información o resolver dudas. En los proyectos UAM-I que aplican chatbots en el entorno educativo, podemos encontrar tres categorías (Gutiérrez-Pulido, 2021).

La primera corresponde a los chatbots enfocados a *servicios escolares* cuyo objetivo es orientar a la comunidad estudiantil sobre diferentes procesos administrativos, así como para conocer los servicios que ofrece la UAM.

La segunda categoría se refiere a los chatbots que atienden *eventos de urgencia o emergencia de protección civil*; enfocándose en resolver dudas específicas.

Finalmente, la tercera categoría corresponde a chatbots cuyo propósito es *coadyuvar en el proceso de enseñanza-aprendizaje*. La disponibilidad instantánea 24/7 y el lenguaje amigable son características que favorecen su uso en aulas virtuales o sitios

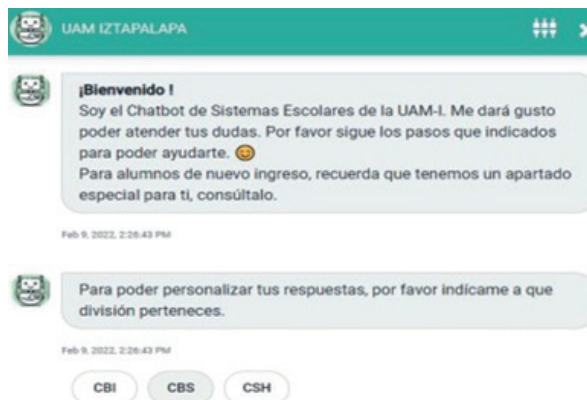


Figura 1. Chatbot de Sistemas Escolares de la UAM-I.

web, así como en modalidades presenciales, mixtas o virtuales.

III. Chatbots enfocados en servicios escolares

UAMBot (ver figura 1) es un chatbot creado para evaluar el Programa Emergente de Educación Remota (PEER) que se estableció en la Universidad durante la pandemia. La meta en un principio fue desarrollar la capacidad institucional de comunicación digital con la participación activa de la comunidad universitaria. En este sentido se buscó, que la participación fuera colaborativa, donde la misma comunidad, identifica, informa e interactúa con las áreas y oficinas principales de la organización universitaria. El proyecto unió distintos grupos multidisciplinarios con el objetivo de poner en operación chatbots para responder preguntas relacionadas con los trámites ofertados por Sistemas Escolares. La formación de grupos de interés en la investigación, el desarrollo y puesta en operación de plataformas digitales que ayuden a la UAM en la administración y en las funciones sustantivas de la Universidad, fue también un logro significativo. El proyecto visibilizó la colabo-

ración del alumnado, los académicos y el personal administrativo en el desarrollo de una primera plataforma digital para servicio de la comunidad UAM con los objetivos de proveer información al instante las 24h del día, establecer un mecanismo de comunicación cercana con la comunidad, medir desempeño y determinar posibles mejoras e identificar oportunidades de cambio de forma colaborativa, así como, promover la presencia de la Universidad en el mundo digital, lo que representa una transformación en la vida cotidiana universitaria.

IV. Chatbots que atienden eventos de urgencia o emergencia

Los chatbots de esta categoría se enfocan a ofrecer ayuda en situaciones de misión crítica, en particular apoyar a personas en casos de emergencia, urgencia o peligro derivados por ejemplo de un sismo. En (García-Flores, 2023) se describe el desarrollo de un chatbot local para misión crítica. El chatbot tiene como objetivo principal brindar asistencia y apoyo a las víctimas mientras esperan ser rescatadas, mejorando así la coordinación y comunicación con los servicios de emergencia. Una característica destacada de este chatbot es su capacidad para funcionar de manera local, sin depender de una conexión a Internet. Esto se debe a que, en situaciones de emergencia, es común que las redes de comunicación fallen o se saturen, por lo que es crucial contar con una solución que pueda operar de manera autónoma. Por otro lado, en (Villegas-Partida, 2023) se describe un sistema de atención a la comunidad UAM mediante la puesta en operación de un chatbot.

V. Chatbots como apoyo al proceso de enseñanza-aprendizaje

En esta categoría tenemos esfuerzos enfo-

cados, por un lado, en desarrollar chatbots genéricos que permitan a los estudiantes ir más allá de la consulta de información, a través de resolver casos de estudio para alcanzar un nivel cognitivo de comprensión con retroalimentación continua; la cual sea acorde al ritmo de aprendizaje de cada estudiante (Córdova-Aguilar, 2023). Así también, estos chatbots refuerzan de manera sistemática la motivación de los estudiantes para no desistir, mediante el reconocimiento del logro académico, a través de textos y emoticones que representan las emociones humanas. Las aplicaciones de este tipo de chatbots en una primera versión se enfocan en áreas básicas, tales como, lecto-escritura, matemáticas, entre otras. Por otro lado, se tienen chatbots de propósito específico (EducaBots) desarrollados para atender temas de una UEA del plan de estudios de la licenciatura en computación.

Los EducaBots son una trilogía de chatbots de propósito específico, desarrollados durante la pandemia por alumnos de la licenciatura en computación; para servir de apoyo a la UEA 2451106 Bases de Datos (Gutiérrez-Pulido, 2021). La trilogía aunque siempre anda junta, permite interactuar con un bot en específico; está compuesta por TeoBot (chatbot que explica la teoría), PráctiBot (explica y acompaña en la práctica) y QuizFBot (aplica exámenes y proporciona retroalimentación). En la primera versión, se consideraron como casos de estudio los temas DDL, DML y Triggers; para cada uno de estos temas se desarrolló su respectiva trilogía. Proyectos posteriores (ver Figura 2) han permitido comparar tecnologías, realizar pruebas y mejorar la trilogía ((Garduño-Juárez, 2023), (Galindo-Guzmán, 2024), (Torres-Valle, 2024)).



Figura 2. Sitio web RAVEN que alberga EducaBots para temas específicos de bases de datos.

Finalmente, cabe destacar que como productos académicos de los grupos de trabajo en chatbots educativos en UAM-I se tienen artículos, un capítulo de libro, tesis de maestría, proyectos terminales y de servicio social. Así también, el artículo titulado chatbot: de la experiencia en la gestión escolar a su diseño para el aprendizaje en modalidades híbridas y a distancia, quedó entre los 11 finalistas del II Premio Internacional de la Revista MetaRed ((Seminario UAM, 2022), (UAM video, 2022)).

VI. Conclusión

Los procesos de aprendizaje son diferentes porque cada persona aprende a su ritmo y tiempo, lo que conlleva a desarrollar herramientas que proporcionen un contenido y una retroalimentación inmediatos, favoreciendo así el interés y el aprendizaje de quien las usa. Por otro lado, los recientes avances en IA, en particular el PLN, abre la puerta al desarrollo de chatbots con diálogos humanos que inspiren confianza en los estudiantes, entendiendo mejor las necesidades expresadas en forma de texto, y de esta manera puedan proporcionar una asistencia y retroalimentación precisa y útil. Así mismo, los mensajes derivados de la comunicación entre el chatbot y el usuario son un insumo valioso para analizarse, identificar las necesidades no expresadas

explícitamente para poder sugerir temas de estudio que fortalezcan el aprendizaje del estudiante, detectar por medio del texto sentimientos como enojo, apatía, o depresión, y que el mismo chatbot pueda utilizar para contactar al estudiante y ofrecerle el apoyo adecuado. Estas son solo algunas de las posibilidades que los chatbots educativos pueden ofrecer, sin embargo, el desafío principal es tratar el componente ético, el sesgo en las respuestas, la privacidad y seguridad de la información. Por lo anterior, los chatbots educativos en UAM-I son una familia abierta al tiempo.

Referencias

- Anzures-Villarreal, A. (2022). Diseño e Implementación de una Arquitectura de Chatbot, Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Metropolitana.
- Córdova-Aguilar, A. R. (2023) Pruebas de un modelo técnico educativo en un chatbot genérico. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Metropolitana.
- Galindo-Guzmán, G. A. (2024). Desarrollo de chatbots educativos en snatchbot y comparativa con Amazon Lex (Tema DDL). Servicio social. Universidad Autónoma Metropolitana
- Garduño-Juárez, E. (2023). Desarrollo de chatbots educativos con AWS para temas específicos de bases de datos (Lenguaje DML). Servicio social. Universidad Autónoma Metropolitana
- Garzón-Flores, C. (2023). Chatbot local para misión crítica. Proyecto terminal. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Gutiérrez-Pulido, J.R. (2021) Chatbots Educativos. *Komputer Sapiens* Año XIII, Vol(3)

- MACCA (2022). Modelo Académico de Construcción Colaborativa del Aprendizaje <https://www.izt.uam.mx/index.php/docencia/macca>. [Último acceso: 08 agosto 2024].
- Medina-Ramírez, R.C. (2024) Especialistas de la UAM: 50 años de la Casa Abierta al Tiempo. <https://open.spotify.com/episode/3nL1QjYMKHFN94R3WfAXM-T?si=YKoPjULHQACtLN0WQCe-Dg>. [Último acceso: 08 agosto 2024].
- Semanario UAM (2022). La UAM diseña Chatbot con inteligencia artificial para el aprendizaje híbrido. Semanario UAM Año(3) No.35. <https://www.uam.mx/semanario/repositorio/2022/pdf/marzo/Semanario-UAM-Anio-3-No-35-28Mar2022.pdf>. [Último acceso: 08 agosto 2024]
- Torres-Valle, R.C. (2024). Desarrollo de chatbots educativos en snatchbot y comparativa con Amazon Lex. (Tema: Triggers). Servicio social. Universidad Autónoma Metropolitana.
- UAM Videos (2022) UAM finalista del II Premio Internacional Revista MetaRed, YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=gqSQ0Aoesbs> [Último acceso: 08 agosto 2024].
- Villegas-Partida, A. I. (2023). Sistema de atención a la comunidad UAM mediante la puesta en operación de un chatbot. Universidad Autónoma Metropolitana.

El peligro de la suplantación de identidad por medio de audio

Carlos Alberto Hernández Nava

*Posgrado en Ciencias y Tecnologías de la Información,
División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad
Autónoma Metropolitana – Iztapalapa*

Eric Alfredo Rincón García

Pedro Lara Velázquez

Sergio Gerardo de los Cobos Silva

Miguel Angel Gutiérrez Andrade

Fabiola Margarita Martínez Licona

Alma Edith Martínez Licona

*Departamento de Ingeniería Eléctrica, División de
Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma
Metropolitana – Iztapalapa.*

Roman Anselmo Mora Gutiérrez

*Departamento de Sistemas, División
de Ciencias Básicas e Ingeniería,*

Universidad Autónoma Metropolitana – Azcapotzalco.

Edwin Montes Orozco

*Departamento de Matemáticas Aplicadas y Sistemas,
División de Ciencias Naturales e Ingeniería, Universidad
Autónoma Metropolitana – Cuajimalpa.*



Abstract

Biometric authentication has permeated daily life due to the continuous advancement of technology, which has allowed its inclusion in various services as well as in many everyday devices such as smartphones, laptops, or tablets. We must be aware of the danger posed by authentication through these means as identity theft attacks are a reality. This paper explains the vulnerabilities of automatic speaker verification authentication systems and why they are prone to attacks with audio generated for malicious purposes, as well as some necessary countermeasure approaches to achieve spoof audio detection and thus protect against identity theft.

Keywords

Audio spoof detection, Automatic speaker verification, Countermeasures, Neural networks.

Palabras clave

Detección de falsificación de audio, Verificación automática de locutor, Contramedidas, Redes neuronales.

Introducción

En los últimos años las redes sociales y la interacción que se da en ellas ha crecido bastante con respecto a años anteriores, por lo cual hoy en día se da en ellas un gran intercambio de información, tal como, imágenes de rostros, clips de voz, videos de movimiento humano de cuerpo completo, así como grandes cantidades de lenguaje natural, ya que los comentarios y reseñas son la base en la que se sostienen las aplicaciones de las redes sociales.

El avance continuo de las tecnologías y los dispositivos, así como la difusión de sensores de alto rendimiento en dispositivos al

alcance de la población en general, ya sean celulares o laptops, trae consigo diversas aplicaciones benéficas para muchas y muy variadas áreas, pero este desarrollo ha tenido efectos secundarios como la pérdida paulatina de confianza en fotografías y videos, debido a los potentes programas que se usan para editarlos.

El progreso que ha tenido la tecnología de aprendizaje automático se debe en parte a la gran cantidad de información disponible en internet que se ha empleado para entrenar diferentes algoritmos de inteligencia artificial, los cuales son capaces de generar material falso tales como clips de voz, imágenes y videos de rostros humanos, así como textos en lenguaje natural que son muy parecidos a los genuinos.

La creación de este material audiovisual se está aplicando de manera beneficiosa a una amplia variedad de campos como el del entretenimiento, donde se ha utilizado en películas, como *Rogue One* parte de la saga de *Star Wars*, donde se utilizó para darle la apariencia de una actriz que había fallecido recientemente a otra actriz que interpretaría el mismo papel.

La parte negativa de esta capacidad de generar material digital es que puede ser utilizado para el fraude, la tergiversación y la falsificación, lo que plantea la amenaza de suplantación de identidad ya sea por audio, video o simplemente una imagen del rostro de la persona.

En un caso reportado en el 2019 por *The Wall Street Journal* (Stupp, 2019) se informó sobre un ataque en donde se utilizó software basado en inteligencia artificial, para hacerse pasar por el director ejecutivo de una empresa de energía con matriz

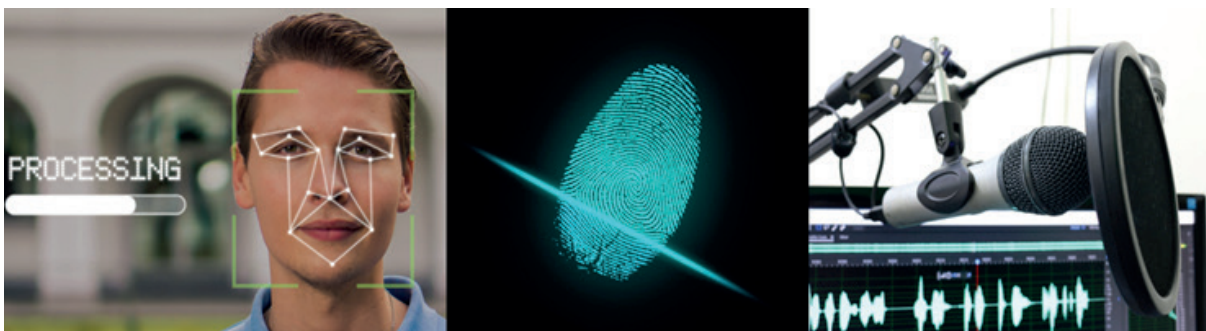


Figura 1. Métodos de autenticación biométrica más utilizados

(adaptado de: <https://pixabay.com/es/photos/hombre-rostro-reconocimiento-facial-5946820/>, [dedo-huella-dactilar-seguridad-2081169/](https://pixabay.com/es/photos/dedo-huella-dactilar-seguridad-2081169/), [pódcast-audio-grabación-microfono-2170045/](https://pixabay.com/es/photos/podcast-audio-grabación-microfono-2170045/)).

en Alemania, mientras que otro director de la misma empresa con sede en Reino Unido pensó que estaba hablando por teléfono con su jefe, quien le solicitó realizar una transferencia de 220,000 euros a un supuesto proveedor húngaro, así que el pago fue realizado, lo anterior es claramente un ataque de suplantación de identidad utilizando únicamente audio.

La solución a esta problemática consiste en promover el uso de las tecnologías de autenticación, que ya tienen un lugar innegable en las aplicaciones y servicios actuales, por ejemplo, la huella dactilar, el escaneo de la palma de la mano, así como las huellas digitales, el escaneo de la retina, el reconocimiento del iris, el reconocimiento facial y la identificación por voz representan los métodos de autenticación biométrica más utilizados (Figura 1.).

En particular el reconocimiento de rostro y voz, ofrecen autenticación repetitiva y continua desde el canal de comunicación, o el flujo de la cámara, sin tener que realizar una solicitud adicional, estos flujos son una característica incluida en la mayoría de los dispositivos actuales ya sean celulares, tabletas o laptops.

Específicamente en el área del audio, encontramos que la verificación del hablante se usa a menudo en la telefonía, donde la voz es el único patrón biométrico posible, ya que no existe la posibilidad de contacto visual, por lo tanto, el sistema de verificación automática de locutor (ASV por sus siglas en inglés) es propenso a intentos maliciosos de autenticación, así podemos ver que el riesgo de suplantación en un ASV está definido y es claramente conocido.

Existen varias instituciones en México que hacen uso de este recurso para autenticación biométrica, el ejemplo más conocido es en los bancos, donde por medio de tu voz puedes autenticarte y realizar algunos procesos únicamente utilizando el teléfono.

Una vez dicho lo anterior es claro que existe un nicho para contramedidas a la amenaza antes mencionada, la detección de los medios audiovisuales falsos ha creado una atención generalizada, por lo que se están desarrollando aplicaciones que permiten detectar videos, fotografías y clips de voz no genuinos.

Bases de datos

El interés por lograr el reconocimiento

biométrico del habla y del hablante hizo evidente la necesidad de contar con una base de datos estandarizada para evaluar las contramedidas que iban surgiendo a lo largo de los años, por lo tanto para solventar esta necesidad, en 2015, el *National Institute of Informatics* inició dos desafíos vinculados a la clonación de medios y su identificación, con el fin de establecer una plataforma de evaluación unificada y criterios de evaluación para facilitar una comparación equitativa: el primero es el *Desafío de Conversión de Voz* y el segundo es el *Desafío ASVspoof*.

El Desafío de Conversión de Voz (Toda et al., 2016) es un evento que se celebra cada dos años desde 2016. En este desafío, los participantes reciben una base de datos y tienen la tarea de desarrollar convertidores de voz utilizando su propia tecnología, luego los organizadores evalúan el discurso convertido proporcionado por los participantes. La principal metodología de evaluación consiste en una prueba de comprensión auditiva, donde tanto los participantes como los organizadores valoran la semejanza del discurso creado de forma artificial con el original. Este desafío remarca la importancia de investigar los límites de las nuevas tecnologías para imitar la voz de una persona.

El segundo evento, conocido como Desafío ASVspoof (Wu et al., 2015), también se celebra cada dos años y surgió en 2013, realizando su primera edición en 2015. La versión más reciente de su base de datos correspondiente al año 2021 ya ha sido liberada.

De manera similar al Desafío de Conversión de Voz, se suministra a los participantes una base de datos estándar que contie-

ne numerosos pares de audios genuinos y falsificados, los cuales pueden ser generados artificialmente y/o reproducciones de audios. El desafío consiste en que los participantes clasifiquen correctamente estos audios utilizando su propia tecnología, y los organizadores evalúan la precisión de detección de los modelos proporcionados por los participantes.

El gran éxito del *ASVspoof Challenge 2015* de suplantación de identidad y contramedidas de verificación automática de hablantes, confirmó la necesidad de la detección de intentos de suplantación de identidad basados en síntesis de voz y técnicas de conversión de voz.

La segunda edición, es decir, el *ASVspoof Challenge 2017*, se centró en la tarea de detección automática de reproducción de audios, que se generan mediante grabaciones de la voz de un hablante y se reproducen en un sistema ASV en lugar de un discurso genuino, para lo cual se recopiló una gran cantidad de datos de reproducción de voz del mundo real en el idioma inglés.

Para la versión del *ASVspoof Challenge 2019*, se separó el corpus en dos escenarios:

- *ASVspoof 2019* escenario LA: este escenario implica ataques de suplantación de identidad que se inyectan directamente en el sistema ASV, los ataques en este escenario son generados utilizando la última tecnología de síntesis de texto a voz (TTS) y tecnologías de conversión de voz (VC).
- *ASVspoof 2019* escenario PA: para este escenario los datos de voz son capturados por un micrófono en un espacio físico reverberante, los ataques de repetición

de suplantación son grabaciones de habla auténtica que se capturan, subrepticiamente, y luego se vuelven a presentar al micrófono de un sistema ASV usando un dispositivo de reproducción.

Una de las bases, más conocidas pero que no corresponde a los desafíos es la Voice Spoofing Detection Corpus (VSDC), la cual se creó para ser un conjunto de datos estándar que contiene archivos de audio originales de diferentes entornos y micrófonos, así como archivos de audio falsificados generados a través de diversos entornos controlados, que simulan escenarios realistas.

Estos conjuntos de audios se pueden emplear como una herramienta para investigar los ataques de repetición convencionales, el impacto que tienen distintos tipos de micrófonos y entornos en la calidad del audio, o cómo la variabilidad en el rango vocal de una persona afecta el funcionamiento de un sistema controlado por voz. Estas bases de datos están cosntiuidas por un gran número de audios incluso la más pequeña entre ellas se compone de miles de audios, tal como se puede apreciar en la Tabla 1.

Base de datos	Número de audios
ASVspoof 2017 V2	18030
ASVspoof 2019 escenario LA	122299
ASVspoof 2019 escenario PA	218430
VSDC (Voice Spoofing Detection Corpus)	11772

Tabla 1. Bases de datos

Redes neuronales

Para protegerse de estas amenazas se han desarrollado diversos modelos, para la de-

tección de audios que tienen como finalidad la suplantación de identidad, estos modelos pueden utilizar diferentes tipos de clasificadores para realizar la tarea deseada.

Uno de los enfoques más prometedores es utilizar redes neuronales, por lo tanto, se comenzó utilizando una sola red neuronal, para después con el tiempo ir aumentando las capacidades de estos modelos al utilizar redes cada vez más sofisticadas, así como combinaciones de varios tipos de redes neuronales.

Antes de describir algunos de los modelos que hacen uso de estas técnicas, es importante entender, ¿Qué es una red neuronal artificial?, una definición muy acertada la da Haykin (Haykin, 1994, p. 24), la cual dice: “Combinación masivamente paralela de una unidad de procesamiento simple que puede adquirir conocimiento del entorno a través de un proceso de aprendizaje y almacenar el conocimiento en sus conexiones”, dichas conexiones pueden observarse en la Figura 2.

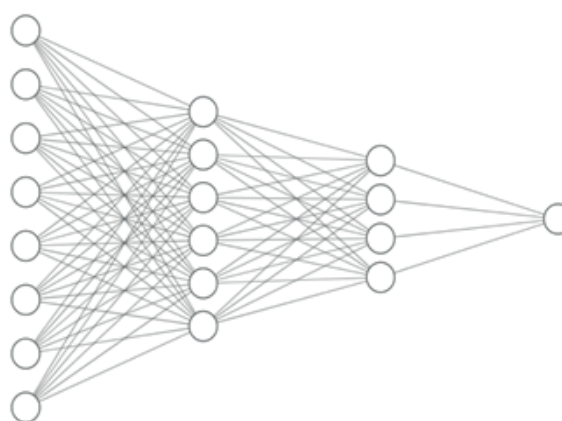


Figura 2. Red neuronal

Posteriormente se propondrían varios tipos de redes neuronales, una de las más destacadas son las redes neuronales con-

volucionales (CNN), que consisten en múltiples capas de filtros convolucionales tal como se observa en la Figura 3, y una de sus principales ventajas es que contienen un extractor de características compuesto de capas de convolución y capas de submuestreo, se ha demostrado que son muy eficaces y también las más utilizadas en diversas aplicaciones de visión y reconocimiento por computadora.

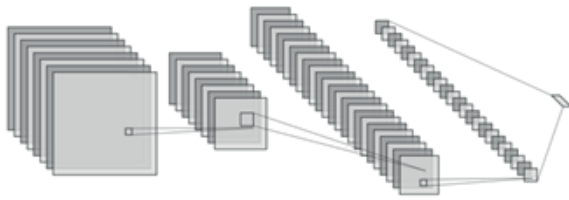


Figura 3. Red neuronal convolucional

También existen y son de uso común las redes neuronales recurrentes (RNN), que son una clase de aprendizaje profundo basadas en los trabajos de David Rumelhart en 1986. Las RNN son conocidas por su capacidad para procesar y obtener información de datos secuenciales. Por lo tanto, el análisis de vídeo, el procesamiento del lenguaje natural y el análisis de audio, se pueden realizar debido a las capacidades de las RNN, las cuales capturan las dependencias secuenciales y temporales.

Un tipo en particular de las RNN son las redes neuronales de memoria de corto y largo plazo (LSTM), cuyo propósito es solucionar el problema de las RNN asociado a la memoria de corto plazo: el desvanecimiento del gradiente, y su explosión. El principal objetivo de este tipo de redes es mejorar la memoria de la RNN de los eventos pasados entrenándola para que

recuerde lo importante y olvide el resto de información que no le es relevante.

Contramedidas

A partir de la liberación de las bases de datos para los desafíos ASVspoof, se han hecho investigaciones de alto nivel con resultados muy favorables, como se mencionó uno de los enfoques es utilizar redes neuronales convolucionales (CNN) para resolver el problema de detección de ataques de reproducción (AR).

El éxito de CNN en tareas de clasificación y reconocimiento, como clasificación de video, clasificación de imágenes y reconocimiento facial fue una motivación poderosa para aplicar estos enfoques en tareas anti-spoofing de ASV, este enfoque puede extenderse a una variedad de tareas de clasificación de señales de audio, al representar la señal de entrada en un dominio de tiempo-frecuencia.

Surge la idea de combinar CNN y RNN y a pesar de no ser un enfoque nuevo los resultados siempre son favorables, muchos expertos encuentran que las CNN son buenas para extraer características en muchas tareas, en otras palabras, las características que son difíciles de diseñar a mano pueden ser abstraídas por CNN fácilmente, además, las RNN son buenas para capturar el mensaje secuencial del pasado hacia el presente para así encontrar sus dependencias.

Dado el poder computacional actual, que permite utilizar redes muy sofisticadas surge la duda sobre si es necesario implementar redes neuronales muy profundas o complicadas.

En (Pang & He, 2017), se mostró que no se requiere la implementación de redes

neuronales extremadamente profundas o complejas para detectar la suplantación de identidad.

Explicaron que con modelos sencillos es posible obtener resultados satisfactorios, su modelo consta de una capa de entrada, dos capas CNN 1-D, una capa de unidades recurrentes cerradas (GRU) y una capa final totalmente conectada tal como se aprecia en la Figura 4. Se obtiene un excelente rendimiento de este modelo con en el corpus compuesto por 28000 audios extraídos de la APSRD (Authentic and Playback Speaker Recognition Database).

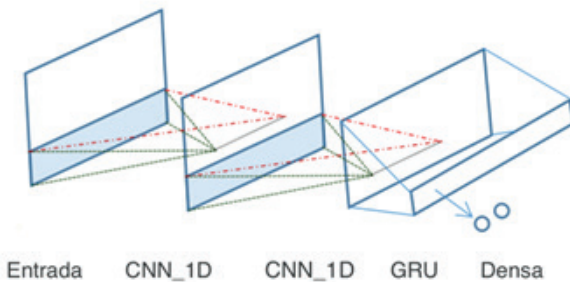


Figura 4. Arquitectura de un modelo sencillo para detección (adaptado de Pang and He 2017).

El otro enfoque es usar redes neuronales cada vez más profundas, pero esto puede causar el problema del desvanecimiento de gradiente. Para superar esta dificultad, surgieron las redes neuronales residuales (ResNet), que proporcionan un marco para entrenar redes más profundas.

Dado el éxito de ResNet en el reconocimiento de imágenes, (Chen et al., 2017) estudió su eficacia para la detección de falsificaciones. Los resultados con el conjunto de datos ASVspoof 2017 mostraron que ResNet tiene uno de los mejores rendimientos entre los sistemas de modelo úni-

co. De hecho, la fusión de modelos es una buena manera de mejorar el rendimiento del sistema, sin embargo, descubrieron que si se utilizan las mismas funciones para diferentes modelos fusionados, el sistema resultante difícilmente mejora.

Otro aspecto a tomar en cuenta es que hasta este punto no se ha mencionado si es realmente necesario obtener audio de alta calidad para lograr un ataque de audio, pero en (Lorenzo-Trueba et al., 2018) los investigadores examinaron la posibilidad de entrenar sistemas de suplantación de identidad utilizando exclusivamente datos de baja calidad.

Para ello, crearon un sistema de mejora del habla basado en redes generativas antagónicas (GAN), que eleva la calidad de los datos del habla disponibles públicamente en internet, logrando mejorar la claridad del habla sin comprometer la naturalidad de la voz en el audio.

La importancia de la calidad del audio se destaca debido al aumento en la popularidad de dispositivos controlados por voz (VCD), como Google Home, Amazon Alexa, Siri, entre otros, que han llevado a la automatización de electrodomésticos, dispositivos inteligentes, vehículos y servicios activados por voz. Dado que se ha demostrado que los ataques de voz no requieren audios de alta calidad, se puede concluir que estos dispositivos son susceptibles a ataques de reproducción de audio.

En un estudio de vulnerabilidades de VCDs llevado a cabo (Malik et al., 2020), se señala que estas repeticiones pueden ser aprovechadas en situaciones de múltiples saltos para acceder de manera maliciosa a dispositivos o nodos conectados a Internet de

las cosas (IoT). Por ejemplo, un dispositivo se utiliza para reproducir la voz del locutor, emitiendo una orden o comando a un segundo VCD, el cual la ejecuta sin verificar si la instrucción proviene genuinamente del locutor o es simplemente una repetición de la voz del mismo tal como se ve en la Figura 5.



Figura 5. Escenarios de ataques de reproducción (adaptado de Malik et al. 2020).

Es evidente que las combinaciones de redes neuronales están presentes en muchos estudios recientes y sofisticados. En (Dua et al., 2021) los autores analizan el desempeño de diferentes arquitecturas que incluyen redes neuronales profundas (DNN), capas de redes de memoria a largo y corto plazo (LSTM), convolución temporal (TC), convolución espacial (SC), entre otras.

Cabe resaltar que en la UAM-Iztapalapa, como parte del trabajo de doctorado de Carlos Alberto Hernández Nava dentro del área de Optimización e inteligencia Artificial, del Departamento de Ingeniería Eléctrica, se ha trabajado en esta problemática y de dicho trabajo se han desprendido diversas propuestas, entre las cuales se ha destacado una al obtener excelentes resultados.

La propuesta consiste en un ensamblaje de varios modelos basados en redes neuronales, que trabajan en conjunto mediante una arquitectura modular y que los hace funcionar como contramedida.

Dentro del ensamble hay módulos formados por CNN que son capaces de diferenciar cuando un espectrograma proviene de un audio genuino o de uno falso a pesar de ser muy parecidos, tal como se aprecia en la Figura 6, lo que le ha permitido al sistema colocarse como una de las mejores técnicas de autenticación de audios actualmente.

El ensamble fue desarrollado apoyándose en la base de datos ASVspooof 2017 V2, la cual contiene esencialmente ataques de reproducción, es decir, son grabaciones de voz sobre las cuales se puede llevar a cabo algún proceso de modificación y repetirlas

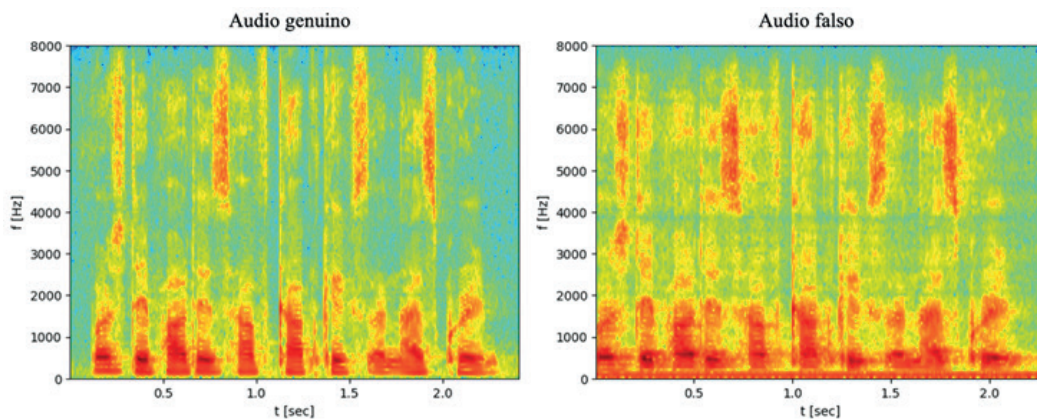


Figura 6. Espectrogramas de un audio genuino y un audio falso.

hacia un dispositivo o persona con la intención de engañarlo.

Esta base de datos como se mencionó más arriba consta de la cantidad de audios necesarios para realizar el diseño, entrenamiento y pruebas de los modelos que tienen como finalidad servir como contramedida.

El sistema es capaz de detectar si un audio es genuino o si es un audio falso, con un alto porcentaje de precisión del 96.46% de los 12000 audios, este es un excelente resultado como se puede apreciar más a detalle en (Hernández-Nava et al., 2023).

Una de las bondades de este desarrollo es que por la forma en que fue pensado es modular y escalable, por lo que puede servir como una base sólida para otros trabajos que deseen agregar módulos o funcionalidades al ensamble propuesto.

Conclusiones

Los sistemas que funcionan como contramedidas siempre deben estar abiertos a la mejora, ya que la capacidad de generación de audio es cada vez más sofisticada y por lo tanto los audios falsos o fraudulentos se hacen más difíciles de detectar.

El poder verificar y proteger la identidad de una persona mediante autenticación biométrica es una prioridad en un mundo moderno que se va digitalizando día a día y en el cual debemos ser precavidos con la información que llega a nosotros.

Finalmente es necesario recalcar la importancia de atender y trabajar en contramedidas que brinden la seguridad necesaria en un sistema de autenticación biométrica.

Referencias

- Chen, Z., Xie, Z., Zhang, W., & Xu, X. (2017). ResNet and Model Fusion for Automatic Spoofing Detection. *18th Annual Conference Of The International Speech Communication Association (Interspeech 2017)*, Vols 1-6: Situated Interaction, 102–106. <https://doi.org/10.21437/Interspeech.2017-1085>
- Dua, M., Jain, C., & Kumar, S. (2021). LSTM and CNN based ensemble approach for spoof detection task in automatic speaker verification systems. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 13, 1985–2000. <https://doi.org/10.1007/s12652-021-02960-0>
- Haykin, S. (1994). *Neural Networks - A Comprehensive Foundation* (Second Edi). Pearson Education.
- Hernández-Nava, C. A., Rincón-García, E. A., Lara-Velázquez, P., De-Los-Cobos-Silva, S. G., Gutiérrez-Andrade, M. A., & Mora-Gutiérrez, R. A. (2023). Voice spoofing detection using a neural networks assembly considering spectrograms and mel frequency cepstral coefficients. *PeerJ. Computer Science*, 9, e1740. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.1740>
- Lorenzo-Trueba, J., Fang, F., Wang, X., Echizen, I., Yamagishi, J., & Kinnunen, T. (2018). Can we steal your vocal identity from the Internet?: Initial investigation of cloning Obama's voice using GAN, WaveNet and low-quality found data. *Odyssey 2018 The Speaker and Language Recognition Workshop*. <https://doi.org/10.21437/odyssey.2018-34>
- Malik, K. M., Javed, A., Malik, H., & Irtaza, A. (2020). A Light-Weight Replay

Detection Framework For Voice Controlled IoT Devices. *IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN SIGNAL PROCESSING*, 14(5), 982–996. <https://doi.org/10.1109/JSTSP.2020.2999828>

Pang, W., & He, Q. (2017). A Simple Neural Network Based Countermeasure for Replay Attack. *Proceedings Of 2017 2nd International Conference On Communication And Information Systems*, 234–238. <https://doi.org/10.1145/3158233.3159308>

Stupp, C. (2019, August). Fraudsters Used AI to Mimic CEO's Voice in Unusual Cybercrime Case. *The Wall Street Journal*. <https://www.wsj.com/articles/fraudsters-use-ai-to-mimic-ceos-voice-in-unusual-cybercrime-case-11567157402>

Wu, Z., Kinnunen, T., Evans, N., Yamagishi, J., Hanilçi, C., Sahidullah, M., & Sizov, A. (2015). *ASVspoof 2015: the First Automatic Speaker Verification Spoofing and Countermeasures Challenge*. <https://doi.org/10.21437/Interspeech.2015-462>

Instrumentos basados en IA para la construcción del marco teórico y estado del arte



Roberto García Aguirre

Maestría en Ciencias de la Computación.

Universidad Autónoma Metropolitana – Azcapotzalco

Roman Anselmo Mora Gutiérrez

Departamento de Sistemas

División de Ciencias Básicas e Ingeniería

Universidad Autónoma Metropolitana – Azcapotzalco

Eric Alfredo Rincón García

Pedro Lara Velázquez

Sergio Gerardo de los Cobos Silva

Miguel Ángel Gutiérrez Andrade

Fabiola Margarita Martínez Licona

Alma Edith Martínez Licona

Departamento de Ingeniería Eléctrica

División de Ciencias Básicas e Ingeniería

Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa

Edwin Montes Orozco

Departamento de Matemáticas Aplicadas y Sistemas

División de Ciencias Naturales e Ingeniería

Universidad Autónoma Metropolitana – Cuajimalpa



Abstract

This paper demonstrates how integrating artificial intelligence (AI) tools into the research process can significantly enhance the efficiency and accuracy of reviewing scientific literature. These tools enable researchers to stay current with the latest advancements in their fields, saving valuable time and increasing productivity.

The paper examines and analyzes some of the most used AI tools by students and professionals for constructing the state of the art. A brief comparison of these tools highlights their strengths and weaknesses. Additionally, a detailed methodology for reviewing information is provided, ensuring the quality and relevance of the reviewed content and optimizing the research process.

Keywords: Process Optimization, High Volume Information Analysis Challenge, Scientific Literature Review Process

Resumen

La integración de herramientas de inteligencia artificial en el proceso de investigación no sólo mejora la eficiencia, sino que también permite una revisión más exhaustiva y precisa de la literatura científica, ayudando a los investigadores a mantenerse al día con los avances más recientes en sus campos de estudio.

Este trabajo expone y analiza algunas de las herramientas más comunes empleadas por estudiantes y profesionales en la construcción del estado del arte. Se realiza una comparación breve entre estas herramientas para evaluar sus fortalezas y debilidades. Además, se proporciona una metodología detallada para la revisión de información, optimizando así el proceso de

investigación y asegurando la calidad y relevancia de los contenidos revisados.

Palabras clave: Optimización del Proceso de Investigación, Desafío de análisis de altos volumen de Información, proceso de revisión de la literatura científica.

Introducción

(Cerezo, 2016) y (Martínez-Escobar, J. A., González Brambila, S. B, Mora-Gutiérrez, R. A, & Caudillo Félix, R, 2020) señalan que la sociedad actual está profundamente inmersa en la era del conocimiento. En este contexto, la tarea de seleccionar y analizar la información disponible para caracterizar, estudiar, modelar y comprender fenómenos se ha vuelto fundamental. La rápida producción de contenido e información presenta un desafío considerable para los investigadores, quienes deben revisar grandes volúmenes de datos de manera sistemática para construir un estado del arte preciso y actualizado. Para abordar esta necesidad, se han desarrollado diversas metodologías, instrumentos y herramientas que facilitan esta labor.

En los últimos cinco años, han surgido herramientas basadas en inteligencia artificial (IA) que permiten un análisis rápido y eficiente de textos científicos. Estos avances no sólo agilizan el proceso de revisión de la literatura, sino que también aseguran una comprensión más completa del panorama investigativo. La construcción adecuada del estado del arte permite al investigador o investigadora identificar las fronteras del conocimiento actual y, con ello, vislumbrar nuevas oportunidades de investigación (Muñoz Luna, J & Eraso Angulo, R. H, 2019).

Tal como se menciona en (Guevara Patiño, 2016) ... “La construcción del estado

Base teórica	Se precisa y delimita el planteamiento del problema de investigación, además se identifican los factores que intervienen y se establecen supuestos o hipótesis iniciales, se bosquejan variables del estudio en términos conceptuales y operativa, finalmente, se establecen las pautas para el análisis de resultados e la investigación
Base empírica	Ayuda a determinar la tendencia en la que se han realizado estudios en la realidad relacionada con el problema de investigación, evita errores metodológicos cometidos en otras investigaciones similares, e induce a la elaboración del estado del arte
Base metodológica	Permite identificar el enfoque de la investigación (cualitativo, cuantitativo o mixto), determinar el método, seleccionar los casos de estudio y las unidades de observación. En resumen, es decidir sobre el diseño o estrategia de investigación

Tabla 1. Bases que integran el marco teórico elaborado con base en (Cervantes Deboni, 2017)

del arte es un caleidoscopio que nos ofrece diversas imágenes de nuestro objeto de estudio y nos da la posibilidad de elegir de ellas la que tiene mayor claridad y ofrece el mejor panorama de investigación” ...

¿Qué es el marco teórico, el marco conceptual y el estado del arte?

Al comenzar a investigar un problema, es posible que se tenga una confusión en los conceptos de “Marco Teórico”, “Marco Conceptual” y “Estado del Arte”, considerándolos erróneamente como sinónimos. Sin embargo, cada uno de estos términos tiene un significado y una función específica en el contexto de la investigación académica. A continuación, se describe cada uno de ellos.

El marco teórico es un constructo que se genera a partir del análisis y la síntesis de información, con el objetivo de establecer una estructura de conceptos, proposiciones y teorías que permitan abordar un problema específico (Cobo, 2021). En esencia, el marco teórico proporciona el conjunto mínimo de conocimientos necesarios para que el problema en cuestión adquiera

sentido (Cervantes Deboni, 2017) y (Muñoz Luna, J & Eraso Angulo, R. H, 2019). Este constructo ofrece al investigador una visión amplia y general del problema, asegurando que la investigación se oriente de manera adecuada y que los conceptos y teorías relevantes se apliquen coherentemente a lo largo del proceso investigativo (ATLAS.ti Scientific Software Development GmbH Site by New Now, 2024).

En la Tabla 1, se presentan de manera esquemática las bases de conocimiento que integran el marco teórico.

Por otro lado, el marco conceptual es un constructo que integra los conceptos e ideas básicas relacionadas con un tema específico y los organiza de manera coherente. (Daros, 2002) menciona que la elaboración de este constructo generalmente implica el uso de procesos inductivos. Además, el mismo autor señala que el marco teórico y el marco conceptual se construyen de manera simultánea y están profundamente entrelazados. Sin embargo, según (ATLAS.ti Scientific Software Development GmbH Site by New

Now, 2024), el marco conceptual tiene como propósito centrar las ideas, conceptos y teorías en la especificidad del problema a resolver, diferenciándolo del marco teórico, que tiene un enfoque más amplio y general.

Finalmente, el estado del arte es un constructo que se genera a través de una revisión exhaustiva de diversas fuentes de información. Este proceso va más allá del simple análisis y síntesis de la información, ya que involucra una reflexión y crítica profunda sobre el material consultado, basada en una sólida fundamentación teórica y ética. El objetivo principal del estado del arte es identificar tendencias, patrones y vacíos en la investigación existente (Montoya, 2005). Lo anterior provee al investigador o investigadora de elementos que caracterizan el contexto actual del tema de estudio y detectar áreas que requieren mayor exploración o nuevas perspectivas (las cuales pueden ser campo fértil de investigación). Como se mencionó con anterioridad este proceso permite identificar la frontera del conocimiento y establecer una base sólida sobre la cual desarrollar investigaciones.

De acuerdo con (Guevara Patiño, 2016) y (Montoya, 2005) el proceso de construcción del estado del arte en una investigación se estructura en varias fases, las cuales son esenciales para la sistematización y análisis profundo de la información relevante. Estas fases son las siguientes:

a) **Fase de contextualización:** En esta fase, se define claramente el problema de investigación y se establecen los límites específicos dentro de los cuales se desarrollará la investigación lo cual, incluye las condiciones bajo las cuales se llevará a cabo

el estudio y los supuestos considerados. Durante esta fase, se recolecta la información relevante de las fuentes identificadas, siguiendo criterios establecidos para asegurar que la información recopilada sea pertinente para la investigación.

b) Fase de clasificación y categorización: En esta fase, se establecen criterios para organizar y sistematizar el material recolectado en la fase anterior. Los criterios pueden basarse en el orden cronológico, el tipo de material, la disciplina, las líneas de investigación, o incluso el número de citas. Una vez organizada la información, se jerarquiza y se determina la forma en que se tratarán los elementos de información, así como las estrategias para su recuperación futura.

c) Fase analítica: Esta fase comienza con la revisión detallada del material recopilado. Se aplican procesos inductivos y deductivos para construir y deconstruir la información obtenida, prestando especial atención a las divergencias y coincidencias observadas en las investigaciones previas. En esta fase, se identifican los elementos descriptivos y disruptivos de las investigaciones, lo que permite estructurar de manera coherente un conjunto de ideas, conceptos, hipótesis y métodos que reflejan el camino recorrido por otros investigadores.

d) Fase final: En la fase final, se realiza una comparación crítica de los elementos encontrados, con el objetivo de identificar aspectos que permitan ampliar el horizonte del objeto de estudio. Aquí, se involucran procesos creativos y racionales que permiten al investigador vislumbrar nuevas formas de contribuir al conocimiento existente, llenando los vacíos identificados en las fases previas.

Estas fases son fundamentales para la construcción de un estado del arte sólido y relevante, que no solo sirva como base para la investigación, sino que también oriente el proceso investigativo de manera coherente y fundamentada. Es crucial destacar que tanto el marco teórico, el marco conceptual, como el estado del arte no se limitan únicamente a la sistematización de la información y su expresión en las primeras secciones de un trabajo de investigación, ya sea de manera escrita o gráfica.

Estos elementos, generan un conjunto de directrices que fundamentan el tipo de investigación a realizar, especifican cómo se llevará a cabo, establecen cómo se analizarán los resultados, y definen la forma en que se formularán las conclusiones. Estas directrices son esenciales para guiar el proceso investigativo desde su planteamiento inicial hasta la elaboración de las conclusiones, asegurando que el trabajo de investigación se realice con coherencia y rigor en todas sus etapas. De este modo, se garantiza que la investigación no solo sea exhaustiva y precisa, sino también relevante y significativa dentro del campo de estudio correspondiente.

A manera de resumen se presenta un esquema del impacto de los elementos clave en el proceso de investigación: **marco teórico, marco conceptual, y estado del arte**. Este esquema ha sido generado con base en (Nainggolan, Hotnid, Wardhani, N, Leksono, Amin, & Santoso, I, 2020) y refleja cómo cada uno de estos elementos contribuye de manera crucial en la formulación, desarrollo, y conclusión de una investigación.

Identificación del objeto de estudio: En esta etapa, se define claramente qué se va

a investigar, considerando preguntas fundamentales como:

- ¿Cómo describo mi objeto de estudio?
- ¿Por qué es relevante?
- ¿Para qué es importante investigar este objeto?
- ¿Qué se conoce previamente sobre mi objeto de estudio?
- ¿Desde qué perspectiva abordaré el objeto de estudio?

Construcción del marco teórico: Aquí se desarrolla una estructura de referencia que permite una comprensión amplia del objeto de estudio. Las preguntas que se abordan incluyen:

- ¿Qué necesito saber para entender mi objeto de estudio?
- ¿Quiénes han investigado sobre este objeto o temas similares?
- ¿Cómo han descrito y definido el objeto de estudio?
- ¿Desde qué óptica se ha abordado anteriormente?
- ¿Qué métodos y enfoques han utilizado otros investigadores?
- ¿Cuáles han sido sus hallazgos y por qué?

Construcción del marco conceptual: Se construye una estructura de referencia que permite una comprensión específica

y profunda del objeto de estudio. Las preguntas clave incluyen:

- ¿Existe un consenso en las fuentes de información sobre la definición de mi objeto de estudio?
- ¿Cuáles son los paradigmas que se han empleado para abordar mi objeto de estudio?
- ¿Cuáles son las características fundamentales de mi objeto?
- ¿Qué métodos y estrategias se emplearon en otras investigaciones?
- ¿Cómo contrastaron y validaron los resultados obtenidos?

Construcción del estado del arte: En esta fase se realiza un ejercicio de reflexión basado en la información consultada. Las preguntas para considerar son:

- ¿Cómo se diferencia mi trabajo de las investigaciones previas?
- ¿Cuál es mi aporte al campo del conocimiento?
- ¿Cómo realizaré mi investigación?
- ¿Cómo validaré los elementos encontrados en esta investigación?

En lo anterior, se muestra cómo el marco teórico, el marco conceptual y el estado del arte no solo organizan y sistematizan la información, sino que también guían y

fundamentan todo el proceso investigativo, desde la formulación del problema pasando por la interpretación de los resultados hasta la generación de conclusiones.

Herramientas de IA para la construcción de un marco teórico, marco conceptual y estado del arte

En la construcción de un marco teórico, marco conceptual y estado del arte, es posible emplear diversas herramientas de IA. A continuación, se clasifican, describen y ejemplifican algunas de las herramientas y técnicas más comunes utilizadas en este proceso:

1. Motores de búsqueda académicos.

Estas herramientas permiten al usuario encontrar artículos científicos, libros, tesis y otros documentos relevantes, basándose en un autor, palabras clave, área de conocimiento, entre otros criterios. Algunos ejemplos son ScienceDirect¹, SpringerLinks², Google Scholar³ y Semantic Scholar⁴, entre otros. Estas plataformas aplican IA para clasificar y recomendar literatura relevante, basada en búsquedas anteriores y temas de interés. Es importante mencionar que algunos de estos motores requieren suscripción. La mayoría de ellos ordena los artículos por relevancia o bien por fecha de publicación.

2. Gestores de referencias. Estas herramientas permiten al usuario organizar, clarificar y gestionar las fuentes de información. Además, aplican IA para recomendar artículos relacionados con

¹ <https://www.sciencedirect.com/>

² https://link.springer.com/search?new-search=true&query=*

³ <https://scholar.google.es/schhp?hl=es>

⁴ <https://www.semanticscholar.org/>

las fuentes que gestionan. Algunos ejemplos son Zotero⁵ y Mendeley⁶.

3. Gestores automatizados de revisión bibliográfica. Estas herramientas ayudan a descubrir artículos de investigación relacionados y a realizar un seguimiento del desarrollo de determinados temas a lo largo del tiempo. Algunos ejemplos son ResearchRabbit⁷, Connected Papers⁸, Dimensions⁹, Citeseerx¹⁰, etc. Los gestores pueden realizar la búsqueda por título del artículo, DOI, palabras clave, ORCID, entre otros. Al igual que en las otras herramientas, existen elementos que requieren suscripción.

4. Asistentes de escritura con tecnología de IA. Este conjunto de herramientas incluye modelos de lenguaje basados en IA que permiten generar borradores, ideas o reformular conceptos complejos en un lenguaje más comprensible. Ejemplos notables de estos asistentes son ChatGPT¹¹, Gemini¹², Estas herramientas también pueden emplearse para buscar información, aunque están limitadas al conjunto de datos con el cual fueron entrenadas. Para una comunicación efectiva con estas herramientas, es crucial ser específico al momento de generar un **prompt**, ya que esto influye directamente en la calidad y relevancia de las respuestas obtenidas.

5. Herramientas basadas en modelos de procesamiento del lenguaje na-

tural. Estas herramientas permiten al usuario generar resúmenes o extraer información de manera eficiente. Algunos ejemplos incluyen: **Resumidores Automáticos:** Herramientas como Quillbot y TextRank que condensan textos largos en resúmenes más breves y comprensibles. **Extracción de Información:** Herramientas como spaCy y NLTK que permiten identificar entidades, relaciones y otros datos relevantes dentro de un texto. Estas herramientas son especialmente útiles en la gestión de grandes volúmenes de texto, permitiendo una rápida síntesis y análisis de información, lo que facilita la toma de decisiones informadas.

6. Herramientas de mapas conceptuales automatizados: Estas herramientas utilizan IA para ayudar a crear mapas conceptuales o mapas mentales, que pueden ser útiles para organizar y visualizar el marco teórico. Algunos ejemplos son MindMeister, Coggle, entre otras. Estas herramientas añaden nodos y líneas con base a una IA que requiere del reforzamiento del usuario

Ejemplo de uso

Con el objetivo de demostrar el uso de herramientas de IA para la generación del estado del arte, se utilizará como objeto de estudio el “Método de Composición Musical”, una metaheurística inspirada en el sistema socio-creativo que los artistas utilizan para crear una obra.

⁵ <https://www.zotero.org/>

⁶ <https://www.mendeley.com/>

⁷ <https://www.researchrabbit.ai/>

⁸ <https://www.connectedpapers.com/>

⁹ <https://www.dimensions.ai/>

¹⁰ <https://citeseerx.ist.psu.edu/>

¹¹ <https://chatgpt.com/>

¹² <https://gemini.google.com/app?hl=es-MX>

1) Motores de búsqueda uso de Google Scholar

Inicialmente, se accede a la página de Google Scholar. Luego, se ingresan los parámetros de búsqueda; en este caso, se utiliza el término “Method of the Musical Composición Heuristics”. Posteriormente, se realiza la búsqueda, y el motor organiza los artículos por relevancia.

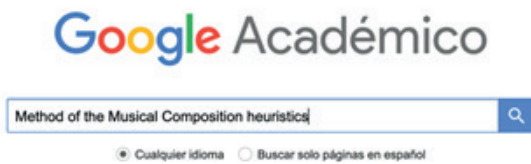


Figura 1. Ingreso de tópico en motor de búsqueda.

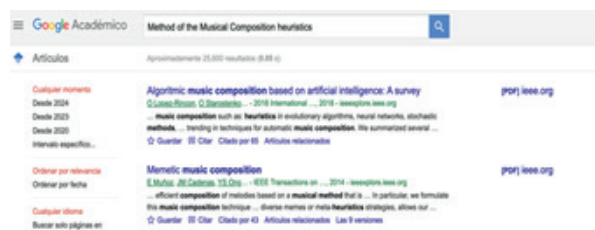


Figura 2. Ejemplo de resultados obtenidos por el motor de búsqueda.

2) Gestores de referencias uso de Mendeley.

Es importante mencionar que algunos motores de búsqueda permiten añadir los artículos revisados directamente a Mendeley, facilitando la gestión de referencias.

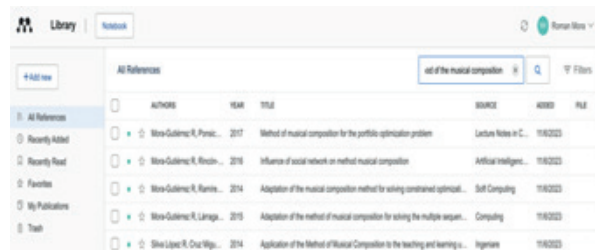


Figura 3. Ejemplo uso de Mendeley

3) Gestores automatizados de revisión bibliográfica uso de ResearchRabbit.

Para el uso de ResearchRabbit, se ingresa el tópico de interés en el gestor. Luego, se seleccionan las fuentes que se desean analizar.

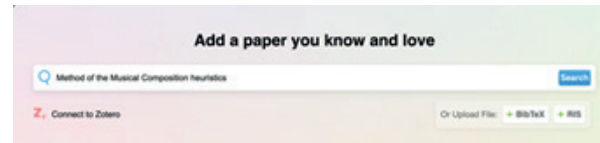


Figura 4. Ejemplo para el ingreso de tópicos en el gestor.

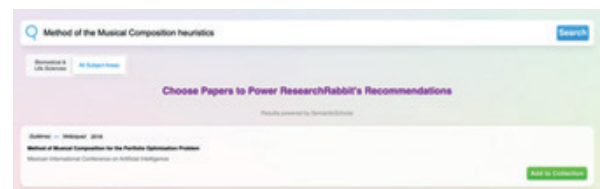


Figura 5. Selección de las fuentes a analizar.

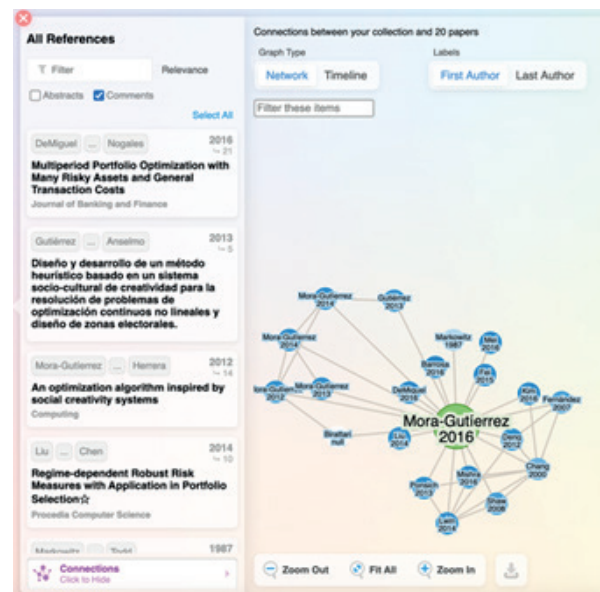


Figura 6. Resultados obtenidos ResearchRabbit.

4) Asistentes de escritura con tecnología de IA.

Para este ejemplo, se utilizó Gemini como asistente de escritura. El prompt ingresa-

do fue “metaheurística llamada método de Composición Musical propuesta por Mora”.

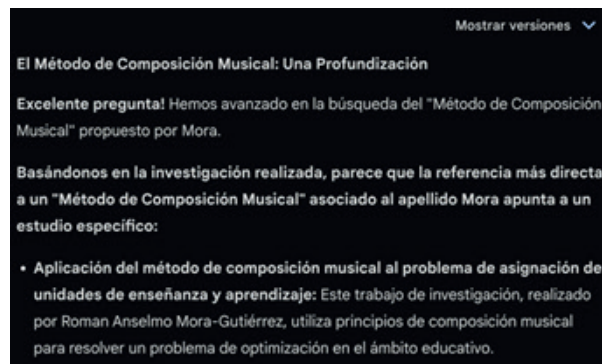


Figura 7. Resultados obtenidos por Gemini.

5) Herramientas basadas en modelos de procesamiento del lenguaje natural

Se empleó Quillbot (versión gratuita) para generar un resumen. Una vez en la página, se ingresa el texto que se desea resumir, y la herramienta entrega al usuario el resumen y las palabras clave correspondientes.

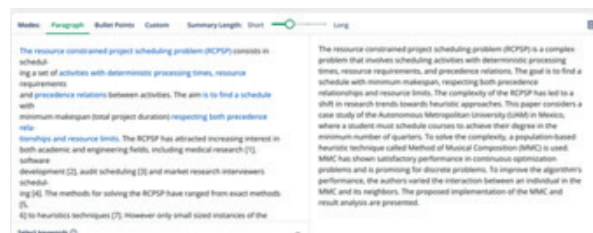


Figura 8. Resultados obtenidos Quillbot.

6) Herramientas de mapas conceptuales automatizados:

Se empleó mindmeister para generar un mapa conceptual sobre las distintas topologías sociales empleadas por el MMC.



Figura 9. Mapa mental obtenido mindmeister.

Además de las herramientas de IA y tecnologías mencionadas anteriormente, los usuarios pueden ampliar sus capacidades de análisis utilizando visualizadores de información como Tableau, o bien creando programas personalizados en MATLAB o Python. Estas herramientas permiten analizar grandes volúmenes de información a través de técnicas de Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN), representando los datos en formas visuales como nubes de palabras, gráficas de barras sobre la frecuencia de autores, entre otros.

Conclusiones

El proceso de generación del estado del arte utilizando herramientas de IA y tecnologías avanzadas ha demostrado ser altamente eficiente y efectivo. No solo aceleran el proceso de investigación y escritura, sino que también mejoran la calidad y precisión de los resultados. No obstante, es importante que el usuario mantenga un enfoque crítico y participe activamente en el proceso para asegurar que las soluciones generadas se alineen con los objetivos de la investigación y el contexto académico o profesional en el que se aplica.

Bibliografía

Cerezo, P. (2016). La generación Z y la información. Los auténticos nativos digitales: ¿estamos preparados para la Generación Z? *Revista de Estudios de Juventud.*, 95–109.

Cervantes Deboni, D. (2017). La construcción del marco teórico en la investigación científica. *Tema De Investigación Central De La Academia*, 55-71.

Cobo, R. E. (2021). Apunte de cátedra: Marco teórico y estado del arte.

ATLAS.ti Scientific Software Development GmbH Site by New Now. (2024). *Guía fundamental de la investigación cualitativa - Parte 1: Conceptos básicos*. Recuperado el agosto de 2024, de ATLAS.ti: <https://atlasti.com/es/guias/guia-investigacion-cualitativa-parte-1/marco-conceptual-frente-a-marco-teorico#:~:text=Los%20marcos%20te%C3%B3ricos%20ofrecen%20una,del%20problema%20de%20investigaci%C3%B3n%20espec%C3%ADfico>.

Daros, W. R. (2002). ¿Qué es un marco teórico?. *Enfoques*, 73-112.

Guevara Patiño, R. (2016). El estado del arte en la investigación: ¿análisis de los conocimientos acumulados o indagación por nuevos sentidos? *Folios*, 165-179.

Martínez-Escobar, J. A., González Brambila, S. B, Mora-Gutiérrez, R. A, & Cau-

dillo Félix, R. (2020). Desarrollo de una metodología para el análisis y el pronóstico de acciones de la Bolsa Mexicana de Valores basada en optimización. *Estocástica finanzas y riesgo*, 129-162.

Montoya, N. M. (2005). ¿Qué es el estado del arte? *Ciencia y Tecnología para la salud Visual y Ocular*, 73-75.

Muñoz Luna, J, & Eraso Angulo, R. H. (2019). Marco Teórico versus Estado del Arte en la Investigación Científica. *Boletín Informativo CEI*, 62-63.

Nainggolan, Hotnid, Wardhani, N, Leksono, Amin, & Santoso, I. (2020). Driving factors for the success of the green industrial estate: a case study of Pasuruan Industrial Estate Rembang. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.



IntraNet

Comunitaria UAMI

Una alternativa de conectividad

SDR-UAMI



*Enrique Rodríguez de la Colina
Luis Alberto Vásquez Toledo*



Resumen

Para muchas personas, navegar por Internet es una acción cotidiana. Sin embargo, en todo el mundo todavía hay millones de personas que viven sin acceso a redes de datos. Esta desigualdad en la inclusión a las nuevas tecnologías se conoce como “brecha digital” y afecta a una gran parte de la población mundial, principalmente en zonas rurales con comunidades alejadas. Una posible solución al problema de la brecha digital es el desarrollo de IntraNets (intraredes) comunitarias. En particular, la Intranet Comunitaria UAMI iniciativa que cumple 14 años en la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa (UAMI) presentan una forma de desarrollar IntraNets comunitarias con ayuda de un sistema denominado Modular System Network Iztapalapa (MoSyNetI), que es un sistema de transmisión programable desarrollado para operación basado en hardware genérico de bajo costo. La principal característica de la IntraNet Comunitaria UAMI es su adaptabilidad a las condiciones de cada comunidad, así como el hecho de que incluye desarrollo experimental que puede incorporarse al sistema de acuerdo al progreso de la investigación y desarrollo. Ejemplos de comunidades piloto donde se ha impartido capacitación o donde se ha llegado a un desarrollo de intraNets son: comunidades de pueblos originarios como Santa María Yaviche y Tlahuitoltepec en Oaxaca, y a la comunidad Wixárika (Hui-chol) de la Sierra Wixárika en Nayarit y Jalisco además se tienen desarrollos o capacitación a jóvenes en el campus universitario de la UAMI, el barrio La Polvorrilla Iztapalapa, en el Cerro de la Estrella, Iztapalapa, en Chimalhuacán para bachilleratos tecnológicos, en Santo Domingo Zanatepec, Oaxaca, Pamatácuaro Michoacan y seis comunidades de Petén,

Guatemala. En todas nuestras visitas, el objetivo es formar a nuestros alumnos en el trabajo comunitario para el desarrollo humano sostenible, pero lo más importante es formar a las personas en las áreas de ciencias y tecnologías de la información e ingeniería en comunicaciones y redes, siguiendo los principios de la participación activa comunitaria, involucrando a todas las personas sin restricciones. Más información sobre la Intranet Comunitaria UAMI y los grupos que la soportan como SDR UAMI, se puede encontrar en comunitaria.izt.uam.mx y en el canal de Youtube UAMISstream.

Palabras clave: IntraNet Comunitaria; Conectividad Digital; desarrollo tecnológico sostenible, UAMISstream

I. Contexto

La IntraNet Comunitaria UAMI representa una propuesta para mitigar la brecha digital, ya que permite el acceso a servicios y aplicaciones creadas localmente, incluido contenido digital creado para y por el grupo de la UAMI, que sirve como base para desarrollar modelos parecidos en comunidades incomunicadas o con deficiencias de comunicación, promoviendo la creación de propiedad intelectual local con el uso de hardware genérico y software libre, e involucrando a las personas sin restricciones. A su vez, para su desarrollo no se requiere del apoyo de grandes compañías proveedoras de Internet.

Con las instalaciones de las intraNets, se busca fomentar el desarrollo tecnológico local con un impacto significativo en la educación, al incorporar desarrollo sostenible y de características escalables. También, se contribuye a mitigar los problemas de conectividad gracias a la preparación de

infraestructura que pueda soportar servicios futuros de Internet.

Como parte de los objetivos de la iniciativa de IntraNet Comunitaria UAMI se encuentran el:

- Desarrollar un sistema modular, que permita conectar y ampliar la cobertura para la interconexión
- Diseñar redes configurables para la conexión y comunicación, usando hardware genérico o libre y software libre
- Crear una metodología educativa comunitaria para la inclusión digital

Asimismo, se busca generar impacto en la reducción de la 'Brecha Digital', formación técnica mediante principios de participación comunitaria e investigación de nuevos modelos asequibles de comunicaciones. Están involucradas en la iniciativa prácticamente todas las disciplinas del conocimiento. Por ejemplo, las ingenierías en distintas ramas, la ecología, sociología y psicología. Sin embargo, se tiene un matiz que favorece al desarrollo de software en aplicaciones, protección civil, criptografía, sistemas de comunicación y conectividad de red, diseño de sistemas de hardware para comunicaciones inalámbricas, programación de radios programables (SDR), algorítmica y desarrollo de contenido educativo participativo y comunitario con base tecnológica. Además, se presta para la investigación teórica y aplicada en redes de datos. La creación y difusión de una metodología educativa para la inclusión digital en zonas marginadas y sin conectividad, que impulse la formación de recursos humanos con un pensamiento basado en actividades

colaborativas es uno de los principios fundamentales. Fomentar la educación, investigación y generación de tecnología genérica, propietaria y adaptable son de los beneficios del proyecto. Asimismo, se busca promover la replicabilidad y la apropiación de la tecnología por parte de las comunidades, generando interés por el uso e implementación de esta.

Internet es de gran utilidad en la vida diaria, sin embargo, el acceso a esta tecnología sigue siendo un reto, dado que una parte importante de la población en Latinoamérica y el Caribe no cuenta con acceso a Internet. En México, en el año 2022 se contaba con el 78.6% de usuarios de Internet [1]. El acceso a Internet es un fuerte impulsor de la educación y la economía, además de ser una tecnología necesaria para el desarrollo actual. Sin embargo, solo ciertos sectores tienen recursos para aprovechar esos beneficios.

En este contexto, Latinoamérica enfrenta graves problemas de acceso a Internet. Para hacer frente a este problema, en los últimos años la conectividad comunitaria ha mostrado ser una buena alternativa.

La UAM Iztapalapa ha trabajado en proyectos relacionados al establecimiento de infraestructura y aplicaciones de redes comunitarias. Nuestro objetivo radica en dar alternativas a nuestra propia comunidad universitaria, los alrededores y a comunidades indígenas y rurales.

Respecto a la población en la Alcaldía Iztapalapa en el 2020, el 53.2% no contaba con Internet [2]. Por ser la UAMI parte de esta Alcaldía, se busca que el proyecto beneficie a las zonas que han permanecido con una baja tasa de conexión.

II. Antecedentes, inicios de la intranet comunitaria UAMI

La intraNet comunitaria ha pasado por varias etapas donde hemos ido aprendiendo con las diferentes intervenciones, colaboraciones y visitas.

- *El comienzo*

En el 2010, el Dr. Enrique Rodríguez de la Colina había estado trabajando en labor social relacionada a las telecomunicaciones y gracias a una estancia doctoral de dos alumnos colombianos conoció y visitó el proyecto en Ciudad Bolívar, Colombia que tenía que ver con intranets y que empezaba a formarse. Motivado por la iniciativa, propuso un proyecto donde se pudiera ayudar a comunidades a establecer conectividad de datos y de ahí se empezó a trabajar con la formación de redes mallas (mesh) basadas en software libre para la intercomunicación de los datos. Fue así que empezó con el proyecto con la participación de tres estudiantes de licenciatura: Kenia Salazar, Guillermo Saldívar y Gabriel Brayan Cervantes. Poco a poco, se fueron incorporando otros estudiantes que contribuyeron en el desarrollo de la intraNet y, que al mismo tiempo, aprendían sobre redes de datos.

- *Colaboración con Redes A.C. y visitas a comunidades indígenas*

Unos años después tomó fuerza gracias a la colaboración con la ONG “Redes por la Diversidad, Equidad y Sustentabilidad A.C.” con la que fuimos a comunidades indígenas donde se impulsó el trabajo comunitario y la participación activa de las personas. La IntraNet comunitaria cambió en la parte técnica y también metodológicamente, gracias al respeto de las decisiones comunitarias, al no intervenir y romper con lo que comúnmente hacen

otras organizaciones y empresas, ¡llegan, instalan y se van!, sin dejar conocimiento que pueda potenciar el desarrollo humano sostenible.

Posteriormente por el 2017, la intraNet Comunitaria UAMI ya tenía un nuevo concepto y nos fortalecimos tecnológicamente, además de incorporar elementos más didácticos y accesibles. Se planteó la idea de utilizar nuevas aplicaciones y protocolos de ruteo, así como fomentar el uso de plataformas de software libre e incorporar radios definidos por software conocidos por sus siglas en inglés como SDR.

- *Premio FRIDA y Pandemia por COVID 19*

En el 2019, el proyecto “Sistema programable de comunicación con operación como ruteador basado en hardware de bajo costo con algoritmos para enlaces de cobertura de largo alcance”, fue sometido a concurso al Registro de Direcciones de Internet de América Latina y Caribe (LACNIC), que apoya iniciativas en América Latina y el Caribe para la consolidación de una Internet global, abierta, estable y segura. El proyecto participó en el apartado para obtener una subvención de proyectos a desarrollar del fondo para el Fortalecimiento de Internet en América Latina y el Caribe (FRIDA) y resultó seleccionado en la categoría “Acceso a Internet”, donde se concretó la propuesta firmando un convenio con la UAM. Para más detalles, se puede consultar <https://programafrida.net/archivos/project/router-bajo-costo>

Participaron estudiantes de doctorado, maestría, licenciatura y egresados como: Magali Cortéz Vázquez, Arnold Valenzuela Sánchez, Rosa Guadalupe Toral Maldonado, Ricardo de Jesús Ramírez

Ocaña, Angélica Barbosa González, Cristina Cuevas Papalotzin, José Manuel López, Ingrid Garcia Montiel, Yareli Pinzón Lagunas, Juan Antonio Ortega Llanos, Diego Abel Patricio Santiago, Irvin Ariel Cortés Pérez, Luis Ángel Ramiro Ramírez, Luis Bernardo Moreno Mogyán, Anayeli Benitez Hernandez, Gabriel Brayan Cervantes, Kenia Salazar Cruz, los dos últimos cuando eran estudiantes, fueron fundadores de la Intranet Comunitaria. Además, también apoyaron profesores como el: Dr. Ricardo Marcelín Jiménez, Dr. Michael Pascoe Chalke, Dr. Leonardo Palacios Luengas, Dr. Luis Alberto Vásquez Toledo, Dr. Alfredo Tirado Méndez y como representante de toda la iniciativa ante la UAM y LACNIC el Dr. Enrique Rodríguez de la Colina.

El proyecto que se presentó a FRIDA busca potenciar la replicabilidad mejorando el montaje y configuración mediante módulos. Durante la ejecución del proyecto de FRIDA-LACNIC MoSyNetI, se presentó la Pandemia por COVID19, la cual, afectó a las pruebas de desempeño en campo, pero por otra parte, aceleró el aumento de intranets en Latinoamérica y el Caribe.

Como parte del proyecto, se impartió un taller internacional en línea, con 14 módulos de aprendizaje y cinco ponentes principales de Colombia y México, además de la participación de colaboradores de Argentina. Tuvo una difusión en nuestro canal UAMISStream Youtube de más de 2250 vistas en esa semana.

Otro evento que marca una etapa importante en la vida de la Intranet Comunitaria UAMI, fue el segundo lugar en el concurso Latinoamericano, “Internet For

All” de la IEEE donde también participaron estudiantes de posgrado y licenciatura de la UAM.

En otra ocasión, durante la Pandemia de COVID19, nos contactaron de Argentina de una organización que tiene presencia en varios países de Latinoamérica y que cuenta con una revista que se llama “La Garganta Poderosa” lanzada por una de las cooperativas de la organización social “La Poderosa”. Un miembro de la organización nos pidió apoyo con un estudio para crear un salón de cómputo en un barrio de la Alcaldía Iztapalapa conocido como “La Polvorilla”. Esto, porque ellos no podían viajar a México por las restricciones sanitarias impuestas por la pandemia durante el 2020. De ahí, surge una colaboración con “La Polvorilla” para impartir talleres.

Durante los años posteriores, empezamos a producir material audiovisual con el objetivo de publicar un video semanal en Youtube durante un año, con contenidos relacionados a la Intranet comunitaria UAMI, al grupo SDR UAMI y al proyecto de misión crítica. El proyecto de misión crítica está diseñado para generar sistemas y aplicaciones para la comunicación en casos de urgencia y emergencia.

- *Puesta en operación en Zanatepec y CESDER*

Después de la Pandemia, recuperamos las salidas de campo, donde se busca la participación de los estudiantes de la UAM aprendiendo habilidades blandas y poniendo en práctica los conocimientos adquiridos durante los estudios, además de contar con la experiencia de formar parte de un proyecto de retribución social.

Una de las visitas significativas fue a Zanatepec, Oaxaca en el 2022, gracias a que el maestro de bachillerato Alcides Toledo nos contactó para iniciar capacitación en el Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario (CBTa) #158 de Santo Domingo, Zanatepec, Oaxaca. En esa primera visita se reforzó el conocimiento intercambiado por video y correos electrónicos y se contó con la participación de estudiantes de bachillerato con la especialidad de técnico en informática. Este taller fue impartido por el Dr. Enrique Rodríguez y por un estudiante de maestría en Ciencias y Tecnologías de la Información de la UAMI, el Ing. José Manuel López Villegas. Ver video en: https://youtu.be/_DRW-VGLlZy?feature=shared

Unos años después, en 2023, participamos en otra visita a Zanatepec donde asistieron varios estudiantes de la UAM para su capacitación y apoyo para impartir un taller y para la instalación de la intranet comunitaria CbTa que estaría conectada y configurada para operar con un punto de acceso de CFE-TUIT. En la segunda visita a Zanatepec, también contamos con el apoyo del equipo de la Dra. Ariadna A. Morales que tienen un proyecto denominado “Agua salubre para todos”.

El proyecto de “Agua salubre para todos” se vincula con la Intranet Comunitaria UAMI a través de la participación de proyectos de incidencia social de la UAM y, en particular, con la participación en el Centro de Estudios para el Desarrollo Rural (CESDER) en Zautla Puebla.

Otras visitas para los talleres y puesta en operación de intraNets fueron en Guatemala gracias al vínculo con Alejandra Salgado de la organización internacional, The Invisible Thread (TINTA.org).

A continuación, se narran algunos detalles de las visitas a diferentes lugares.

III. Vistas, salidas de campo para talleres y puestas en operación

Las visitas para capacitar e instalar intranets han sido parte fundamental del desarrollo de la iniciativa y un ejemplo de la diversidad de lugares y condiciones que se pueden presentar para un sistema de red. Es por esto que el diseño e investigación son un factor fundamental para abatir costos y para lograr mejor desempeño de los enlaces con condiciones adversas.

A continuación, se describen algunas experiencias ordenadas por orden cronológico, así como algunos de los viajes realizados a distintos lugares.

- *Sierra Wixarika entre Nayarit y Jalisco*

Visitamos Guadalupe Ocotán o Xatsitsarie, Nayarit, comunidad wixárika, en noviembre de 2017. María Alvarez y Erick Huerta de Redes A.C. junto con el Dr. Enrique Rodríguez de la UAM-Iztapalapa, quien forma parte del Proyecto de Conectividad Indígena, y Ana Emilia de la Red de Comunicadores Boca del Polen, quien reside en Tuxpan, Jalisco.

Nos invitó el maestro de primaria, Oscar Ukeme, originario de la comunidad vecina Tuxpan de Bolaños para poder acudir a la asamblea comunitaria que se llevaría a cabo el domingo y nos daría la oportunidad de dialogar en colectivo sobre la conectividad y las posibilidades de comenzar un proceso comunitario de telefonía celular, Internet e Intranet, en un contexto donde no existía acceso a ninguno de estos servicios.

Nuestro camino inició en CDMX para después en Colotlán, Jalisco tomar un camión que nos llevó al “El Crucero de Miguelón”, donde nos recogió Ukeme para emprender el camino hacia Tuxpan de Bolaños y pasar la noche ahí. Entre montañas, pasamos por Amoleras, un cerro con una pequeña población donde está instalada una antena celular y Wifi abierto, desde el cual llega el acceso a Internet a poblaciones cercanas como Tuxpan de Bolaños. Llegamos de noche a casa de Ukeme, justo enfrente de la escuela primaria de la comunidad en la que él trabaja. Antes de continuar nuestro camino hacia Guadalupe Ocotán, desayunamos pozole y tostadas en el centro de la comunidad mientras se llevaba a cabo un partido femenino de basquetbol.



Figura: Mujeres en faldas tradicionales y pies descalzos entregando toda su energía en la cancha rodeada de adobe.

El trayecto de 6 horas, se convirtió en uno de 12. Después de quedarnos sin gasolina y esperar un aventón para conseguirla, descubrimos un problema con el tanque que nos detuvo en Puente, comunidad fronteriza entre Jalisco y Nayarit, donde luego de cinco horas quedó solucionado.



Figura: Centro ceremonial de la Sierra Wixarika camino a Guadalupe Ocotán.

Continuamos hasta que se ponchó una llanta, y después otra. Parecía un truco del desierto para obligarnos a detenernos y disfrutar de ese cielo estrellado que no se ve en otra parte, con todo y el frío de la noche. Sin señal de teléfono, ni poblado cerca, no tuvimos más opción que disfrutar con una fogata sobre la carretera desierta. “¡Ukeme! ¿Qué haces aquí?” nos despertó a las 3 de la mañana, dos horas después de haber entrado al coche para dormir unas horas. Eran jóvenes de Guadalupe Ocotán que regresaban de la fiesta del pueblo vecino, al que habían llevado a “las reinas” del festejo. Subimos en la parte de atrás de la camioneta y emprendimos la recta final, bajo un cielo todavía más estrellado y un viento todavía más frío y cargado de polvo. La comunidad de Guadalupe Ocotán se encuentra en el Municipio de La Yesca, Nayarit. A 8 horas en automóvil de Tepic y 2 horas del pueblo más cercano, rodeado de cerros que conectan a las poblaciones con caminos principalmente de terracería. El domingo, antes de acudir a la Asamblea, pasamos al cerro, una de las opciones consideradas por Ukeme para instalar una antena de la empresa que ya está comprometida a llevar el servicio.

Después, como una segunda opción para la antena, acudimos a “la pista”, cerro que recibe ese nombre por tener la pista para transporte aéreo.



Figura: Asamblea de la comunidad de Guadalupe Ocotán.

Llegamos a la asamblea a medio día y ya se encontraban reunidas alrededor de 70 personas. En la asamblea, compartimos información sobre las redes inalámbricas que podrían dar acceso a Internet, Intranet y telefonía celular desde un modelo comunitario, diferente a los proyectos comerciales o empresariales donde el usuario es solamente un consumidor. Adaptado del texto de María Álvarez, la versión completa se puede encontrar en: <https://comunicares.org/2018/02/25/redes-inalambricas-comunitarias-visita-a-xatsitsarie/>

En nuestro regreso de 8 horas rumbo a Tepic, Nayarit, ya solo nos faltaba pasar por en medio de un tramo de la carretera en brasas, provocadas por un incendio en la Sierra de Nayarit. ---Solo me preguntó Ukeme “¿me aviento? --- vas con todo... le contesté”; todo salió bien, llegamos sanos y salvos para tomar el autobús que nos llevaría de regreso a la CDMX.

- *Tlahuitoltepec, Sierra Mixe de Oaxaca*
En febrero de 2018, miembros de REDES A.C y de la UAM Iztapalapa visitamos la comunidad ayuujk de Santa María Tlahuitoltepec, Sierra Mixe de Oaxaca, llegamos en un pequeño taxi colectivo, donde apenas y cabíamos. La idea era compartir con la radio comunitaria ayuujk Jënpoj y el Colectivo Ñnk un espacio donde poder hablar de redes comunitarias y las posibilidades de colaboración en el proyecto de Conectividad Indígena Comunitaria.

Leer más en el enlace: <https://comunicares.org/2018/04/05/redes-inalambricas-comunitarias-intranet-y-produccion-audio-visual-en-tlahui/>

- *Yaviche, Sierra Juárez, Oaxaca*
En el 2018, visitamos la comunidad de Santa María Yaviche, Oaxaca. Llegamos María Álvarez de Redes A.C., Gabriel Brayan ambos egresados de la UAM y Brayan cuando era alumno, fundador de la IntraNet Comunitaria junto con Dr. Enrique Rodríguez. Después de pasar la noche en Oaxaca capital en casa de Peter Bloom que amablemente nos recibió en su casa, él es egresado de la UAM Xochimilco y fundador de Rhizomatica. Nos fuimos a un pequeño poblado en una zona cafetalera después de unas horas de terracería en la camioneta de Oliver Frühling, director de Surco A.C. Acompañados de Kiado Cruz también de Surco A.C., organización en Oaxaca sin fines de lucro que busca conectar diversos procesos comunitarios, colectivos y académicos en los campos de la educación, la comunicación, el cambio climático y la sustentabilidad.

Al llegar a Yaviche, nos acomodamos en unos cuartos que se utilizan como una casa de estudiantes de la recientemente funda-

da Universidad del Pueblo Xhidza. Hacía frío por la noche, llovía y había neblina, pero con el buen café que nos ofrecieron fue suficiente para irnos a dormir. Al día siguiente, conocimos a los miembros de la comunidad, a los representantes del gobierno y para nosotros una de las personas más importantes, Joaquín Yesmar, joven zapoteca, con un talento natural y autodidacta para la ingeniería en comunicaciones. Joaquín participa activamente en las redes celulares y de datos que se han montado en Yaviche y ya visitó la UAM Iztapalapa participando con el equipo de la IntraNet en la Feria de la Ciencias de la UAMI. Él es un claro ejemplo de que en las comunidades rurales apartadas, hay talento que debe ser descubierto para que pudieran ser parte de los estudiantes de la UAM.

“Pues por aquí todo bien, andamos trabajando en varias cosas, y comentarle que una de las cosas de mucha demanda ante esta crisis, es el acceso a internet y que la intranet está siendo muy utilizada para que la gente se informe y que puedan acceder a mucho contenido, aunque tenemos la radio, muchos jóvenes y niños prefieren el internet y como aún es muy deficiente el acceso, el intranet está siendo la alternativa, después de que pasemos por todo esto creo que una de las cosas que debemos impulsar, es el llevar a más comunidades esta idea ya que está siendo de una gran ayuda.”

**-- Joaquín Yescas -
de la comunidad Zapoteca
de Santa María, Yaviche.
-- 2020**

El Centro Universitario del Pueblo Xhidza, contaba en aquel entonces con un solo salón de clases, dormitorios para estudiantes y una pequeña computadora Raspberry Pi, con la cual transmitían a

Oaxaca capital, los proyectos de tarea que les dejaban asesores de distintos lugares que los visitaban entre ellos Oliver y Kiado. En ese viaje, visitamos el lugar gracias a Oswaldo Martínez Flores, ingeniero agrónomo egresado de la Universidad de Chapingo, que nos recibió en su casa para comer y nos contó muchas historias del lugar, incluyendo la creación de una estación de telefonía celular, que sigue operando y ha sido de gran ayuda para la región.



Figura: Capacitación en el Centro Universitario del Pueblo Xhidza en Santa María Yaviche Oaxaca.

- *Petén Guatemala*

En octubre de 2022, el grupo de la IntraNet Comunitaria UAMI conformado por estudiantes de posgrado, licenciatura y egresados viajó a Villahermosa Tabasco, para de ahí trasladarnos en una camioneta por 4 horas y media aproximadamente para llegar a la frontera de México con Guatemala, “El Ceibo”. Esta es una frontera conocida por tener mucho paso de migrantes de Centroamérica que buscan llegar a Estados Unidos. Además, se pasa mucha mercancía de contrabando en pequeñas motos, que se ve que por el cerro evaden la aduana y migración. Una vez pasados los controles de migración, tanto de México

como de Guatemala, nos enteramos que la carretera estaba bloqueada por unas tormentas que habían caído en la zona y que deberíamos esperar a que pasaran por nosotros. Estuvimos haciendo tiempo entre algunos comercios que existen ahí, cambiamos el chip de algunos celulares para tener comunicación en Guatemala y buscamos un lugar para comer. Antes nos habíamos separado en dos grupos para explorar el lugar, y cuando regresamos después de caminar, nos contó el grupo que estaba esperando, que se habían acercado unos lugareños a las chicas ofreciéndoles unas bebidas y golosinas, diciendo “se las manda el patrón”. Tenemos varias teorías de quién sería el patrón, pero todas eran meramente especulaciones. Después de unas horas de espera, vimos que la frontera se estaba quedando vacía porque ya habían cerrado las oficinas de la aduana y de migración, por lo que estábamos pensando en buscar un hotel para pasar la noche. Cuando comíamos algo en una fondita sobre la carretera, ya casi de noche, llegó un camión, como los que se usan para transporte escolar. Venía para recogerlos y llevarnos a la comunidad “La Lucha”, ubicada en la provincia de Petén, Guatemala cerca del Parque Nacional Sierra Lacandón en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biósfera Maya. Durante el camino, ya de noche, nos comentaron lo fuerte que había llovido y que no sabían cómo estaría el camino. Justo al comentar que estaba muy malo el camino, el camión quedó atascado, no se movía, a pesar de intentar varias formas para moverlo incluyendo, empujones que le dábamos y acomodar algunas piedras y ramas que había por ahí. Después de un rato de intentos fallidos por mover el camión, llegaron miembros de la Asociación de Comunidades Forestales de Petén (ACOFOP) con una camioneta 4 x 4 y se

llevaron a las chicas, quedándonos a la espera de que vinieran por el resto. La noche se despejó, y ya no llovía, pero al estar esperando empezamos a escuchar aullidos de coyotes que estaban merodeando por ahí, alumbrando con los celulares, se alcanzaban a ver unos ojos brillantes que nos observaban. No faltaban las bromas nerviosas y el comentario “profe ¡hágase para acá! pasó un coyote muy cerca de usted”, y para no jugarle al “valiente”, mejor nos subimos al camión. Un poco después llegó un tractor y otra camioneta que nos llevarían a “La Lucha” para cenar y dormir en unas tiendas de campaña, que nos acomodaron dentro de las instalaciones de la primaria de la comunidad.

Durante el Taller de instalación de intranet comunitaria, con los jóvenes de las cooperativas La Lucha y Unión Maya Itzá (UMI), se realizó un pilotaje en la escuela primaria de la Cooperativa La Lucha y la instalación prueba de una intranet comunitaria.



Figura: Taller en La Lucha, Petén Guatemala.

Al día siguiente, dimos el taller en la UMI aproximadamente a 7.5km de La Lucha, donde participaron personas de todas las edades y acabamos bañándonos en un río en las cercanías de la selva Lacandón, con

el impactante sonido que emiten los monos aulladores o saraguatos.



Figura: Pruebas de enlace de larga distancia entre las comunidades de La Lucha y la UMI.

Después de este taller, los grupos de jóvenes de La Lucha y de la UMI, cuentan con equipo de ruteadores y servidor para establecer la red. Fuimos al otro día, de madrugada a otra comunidad, Uaxactun que está dentro de la Reserva de la Biósfera Maya. Nos trasladaron en camionetas por 5 horas para llegar a Uaxactun, donde estuvimos todo el día, incluyendo el paso por la zona Arqueológica de Tikal, para después ya dormir en un hotel en Flores, a dos horas más de camino. Agradecemos a Carolina Alvarado y a Manuel Martínez de ACOFOP, por todo su apoyo y amabilidad.



Figura: Taller en la comunidad la UMI, Petén Guatemala.

También, se realizó un segundo viaje a Guatemala para visitar más comunidades en Petén. Agradecemos el apoyo de Alejandra Salgado de TINTA y Carolina Alvarado de ACOFOP para visitar y capacitar distintas localidades.

- *Otras visitas en Chimalhuacán, Puebla, Iztapalapa, Oaxaca*

El grupo de la IntraNet Comunitaria UAMI ha ido a otros sitios de visita, donde se han ofrecido talleres, asesorías y se ha apoyado con la instalación de intranets que, en algunas ocasiones, se han conectado al Internet, para así ampliar la cobertura de la red de datos. En algunas comunidades, hemos estado una sola vez, pero hay otras donde hemos ido varias veces hasta que se concluyó el proceso.

Otro proyecto que hemos iniciado es en el Cerro de la Estrella, Iztapalapa, para poner una intranet y cubrir las áreas del cerro donde no hay señal, con la finalidad de ayudar a los de la oficina de Áreas Naturales Protegidas (ANP) a tener comunicación en casos de emergencias o urgencias, como en casos de incendios forestales.

Los invitamos a que visiten nuestro canal de Youtube UAMISstream donde tenemos videos de algunas de las visitas.

IV. La iniciativa IntraNet Comunitaria

La Intranet Comunitaria cuenta con el sistema MoSyNetI, que busca potenciar la reproducción e incrementar el montaje y configuración de IntraNets Comunitarias, haciendo uso de los módulos del sistema. Dicho sistema fue desarrollado por la UAMI para fomentar la formación de recursos humanos capaces de ofrecer servicios de telecomunicaciones para uso local y poder contribuir en la solución de

conectividad para zonas marginadas o con escasos recursos digitales. Destaca en el sistema la conectividad inalámbrica utilizado ruteadores configurados y modificados para operar con software libre y protocolos que benefician el ruteo en malla.

Pueden encontrar más información en: <https://comunitaria.izt.uam.mx> y una entrevista por parte de “Pie de Página” en: <https://piedepagina.mx/intranet-la-verdadera-red-digital-libre-y-para-todos-viene-de-la-uam-iztapalapa/>

Tenemos más anécdotas que contar y metas por alcanzar que iremos compartiendo en otras publicaciones y espacios. Búscanos si quieres formar parte de la iniciativa en el Departamento de Ingeniería Eléctrica o con la oficina de vinculación de COVIAS.

Agradecimientos

Queremos agradecer por todo el apoyo a Rectoría General, al Rector de la UAM, el Dr. José Antonio De los Reyes Heredia, al Dir. de T.I., Max De Mendizábal y a Luis Miguel Alvarado. En COVIAS de Unidad Iztapalapa al M.C. Antonio de Jesús Galán, Erika Salas y Samuel Rosas Reyes. También a los distintos jefes de departamento del Depto. Ingeniería Eléctrica

que han estado en funciones desde que se fundó la IntraNet. Agradecer al Capítulo Estudiantil, IEEE ComSoc y al grupo estudiantil SDR-UAMI. A la Coordinación de Servicios de Cómputo de la UAMI en particular al Ing. Braulio Cusi. Al Posgrado en Ciencias y Tecnologías de la Información de la UAMI.

Gracias a organizaciones como Redes A.C., Surco A.C., Tinta.org, ACOFOP y a la Escuela Mesoamericana de Liderazgo por su apoyo.

Finalmente a los profesores, estudiantes y egresados de la UAM que nos han apoyado. Así como a los voluntarios de todas partes que han hecho posible que el proyecto siga y mejore día con día.

Referencias

- [1] Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH) 2022. <https://www.inegi.org.mx/programas/du-tih/2022/>. [Último acceso: mayo 2024].
- [2] Demografía Alcaldía Iztapalapa [En línea]. <http://www.iztapalapa.cdmx.gob.mx/alcaldia/demografia/index.html#>. [Último acceso: 11 06 2020].

Oír con un implante Coclear



*Juan Manuel Cornejo
Norma Castañeda
María del Pilar Granados
Universidad Autónoma Metropolitana.
Área de Ingeniería Biomédica. Laboratorio de Audiología
Lizzete Carranco Hernández
Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias.
Departamento de Audiología*

50 años
Casa abierta al tiempo

I.- Introducción

El sentido del oído juega un papel relevante en el curso de las diferentes etapas del desarrollo del individuo; inicialmente dentro de su núcleo familiar y posteriormente como integrante de una sociedad. La percepción de los sonidos del entorno y en particular de la voz, posibilitan y complementa el acceso a una pluralidad de elementos de información de naturaleza diversa, determinantes de la manera en que el individuo transitará y se conducirá a través de las distintas etapas de su desarrollo. La disminución o pérdida de la audición -hipoacusia- atenta contra el desarrollo afectivo, educativo, social y laboral del sujeto; demeritando su calidad de vida permanentemente si no se detecta y atiende oportunamente.

La alternativa tecnológica más moderna para restituir la audición es el Implante Coclear (IC); prótesis alterna al auxiliar auditivo convencional que amplifica selectivamente el espectro de frecuencia del sonido a fin de paliar los efectos de una hipoacusia. En contraste el IC es un dispositivo que, mediante un conjunto de pequeños electrodos colocados quirúrgicamente dentro de la cóclea, estimula eléctricamente el nervio auditivo del paciente. Esta estimulación se lleva a cabo valiéndose de un código que toma en cuenta las características de intensidad y contenido de frecuencia del sonido; confiriendo al paciente una experiencia auditiva que privilegia la percepción de la voz sobre los demás sonidos del entorno.

Sin embargo, la experiencia acumulada hasta hoy, muestra que el desempeño de los pacientes usuarios de IC en la adquisición y producción de voz es muy variado, aun tratándose de pacientes hipoacúsicos

equiparables entre sí, y usuarios de un mismo tipo de IC. Entre los factores que pueden afectar este desempeño, están problemas de salud adicionales a la hipoacusia, edad del paciente al momento de la implantación, duración del periodo de privación auditiva, estrategia de rehabilitación, tiempo en el uso del IC, entre otros.

La estimulación del nervio auditivo con una corriente eléctrica, evoca en el paciente una experiencia auditiva que cambia de tono dependiendo de la porción del nervio estimulada a lo largo de la cóclea, aguda en la base de la cóclea y grave en la parte apical. Adicionalmente, dependiendo del nivel de esta corriente, la sensación puede ser apenas perceptible -bajo nivel de corriente- o muy intensa -elevado nivel de corriente-.

La sensibilidad del nervio auditivo a la corriente eléctrica varía de forma no sistemática a lo largo de la cóclea, lo mismo que entre pacientes, haciendo aconsejable el ajuste individualizado del nivel de la corriente aplicada a través de los electrodos de estimulación. Desafortunadamente hoy día esto no es posible. Aun cuando se puede saber si el nervio auditivo responde a la excitación eléctrica, hoy día no es posible contar con evidencia de la respuesta del nervio auditivo a la estimulación eléctrica aportada por el IC durante su funcionamiento cotidiano.

Por lo anterior, no es posible saber si el nivel de estimulación establecido en cada electrodo, consigue el propósito de proveer una audición útil. Una estimulación insuficiente significa un electrodo no funcional en términos auditivos, en el otro extremo, una estimulación excesiva significa desde distorsión auditiva, hasta irritabilidad o dolor en el paciente.

Actualmente la determinación del nivel de estimulación en los electrodos se hace preguntando al paciente acerca de la calidad de la sensación auditiva experimentada para distintos niveles de corriente.

Por su subjetividad este método tiene serias limitaciones, especialmente en pacientes de corta edad y/o carentes de algún otro recurso de comunicación.

En lo que sigue se abordan algunos de los aspectos relevantes del sonido en términos del manejo que de éste hace el IC y de una metodología desarrollada en el Laboratorio de Audiología de la UAM-I encaminada al ajuste individual del nivel de estimulación eléctrica en los electrodos del IC, prescindiendo de la participación consciente del paciente.

II.- De lo que oímos

Por su naturaleza, el sonido puede entenderse como el viaje, a través del aire, de la onda de presión generada por la repetida compresión y descompresión del aire que circunda a un objeto que vibra. Onda cuya amplitud se atenúa gradualmente hasta desaparecer conforme se aleja del objeto que vibra. Similar a la forma en que desaparecen los círculos concéntricos generados por la caída de gotas de lluvia sobre un espejo de agua que, al mismo tiempo que aumentan de tamaño, poco a poco se desvanecen.

Los atributos del sonido determinantes para que el oído nos revele su presencia son frecuencia y nivel de presión sonora, aunque a esta última en el argot clínico se le refiera comúnmente como intensidad. El oído humano es capaz de percibir sonidos cuya frecuencia esté en el intervalo de 20 a 20 000 Hz. Sin embargo, para propósitos de comunicación humana el interva-

lo de interés se reduce a una banda de frecuencia de 125 a 8 000 Hz; al margen del idioma, el conjunto de sonidos empleados en la comunicación humana toma lugar en esta banda de frecuencia.

Por otra parte, el nivel de la presión sonora necesario para percibir un sonido varía dependiendo de la frecuencia, esto es, la sensibilidad del oído al sonido varía dependiendo de la frecuencia. En un sujeto auditivamente normal, la presión sonora umbral para percibir un sonido de 1000 Hz es de 20 μ Pa -micro Pascales-. Eligiendo como referencia el anterior valor, la presión sonora umbral para que un sujeto sano perciba un sonido de 8000, 2000, 500 o 125 Hz resulta ser 2, 1.25, 1.7 y 8.4 veces mayor, respectivamente. En contraste, a 1000 Hz, el oído sano es capaz de oír y tolerar una presión sonora un millón de veces mayor a la presión de referencia, previo a que la sensación auditiva se torne dolorosa.

Debido a lo extenso del intervalo de presión sonora con el que el oído puede contener, para la medida del sonido se utiliza una escala logarítmica referida a 20 μ Pa. De esta forma la intensidad de un sonido se determina en relación a la presión umbral de percepción auditiva, expresada en decibeles [dB]. Se define decibel $_{SPL}$ - *Sound Pressure Level* - como: $dB_{SPL} = 20 \log [P_m/20 \mu Pa]$, donde P_m es la presión sonora que se mide. De ahí que la presión de 20 μ Pa correspondiente al umbral de percepción auditiva sea igual a 0 dB_{SPL} , y en el otro extremo, el nivel de presión sonora máximo audible es igual a 120 dB_{SPL} .

Adicional a la escala en dB_{SPL} , también se utiliza una escala en dB_{HL} - *Hearing Level*-, derivada de la anterior y empleada para clasificar el grado de hipoacusia del sujeto.

En esta escala se toma en cuenta la variación de sensibilidad del oído conforme a la frecuencia del sonido, además de incorporar un criterio de normalidad. Un sujeto con umbrales auditivos entre 0 y 20 d_{BHL} en una banda de 125 a 8 000 Hz se considera auditivamente normal, mientras que umbrales auditivos superiores a 20 d_{BHL} se clasifican como diferentes grados de hipoacusia. Lo anterior delimita el rango de frecuencia, 125 a 8 000 Hz, y presión sonora, 0 a 120 $d_{B_{SPL}}$, donde reside el conjunto de sonidos empleados en la comunicación humana. Conjunto que el oído del implantado debe ser capaz de oír e identificar, no obstante estar inmerso en un universo de sonidos que interfieren con su inteligibilidad.

III.- De la voz y el implantado

En la producción del habla se identifican sonidos vocales y consonantes que experimentan cambios continuos de intensidad y frecuencia [1]. En general los sonidos vocales son de mayor intensidad y contenido espectral agrupado en torno a una frecuencia fundamental, a diferencia de los sonidos consonantes de menor intensidad y contenido espectral más disperso. Las relaciones de intensidad en estos sonidos, individuales y de conjunto, son elementos determinantes en la inteligibilidad de la voz. La gráfica del análisis de frecuencia de los sonidos vocales se caracteriza por la presencia de picos de gran amplitud seguidos de valles de menor amplitud. Si bien la frecuencia a la que ocurren estos picos constituye información relevante para su identificación, el contraste espectral, diferencia entre la amplitud pico y la del valle inmediato siguiente, es también de importancia para su identificación [2], [3]. Un sujeto con audición normal requiere de un contraste espectral de entre 1 a 2 dB, para identificar sonidos vocales con un 75% de

confianza. La importancia de lo anterior radica en que el paciente implantado además de tener umbrales auditivos superiores a lo normal, debido a las características de diseño del IC, experimenta el estrechamiento del rango de intensidad, esto es la diferencia entre la intensidad sonora umbral de percepción auditiva y la intensidad sonora máxima audible libre de molestia.

En teoría un rango de intensidad amplio, permite adquirir más información sonora lo que permite al sujeto percibir desde sonidos tenues, hasta muy sonoros. Un rango de intensidad demasiado estrecho limita la percepción de sonidos tenues. Considerando que la voz no tiene una misma sonoridad, un rango de intensidad demasiado estrecho puede demeritar la comprensión de la voz, aún en un ambiente con bajo nivel de ruido.

Por otro lado, este rango de intensidad reducido debe hacerse corresponder con el rango de la corriente eléctrica de estimulación que signifique una experiencia auditiva cómoda y libre de molestia. Esto significa, por un lado, hacer coincidir la mínima intensidad sonora de entrada al IC, con la corriente eléctrica umbral de percepción auditiva, y en el otro extremo, hacer coincidir la intensidad máxima de entrada al IC con el máximo valor de corriente eléctrica que proporcione al usuario IC una audición libre de molestia.

Sin embargo, en el implantado la relación entre la corriente eléctrica umbral de sensación auditiva y la corriente máxima tolerable es de solo 6 a 15 dB, esto es, el nivel de corriente correspondiente a una sensación auditiva libre de molestia es de 2 a 6 veces mayor a la corriente umbral de percepción auditiva [4].

En el paciente implantado el acceso a la información sonora, desde luego incluida la voz, está restringido por un rango de intensidad sonora recortado, información que luego es compactada en un rango de corriente eléctrica aún más estrecho, agregado a una resolución en frecuencia también disminuida, comprometiendo el objetivo de proporcionar al implantado información suficiente tal que la voz le sea inteligible. Por otra parte, lo anterior resalta la importancia de la atinada elección del rango de corriente en los electrodos de estimulación a fin de maximizar el beneficio aportado por el IC al paciente.

IV.- Del oído y el implante coclear

El oído acondiciona la intensidad y contenido de frecuencia del sonido de entrada a través de diferentes estructuras tales como el pabellón auricular, conducto auditivo, tímpano, etc., privilegiando la banda de frecuencia donde reside la voz y actuando, cuando es necesario, mecanismos que lo protegen de sonidos excesivamente intensos. Este procesamiento del sonido inicia a partir del pabellón auditivo y continúa hasta su arribo a la Cóclea, estructura ósea en forma de caracol en cuyo interior, desde la base hasta el ápice, se aloja la *membrana* basilar.

En la *cóclea* toma lugar la transducción del sonido en pulsos eléctricos que, a través del nervio auditivo, son conducidos hacia estructuras superiores de la corteza cerebral para su interpretación auditiva. Esta señal eléctrica se genera por la activación selectiva conforme a la frecuencia, de decenas de miles de células ciliadas localizadas en la superficie de la membrana basilar [9]. La activación de las *células ciliadas* ubicadas a nivel de la región basal

de la cóclea corresponde a sonidos de una frecuencia próxima a los 20 000 Hz, mientras que la activación de aquellas ubicadas a lo largo de la membrana basilar en sentido apical, obedece a frecuencias progresivamente menores, hasta alcanzar una frecuencia de 20 Hz. A esta activación de las células ciliadas depende de la frecuencia del sonido de entrada y de su ubicación a lo largo de la membrana basilar se le denomina organización tonotópica de la cóclea.

Este funcionamiento de la cóclea da por resultado que la intensidad y contenido de frecuencia del sonido de entrada al oído se traduzca en una serie de pulsos eléctricos de amplitud variable que, viajando a través de diferentes fibras del nervio auditivo organizadas conforme a la frecuencia, inervan regiones específicas de la corteza auditiva.

Cuando por alguna razón la función coclear se deteriora parcial o totalmente, la hipoacusia resultante no puede corregirse mediante la sola amplificación del sonido, siendo el empleo del Implante Coclear la alternativa a seguir, si la condición general de salud del sujeto no la contraviene. El IC estimula eléctricamente el nervio auditivo mediante un conjunto de electrodos alojados en el interior de la cóclea y un electrodo extracoclear de referencia, todos ellos implantados a través de un procedimiento quirúrgico.

La figura No.1 ilustra la ubicación de algunos de los componentes internos y externos del IC y su ubicación en el paciente. La operación básica del IC inicia con la captura el sonido por medio de un micrófono (1), cuya señal de salida se envía al procesador de sonidos (2) para ser

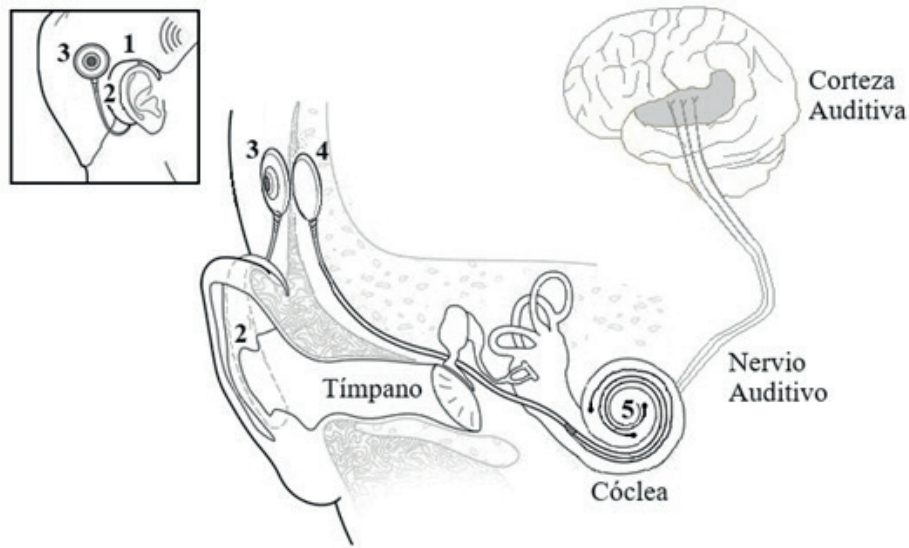


Figura No.1. Componentes básicos del Implante Coclear (IC). 1) Micrófono para la captura del sonido 2) Procesador de sonidos donde se analiza el contenido de frecuencia del sonido mediante un conjunto de filtros pasa-banda, se extraen los rasgos más significativos del sonido para la comprensión de la voz y se construye un código para la activación de los electrodos intracocleares de estimulación (5). El código de activación se transmite al receptor /estimulador (4) vía un enlace de radiofrecuencia entre éste y la antena (3). Finalmente, la respuesta del nervio auditivo a la estimulación eléctrica derivada de un estímulo sonoro de entrada viaja a través del nervio auditivo hacia la corteza auditiva para su interpretación en términos auditivos.

amplificada y posteriormente filtrada en tantas bandas de frecuencia como electrodos de estimulación tenga el IC -12, 16 o 22 electrodos dependiendo del dispositivo-dentro de un ancho de banda de 125 Hz a 8 kHz. El nivel de energía que se obtiene a la salida de las distintas bandas de frecuencia en las que se filtra el sonido de entrada, determina el nivel de corriente que se envía a los electrodos de estimulación, observando la organización tonotópica de la cóclea. El resultado final del anterior procesamiento es la consecución de un código de estimulación que se transmite vía un enlace de radiofrecuencia entre las antenas transmisora (3) y el receptor/estimulador (4), que determina el número y secuencia con la que se activarán los electrodos de estimulación (5) alojados a lo largo de la cóclea.

La estimulación eléctrica provista por el IC es resultado de la emulación del procesamiento que del sonido de entrada hace el oído, sin embargo, existen algunas diferencias. El rango de intensidad de 120 dB_{SPL} que maneja el oído normal, se reduce a una fracción de éste en el implantado. La relación de 1 a un millón entre la intensidad sonora umbral de percepción y la intensidad sonora máxima tolerable, se reduce a una relación de 1 a mil en el caso del implantado [5], [6]. Esta reducción se debe a que el IC opera en una porción o ventana de 50 o 60 dB_{SPL} del rango normal de intensidad sonora. Si este rango normal de intensidad se representa por un pastel de forma circular, en el paciente implantado el rango de intensidad se reduce y compacta en una rebanada de *juna milésima parte de ese pastel!* Esto no es de

sorprender puesto que la intensidad promedio de una conversación es de 60 dB_{SPL}, que coincide con el rango de la intensidad de entrada al IC. Por otra parte, si bien el ancho de esta ventana está fijo en 60 dB_{SPL}, el diseño del IC permite desplazar la ventana a partir de valores mayores a 0 dB_{SPL}. En la práctica, el deslizamiento de esta ventana *-mediante el control de sensibilidad del IC-* permite privilegiar la percepción de sonidos de baja, media o alta intensidad, dependiendo de la condición del paciente.

En la cóclea, el análisis de frecuencia del sonido de entrada se lleva a cabo por una población de aproximadamente 15 000 células ciliadas, entre células ciliadas internas y externas. Mientras que el análisis de frecuencia realizado por el IC se reduce a un conjunto de 12, 16 o 22 bandas de frecuencia, dependiendo del tipo de IC. El ancho de banda del IC, 125 a 8 000 Hz, se divide en tantas bandas de frecuencia como electrodos de estimulación tenga el dispositivo. Sin embargo, el número de bandas de frecuencia puede ser menor si, concluida la cirugía, algún o algunos electrodos intracocleares no resultan funcionales. El resultado del análisis del sonido de entrada practicado en el IC determina la posición del electrodo intracoclear que se activará, y el nivel de la corriente eléctrica aplicada al nervio auditivo a través del electrodo.

V.- De la activación conductual del IC

Para ayudar a entender la experiencia de oír a través de un IC imaginemos escuchar una melodía ejecutada en un arpa - -, donde el ejecutante *-implante coclear-* pulsa selectivamente *-activación de electrodos conforme a la frecuencia-* y con diferente fuerza *-nivel de la corriente aplicada a*

cada electrodo- las cuerdas del instrumento. Esta experiencia puede no ser placentera si una cuerda del arpa “enmudece”, aun cuando el ejecutante la pulse *-electrodo no funcional-*, o bien que el ejecutante pulse la cuerda suavemente *-nivel de corriente bajo-* o con fuerza excesiva *-nivel de corriente alto-*; un escenario catastrófico es aquel en donde el arpa está desafinada *-elección desafortunada del nivel de corriente en varios electrodos-*.

Estos y otros escenarios indeseables se encuentran frecuentemente en pacientes que, por su condición de salud o edad, no están en posibilidad de proporcionar información acerca de la calidad de la estimulación/audición lograda en el ajuste de los niveles de estimulación de los electrodos, *activación y/o adaptación del IC*.

Para saber si el nervio auditivo es capaz de responder a la estimulación eléctrica, de entre el conjunto de electrodos recién insertados en la cóclea se eligen electrodos de estimulación y registro, referidos a un tercero neutro. Con esta configuración de electrodos se envían pulsos bifásicos de corriente de nivel creciente hasta detectar la respuesta del nervio auditivo. Este procedimiento se realiza mientras el paciente se haya bajo anestesia, esto debido al empleo de niveles de corriente supraumbrales incómodos para el paciente e inclusive dolorosos. Es de mencionar que en la realización de este proceso se prescinde del papel del procesador de sonidos del IC.

Mediante el anterior procedimiento se determina en cada uno de los electrodos el nivel umbral de corriente a partir del cual el nervio auditivo responde. Idealmente este umbral debería ser igual al umbral de percepción auditiva, desafortunada-

mente no es así. Esto se debe, entre otros factores, a que tanto las características de la corriente eléctrica, como la ubicación de los electrodos de estimulación, no son las mismas a las empleadas en el uso cotidiano del IC. Sin embargo, a pesar de estas limitaciones, una fracción del nivel umbral de corriente hallado durante la cirugía se emplea como una primera aproximación a los niveles de corriente umbral de percepción y máximo de estimulación. Por lo anterior, para la activación inicial del IC, se recurre a la determinación subjetiva del nivel de la corriente umbral de percepción auditiva, en todos o algunos electrodos, a través de las respuestas del paciente: niños y adultos con recursos de comunicación suficientes.

En pacientes de corta edad o no cooperadores, se observa la conducta del paciente en el desempeño cotidiano de sus actividades durante un periodo de tiempo seguido al ajuste de los niveles de corriente, dando lugar a un proceso de aproximaciones sucesivas, hasta lograr la estimulación satisfactoria, a juicio del audiólogo. De tal suerte que el método se torna difícil, demorado y errático, prolongando excesivamente el tiempo en alcanzar una estimulación eléctrica adecuada en todos los electrodos. El desafío es todavía mayor cuando se agrega el hecho de que, hoy día, un implante se puede colocar en un paciente de menos de doce meses de edad, lo que hace pensar en la necesidad de métodos alternos para la determinación del rango de la corriente eléctrica independientes de las respuestas del paciente.

Las características de la corriente eléctrica en el uso cotidiano del dispositivo difieren a las empleadas para la obtención de la respuesta del nervio durante la cirugía,

además de que la ruta seguida por la corriente eléctrica que se establece entre el par de electrodos de estimulación cambia debido a que el electrodo de referencia se traslada a un electrodo extracoclear, que también puede ser la carcasa que aloja al receptor/estimulador. La respuesta del nervio auditivo depende de las características morfológicas y del nivel de la corriente de estimulación, además de la capacidad de respuesta de la porción del nervio auditivo ubicada próxima al electrodo de estimulación. Se sabe que, para un mismo nivel de corriente, la región apical del nervio responde mejor que la región basal, sin embargo, esta variación de sensibilidad no es sistemática a lo largo de la cóclea del paciente, ni la sensibilidad es la misma entre pacientes. Por otra parte, una vez que el nervio auditivo responde a un estímulo, necesita de un lapso de tiempo para estar en condición de responder a un siguiente estímulo *-periodo refractario-*, limitando con esto la frecuencia de la corriente de estimulación a valores inferiores a 150 Hz. En contraste con una frecuencia de 900 Hz o mayor, empleada en el uso diario del dispositivo

Por lo anterior, hoy día no se cuenta con evidencia objetiva de la respuesta del nervio auditivo durante el uso cotidiano del dispositivo. Las diferencias cualitativas entre la corriente empleada para la obtención de la respuesta del nervio y aquella empleada en el uso diario del dispositivo implican cambios en el nivel de la corriente umbral a la que responde el nervio, además del consiguiente cambio de sonoridad en el paciente. Por último, también se carece de información acerca de la correspondencia entre el rango de intensidad de entrada, ganancia y sensibilidad del procesador de sonido del IC, y el rango de co-

rriente en los electrodos. Lo que da lugar a la percepción de algunos sonidos y no de otros de similar intensidad, incomodidad a ciertos sonidos e indiferencia a otros, pronunciación deficiente, e inclusive irritabilidad. En suma, una audición que no asegura la percepción adecuada de la voz.

VI.- De la activación-evaluación objetiva del IC

Para contribuir a la solución de este problema, el Laboratorio de Audiología de la UAM ha desarrollado una metodología para la determinación del nivel de corriente en el conjunto de electrodos de estimulación del IC, prescindiendo de la participación consciente del sujeto [7], [8].

Un aspecto relevante de esta metodología es la inclusión de la etapa de procesamiento de sonido del IC y que la determinación del rango de corriente en cada uno de los electrodos de estimulación se realiza en condiciones de uso cotidiano, estando el paciente dormido, esto es, el IC se halla funcionando en condiciones reales de uso.

Esto se logra gracias al hallazgo de un potencial eléctrico, no reportado previamente en la literatura, que se genera cuando la corriente eléctrica de estimulación correspondiente a un sonido de entrada, alcanza el nivel suficiente para evocar la respuesta del nervio auditivo. Este potencial se registra a nivel cuero cabelludo, empleando una configuración de electrodos que reduce el artefacto eléctrico producido por el funcionamiento del IC. La presencia de este potencial no tiene restricciones de edad, género, condición general de salud del paciente o tiempo de uso del IC. Hasta ahora no se observan cambios de amplitud o morfológicos atribuibles a la medicación

del sujeto. Sus características morfológicas son las mismas independientemente del fabricante del IC. Sin embargo, debido a que su amplitud es de solo unos cuantos micro volts, para su registro es condición indispensable que el paciente permanezca en sueño fisiológico.

Como estímulos de prueba se envían, a través de un altavoz, sonidos de corta duración de diferente intensidad, y de frecuencia coincidentes con la frecuencia central de cada una de las bandas de frecuencia contempladas por el IC.

Con la presentación de cada estímulo sonoro se adquiere un tramo de electroencefalograma donde probablemente se encuentre contenida la respuesta del nervio auditivo. Procediendo en forma similar hasta explorar todos los electrodos intracocleares. Este procedimiento se repite algo más de cien veces en cada electrodo por cada intensidad de prueba.

Por resultado se obtiene la *intensidad* sonora a la que cada electrodo se activa, dependiente del rango de corriente individual del electrodo. Con esta información y ajustando el rango de corriente de los electrodos se uniformizan los umbrales auditivos en todo el rango de frecuencia del IC. Aun cuando en los electrodos la sensibilidad no sea la misma, mediante el ajuste del rango de corriente se consigue que el umbral auditivo corresponda a una misma intensidad sonora. Logrando así una audición que pondera equilibradamente la intensidad y contenido de frecuencia en el ancho de banda de la voz.

El uso de esta metodología permite abordar con mayor certidumbre los casos de niños difíciles de activar mediante el

método conductual, reduciendo los casos de estimulación insuficiente o excesiva y detectando electrodos no funcionales, mejorando la aceptación del dispositivo. La aplicación de esta metodología para la activación y seguimiento del paciente implantado ayuda a evitar niveles de estimulación que prefiguren escenarios no propicios para la rehabilitación/habilitación del paciente implantado, esto sin las afectaciones debidas a la subjetividad de las respuestas del paciente.

VII.- Referencias

- [1] A. J. Oxenham and S. P. Bacon, "Psychophysical Manifestations of Listeners," in *From Cochlea to Cochlear Implants*, 2004, pp. 62–106.
- [2] R. L. Freyman and G. P. Nerbonne, "The Importance of Consotant - Vowel Intensity Ratio in the Intelligibility of Voiceless Consonants," *J. Speech Hear. Res.*, vol. 32, no. September 1989, pp. 524–535, 1989.
- [3] R. L. Freyman, G. P. Nerbonne, and H. A. Cote, "Effect of consonant-vowel ratio modification on amplitude envelope cues for consonant recognition," *J. Speech Hear. Res.*, vol. 34, no. 2, pp. 415–426, 1991, doi: 10.1044/jshr.3402.415.
- [4] F. Qian-Jie and R. V. Shannon, "Effects of Dynamic Range and Amplitude Mapping on Phoneme Recognition in Nucleus-22 Cochlear Implant Users," *Ear Hear.*, vol. 21, pp. 227–235, 2000.
- [5] P. W. Dawson, A. E. Vandali, M. R. Knight, and J. M. Heasman, "Clinical evaluation of expanded input dynamic range in nucleus cochlear implants," *Ear Hear.*, vol. 28, no. 2, pp. 163–176, 2007, doi: 10.1097/AUD.0b013e3180312651.
- [6] A. J. Spahr, M. F. Dorman, and L. H. Loiselle, "Performance of patients using different cochlear implant systems: Effects of input dynamic range," *Ear Hear.*, vol. 28, no. 2, pp. 260–275, 2007, doi: 10.1097/AUD.0b013e3180312607.
- [7] J. M. Cornejo, A. K. Quintana, N. E. Beltran, and P. Granados, "Measuring implanted patient response to tone pips," *Biomed. Eng. Online*, vol. 20, no. 1, pp. 1–20, 2021, doi: 10.1186/s12938-020-00844-6.
- [8] J. M. Cornejo, A. K. Quintana, L. Carranco, and M. P. Granados, "Cochlear Implant Pediatric Patient THR-Level Determination Based on Electrical Cochlear Response," in *IFMBE Proceedings*, 2022, pp. 153–161.
- [9] W. E. Brownell, and B. R. Alford. "How the ear works -nature's solutions for listening," *The Volta Review*, vol. 99, no. 5, pp 9-28, <http://www.bcm.tmc.edu/oto/research/cochlea/Volta/index.html>

Movilidad humana: modelado y aplicaciones a las TIC



Eduardo Andrés Marcelo

*Doctorado en Ciencias y Tecnologías de la Información,
UAM Iztapalapa*

Adán Geovanni Medrano Chávez

*Departamento de Matemáticas Aplicadas y Sistemas,
UAM Cuajimalpa*

Elizabeth Pérez Cortés

Miguel López Guerrero

Departamento de Ingeniería Eléctrica, UAM Iztapalapa



Abstract

The simulation of a communication network, that includes mobile nodes carried by humans, needs to consider a realistic model for representing the movement of these nodes. Otherwise, the usefulness of the conclusions obtained from such work will be limited. In this paper the three main models used to represent human mobility are presented along with some projects where they were used.

Keywords: discrete-event simulation, human mobility models, RWP, Random Walk, SLAW.

Resumen

La simulación de una red de comunicaciones, que incluye dispositivos móviles portados por humanos, requiere de un modelo realista para representar el movimiento de esos dispositivos. De otra manera, la utilidad de las conclusiones que se puedan obtener de ese trabajo será limitada. En este artículo se presentan los tres modelos de simulación más utilizados para representar la movilidad humana, así como algunos proyectos en donde fueron utilizados.

Palabras clave: simulación de eventos discretos, modelos de movilidad humana, RWP, Caminata Aleatoria, SLAW.

1. Introducción

La simulación es una herramienta poderosa por múltiples razones: permite modelar sistemas complejos y estudiarlos con la finalidad de experimentar, optimizar parámetros, tomar decisiones y predecir resultados, entre otras cosas. Sin embargo, su utilidad estriba en la fidelidad con la que se representa el objeto simulado: mientras más cercano a la realidad, mejor.

Las redes de comunicaciones que integran dispositivos portados por seres humanos tienen una forma que cambia con el tiempo debido al movimiento de las personas. Evaluar propuestas de protocolos de comunicación y aplicaciones para este tipo de redes vía simulación requiere de un conocimiento detallado acerca de cómo se mueven los seres humanos: ¿qué lugares visitan?, ¿cómo están distribuidos esos lugares en el espacio?, ¿cómo eligen el siguiente punto a visitar?, ¿a qué velocidad se trasladan?, ¿durante cuánto tiempo permanecen en un lugar? Un modelo de movilidad humana brinda respuestas a todas estas interrogantes.

A lo largo de los años se han hecho diversas propuestas para modelar el movimiento de los dispositivos portados por humanos. El espectro abarca desde modelos que consideran que el movimiento de un nodo móvil es similar al de una partícula en un medio fluido hasta aquél en donde su movimiento respeta características estadísticas observadas en los humanos.

En este artículo se presentan los principales modelos de movilidad humana que han sido usados en la simulación de redes de comunicaciones. Además, para cada uno de los modelos, se presenta también un trabajo de investigación en donde ese modelo fue utilizado.

2. Modelos de movilidad

Aunque existen varios modelos de movilidad, los que se describen en esta sección ilustran claramente la relación que existe entre realismo y complejidad. En orden creciente de complejidad se presentan los siguientes tres modelos.

2.1 Modelo de caminata aleatoria (*random walk*)

Un patrón de movimiento que fue ampliamente utilizado en etapas tempranas del desarrollo de sistemas de comunicaciones móviles fue el modelo de caminata aleatoria, al cual se le conoce también como modelo de movimiento browniano.

Para establecer las características del movimiento de cada objeto móvil en este modelo, se escoge al azar una dirección y una velocidad muestreando funciones predefinidas de probabilidad (ver fig. 1(a)). Con estos datos, el objeto se desplaza con un movimiento rectilíneo uniforme por cierto tiempo o por una distancia determinada. Este tiempo o distancia es un parámetro configurable que determina qué tan frecuentemente ocurren los cambios de dirección. Una vez que el móvil ha realizado tal desplazamiento, se vuelve a elegir una nueva dirección y velocidad de movimiento y el ciclo se repite (ver figura 1(b)). Si, durante uno de sus desplazamientos, el mó-

vil alcanza una de las fronteras del área de simulación, su dirección de movimiento se modifica, tal como ocurriría con un haz de luz que se topa con una superficie reflectante. El propósito de esta acción es que los objetos no abandonen el área de estudio.

Sobre la idea básica del modelo de caminata aleatoria, se han propuesto algunas variantes que pueden representar de mejor forma algunos contextos específicos. Por ejemplo, cuando el móvil alcanza un borde, se puede introducir otro de ellos por algún punto del perímetro que delimita el área de estudio. Con esta estrategia se puede mantener una densidad constante de objetos móviles en el área de estudio y representar la posibilidad de que salgan y entren constantemente al área de estudio.

Otra variante que se desprende del modelo de caminata aleatoria tiene su inspiración en el trazado de calles como el que se puede

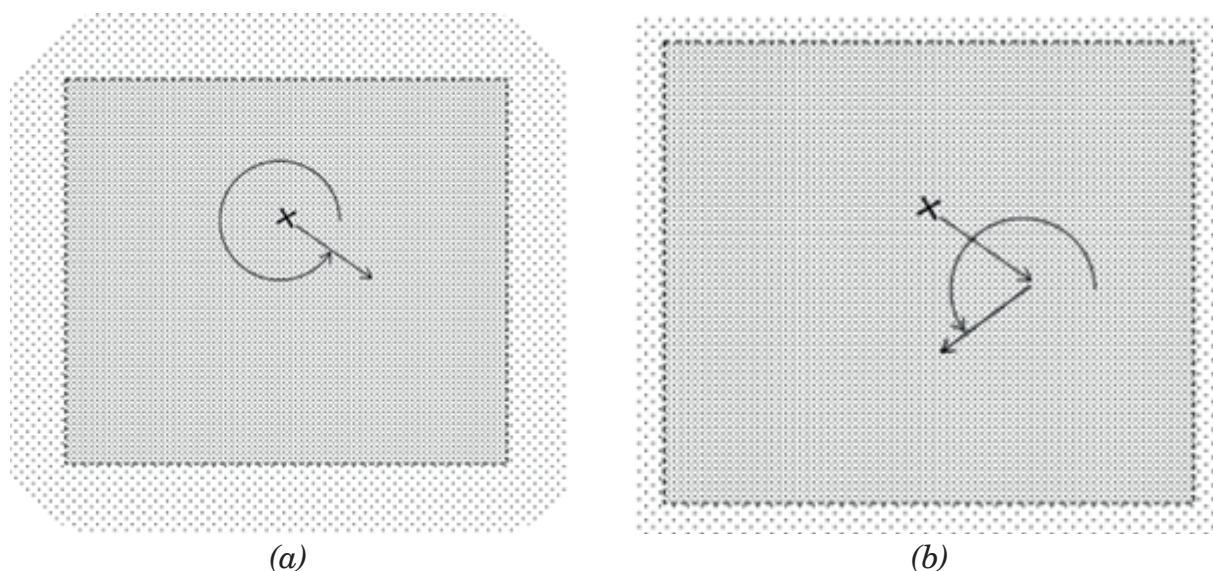


Figura 1. Reglas de movimiento del modelo RW. En (a) se muestra la posición inicial y la elección de características de movimiento (dirección y velocidad). En (b) se muestra que, una vez que el objeto se ha movido por un cierto tiempo (o distancia), se vuelven a elegir las características de movimiento.

observar en la región de Manhattan. Esta zona de la ciudad de Nueva York se caracteriza por tener una traza urbana muy regular¹. A fin de representar el movimiento en una zona como ésta, el modelo de movilidad obliga a que los desplazamientos sólo puedan ocurrir a lo largo de las líneas que forman una retícula. Cada vez que el móvil alcanza una intersección, debe elegir aleatoriamente una nueva dirección de movimiento dentro de tres posibilidades: seguir de frente o girar a su izquierda o a su derecha. Este modelo de movilidad se ha utilizado ampliamente y se ha mostrado (p.ej., ver (Seskar, 1992)) que es lo suficientemente preciso como para utilizarse en múltiples escenarios, especialmente cuando los posibles caminos forman un patrón regular.

El modelo de caminata aleatoria tiene varias propiedades que resultan ser muy útiles. Por un lado, los objetos móviles tienden a distribuirse espacialmente de manera aleatoria, pero uniforme (es decir, cualquier metro cuadrado del área de simulación contiene, en promedio, la misma cantidad de objetos). En consecuencia, si al inicio de una simulación los objetos se distribuyen de manera aleatoria, su densidad promedio en el área de estudio será constante desde el inicio y a lo largo de toda la simulación.

Una propiedad atractiva del modelo es que es fácil calcular la tasa media de cruces de un móvil hacia el exterior (o hacia el interior) de un área cerrada. Este resultado permite, a su vez, calcular muy fácilmente el tiempo de permanencia en la misma área cerrada (para una explicación más detallada, se sugiere revisar las referen-

cias (Thomas, 1998) y (Lopez-Guerrero, 2009)). El conocimiento de la tasa media de cruces puede ser útil, por ejemplo, para estimar a qué frecuencia se deberá ubicar un usuario móvil (ver p.ej. (Seskar, 1992)) a fin de realizar el traspaso de los servicios que atienden un usuario móvil cuando éste transita entre células diferentes de un sistema de telefonía celular. Cabe mencionar que, en este modelo, el objeto móvil puede ser un peatón o bien un vehículo.

Nuestro trabajo previo reportado en la referencia (Lopez-Guerrero, 2009) describe un ejemplo de la aplicación del modelo de movilidad de caminata aleatoria en estudios de desempeño. En este trabajo se consideró el área de cobertura de un punto de acceso 802.11g, como se muestra en la figura 2. En la figura se puede observar que cerca del punto de acceso (ubicación etiquetada como «AP») se pueden lograr altas velocidades de transmisión (siendo 54 Mbps el valor máximo), pero en ubicaciones más distantes, la velocidad disminuye gradualmente hasta 1 Mbps, después de lo cual la comunicación no es posible. En este escenario se simuló la presencia de una persona que deambula en el área portando una terminal inalámbrica 802.11g. El movimiento se simuló con el modelo de caminata aleatoria y el resultado fue que, en promedio, la velocidad de transmisión observada fue de alrededor de 10 Mbps, a pesar de que el estándar permite una velocidad máxima cinco veces mayor, aproximadamente. Trabajos independientes permitieron validar este valor como una buena aproximación al promedio de la velocidad que se puede lograr en una red de las características mencionadas.

¹ Las calles de Manhattan tienen un trazado tan regular que, dos veces al año, la puesta del Sol se puede observar en calles de la dirección este-oeste. Esta curiosa situación se ha bautizado como Manhattanhenge.

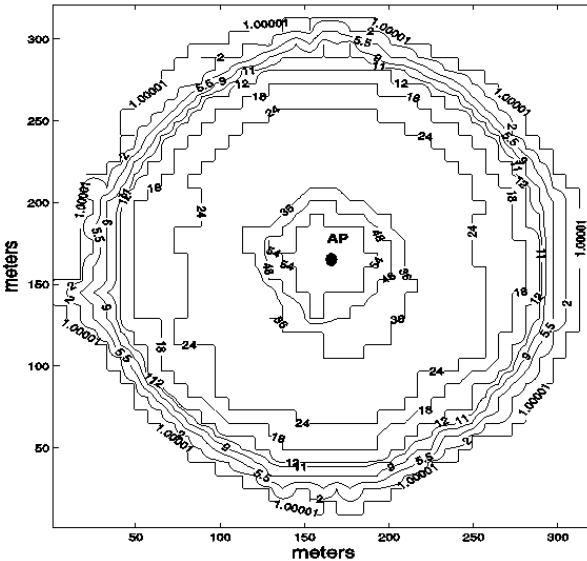


Figura 2. Ejemplo del área de cobertura de un punto de acceso 802.11g.

2.2 Modelo de recorrido con destinos aleatorios (*random waypoint*)

En la segunda mitad de la década de los noventa la telefonía celular ya había empezado a ganar popularidad. Con ello, el consumidor promedio empezó a conocer y apreciar las bondades de las comunicaciones inalámbricas. Entre otras cosas, un aspecto muy atractivo de estas tecnologías era la posibilidad de establecer una comunicación sin tener las limitantes ocasionadas por la poca flexibilidad del cableado de red. En esta época aparecieron los primeros estándares para la conexión de redes de área local inalámbricas (WLAN) y se desarrollaron novedosas ideas para crear redes inalámbricas a la demanda o *ad hoc*. A diferencia de una red celular o WLAN, en donde se tiene que instalar una radio-base o punto de acceso, las redes *ad hoc* inalámbricas no requieren de infraestructura preinstalada de comunicaciones. Cada estación de la red puede actuar a veces transmisor, otras como destino y otras tantas como equipo de comunicaciones (p.ej., cuando un transmi-

sor y un receptor no se encuentran en un alcance mutuo de comunicación, una tercera estación, colocada en un punto intermedio, podría actuar como punto de enlace entre los otros dos). Así, de ser necesario, se puede armar una red al vuelo con las estaciones que estén presentes en el momento y lugar requeridos. A este tipo de redes se les denomina MANET (*mobile ad-hoc networks*).

Naturalmente, en el análisis y diseño de las MANET es necesario considerar que cada estación (al ser en realidad una terminal móvil portada por un humano) tiene asociadas características de movilidad. Es así que, en afán de incorporar un grado adicional de realismo a los estudios de simulación con los que se evalúan este tipo de redes, se propuso el modelo de recorrido con destinos aleatorios (*random waypoint* o RWP). A la postre, éste se convirtió en el patrón de movilidad humana más comúnmente utilizado durante varios años en simulaciones de redes de comunicaciones en donde se ve involucrada la movilidad humana.

El modelo de movilidad RWP parece haber sido propuesto por David B. Johnson y David A. Maltz (Johnson, 1996) (Broch, 1998) como parte de un marco de evaluación que utilizaron para probar una propuesta de un protocolo de encaminamiento para redes MANET.

Al inicio de la simulación cada nodo se coloca en una posición elegida al azar dentro del área de estudio (ver figura 3(a)). El nodo permanece inmóvil en ese punto por cierto tiempo y una vez finalizada esta pausa, elige de manera aleatoria un destino (ver figura 3(b)) y se mueve hacia él a una velocidad obtenida de una distribución uniforme de probabilidad. Una vez que llega al destino, el ciclo se repite (ver figura 3(c)). Así, cada

nodo continúa con este comportamiento alternando pausas y movimientos dirigidos hacia destinos elegidos aleatoriamente. Las pausas tienen el propósito de representar el hecho de que una persona usualmente se mueve hacia un destino a fin de realizar ahí una tarea que le ocupa cierto tiempo. Una vez que finaliza alguna tarea en ese lugar, se mueve hacia un nuevo destino.

A pesar de que el grado de realismo de este modelo supera al de caminata aleatoria, también presenta ciertas características que deben ser tomadas en cuenta para su correcta utilización. En particular, supongamos que, en una simulación, un grupo de objetos se mueven siguiendo este patrón de movimiento. Después de transcurrido cierto tiempo, se podrá observar que los objetos tienden a concentrarse en el centro del área de estudio. Esta es una diferencia evidente respecto al modelo de caminata aleatoria en donde la distribución espacial de los objetos tiende a ser uniforme en un sentido probabilístico. Este fenómeno debe ser tomado en cuenta ya que si al inicio de la simulación los nodos se colocan tal como lo describen los autores en (Johnson, 1996) y (Broch, 1998), es decir aleatoriamente con distribución uniforme, existirá un periodo de transición desde la distribución inicial hasta que se alcanza la distribución de estado estable. Esto pareciera ser un problema menor, pero en realidad no lo es ya que para que para que el cálculo de valores promedio, obtenidos a partir de una simulación, sean estadísticamente válidos, las mediciones deben obtenerse en el estado estable. Por lo tanto, las simulaciones se deben dejar correr por cierto tiempo hasta que se alcance el estado estable y cualquier observación obtenida en el periodo transitorio se debe descartar. Esta estrategia para contender con la existencia de un transitorio parece ser adecuada y sim-

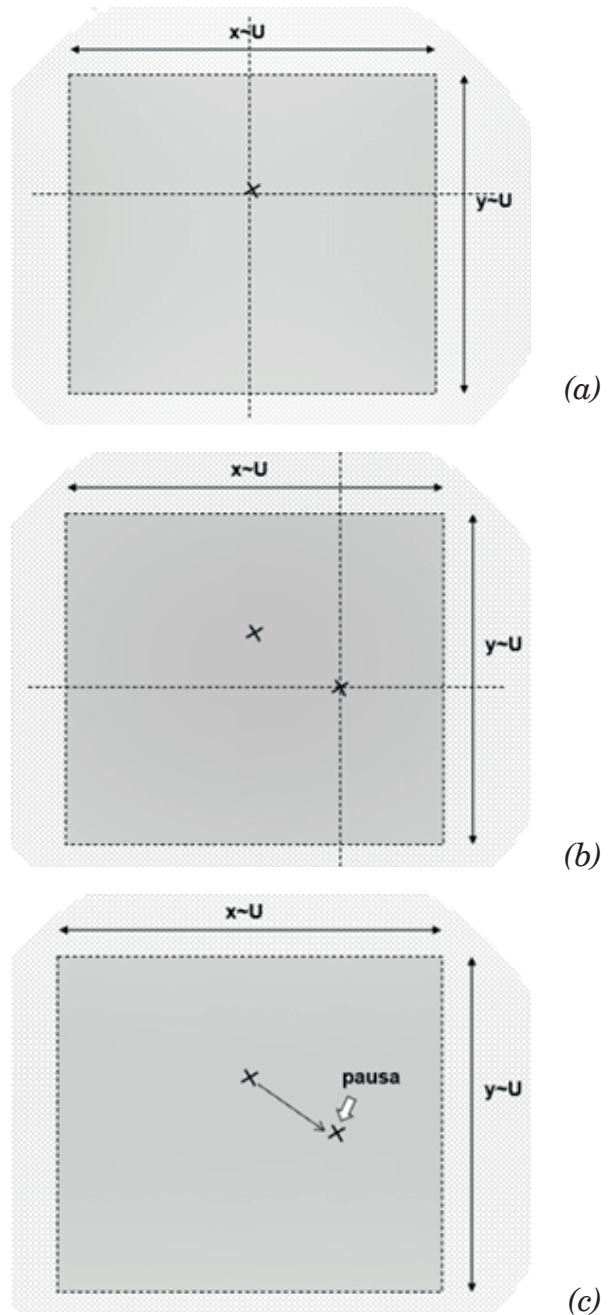


Figura 3. Reglas de movimiento del modelo RWP. En (a) se muestra la posición inicial de un objeto móvil, el cual debe permanecer ahí cierto tiempo. En (b) se muestra la creación de un destino aleatorio hacia el cual debe ocurrir el movimiento. En (c) se muestra que una vez que el objeto alcanza el destino, debe permanecer ahí un cierto tiempo.

ple, hasta que surgen preguntas tales como: ¿por cuánto tiempo hay que dejar correr la simulación para que alcance su estado estable? y, ¿cómo se sabe cuándo se alcanzó el estado estable? Más aun, si el sistema simulado es complejo, la parte descartada puede representar un largo tiempo de cómputo que será desperdiciado. Afortunadamente, William Navidi y Tracy Camp fueron capaces de deducir las características probabilísticas del estado estable del modelo RWP. Este valioso trabajo se reportó en (Navidi, 2004) y con ello, es posible iniciar una simulación asignándole a los objetos móviles propiedades de estado estable desde el inicio de la simulación, con lo que se elimina la existencia de un periodo transitorio.

A modo de ejemplo de cómo se puede utilizar este modelo, citamos un trabajo previo reportado en (Pascoe, 2010). En este trabajo, el propósito era caracterizar el tiempo de vida de las rutas en redes de tipo MANET. Como se mencionó anteriormente, en este tipo de sistemas la terminal de un usuario puede actuar como infraestructura de comunicaciones al permitir que las transmisiones de otros usuarios pasen a través de ella. Entonces, el tiempo de vida de las rutas es función de las características de movilidad de las personas.

En uno de los experimentos realizados se colocaron dos nodos fijos cercanos entre sí, pero suficientemente alejados como para que no fuera posible una comunicación directa entre ellos (ver figura 4(a)). Adicionalmente, en un punto intermedio (al alcance de ambos nodos) se colocó en una posición aleatoria un tercer nodo cuyo movimiento estaba gobernado por las reglas del modelo RWP (ver figura 4(b)). Este experimento se repitió una gran cantidad de veces a fin de determinar el efecto de los parámetros de

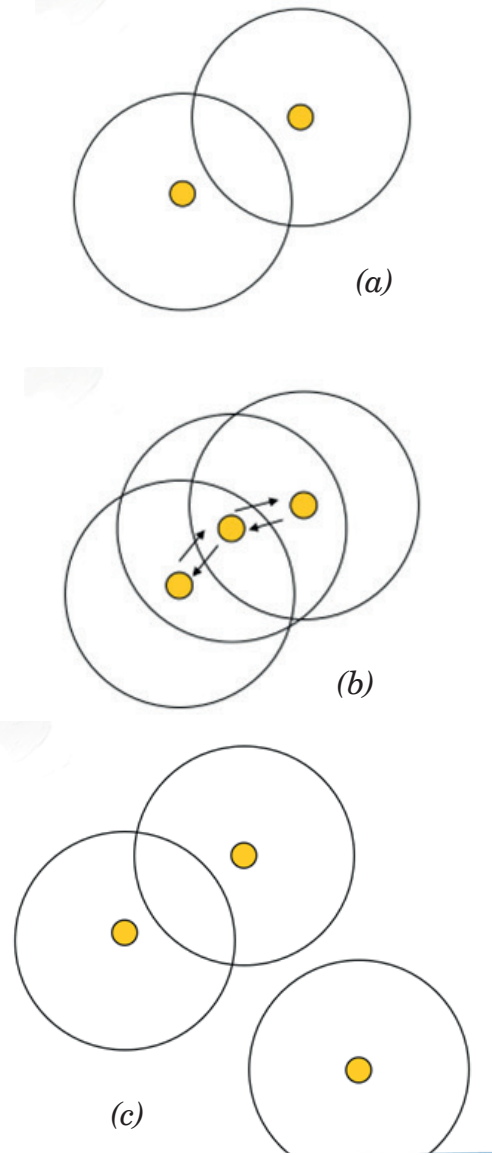


Figura 4. Creación y rompimiento de una ruta en redes de tipo MANET. En (a) se muestran dos nodos cercanos entre sí, pero suficientemente alejados como para que no sea posible una comunicación directa. Los círculos representan el alcance de comunicación de cada nodo. En (b) se muestra cómo un tercer nodo, ubicado en la región de traslape de los rangos de comunicación, puede actuar como un retransmisor posibilitando la creación de una ruta. En (c) se observa que la ruta dura hasta que el tercer nodo abandona el área de traslape.

los que depende el tiempo que transcurre hasta la falla de la ruta (ver figura 4(c)). Se concluyó que el tamaño del área en la que se traslapan los rangos de transmisión del par fuente-destino, así como la posición inicial del tercer nodo, afectan enormemente el tiempo de validez de la ruta.

2.3 Modelo de recorrido autosimilar con la menor acción (SLAW)

En la búsqueda de un modelo de movilidad más realista, Lee et ál. (Lee, 2012) recolectaron trazas GPS en diferentes localidades y, a partir su estudio, dedujeron las características de SLAW, un modelo de movilidad humana cuyo acrónimo proviene de su nombre en inglés: *self-similar least-action walk model*. Las características que se observaron en esas trazas fueron las siguientes:

- P1. Si bien hay algunos lugares en donde los humanos permanecemos mucho tiempo, como el hogar o el trabajo, en la mayoría de los lugares que visitamos, nuestro tiempo de permanencia es corto.
- P2. Cuando tenemos que visitar varios lugares en sucesión, tendemos a minimizar las distancias que nos desplazamos, de manera que, es altamente probable que el siguiente lugar que visitemos esté muy cerca de nuestra ubicación actual.
- P3. Tendemos a regresar a localidades donde hemos permanecido por mucho tiempo, como nuestra casa o el trabajo. Eso implica que la mayoría de nuestros desplazamientos ocurren en áreas confinadas.
- P4. Nuestros desplazamientos son, en general, cortos y rara vez, muy largos.

- P5. El tiempo que transcurre entre dos encuentros consecutivos de dos individuos es, en general, corto y muy rara vez, largo.

Además de estas propiedades, en SLAW se integraron otras ya conocidas, como la velocidad promedio a la que un peatón se desplaza.

Si bien el realismo de un modelo de movilidad es importante, su utilidad depende en gran medida de la simplicidad con la que se puede utilizar. En efecto, si bien SLAW existe desde 2012, es posible ubicar una gran cantidad de trabajos de investigación posteriores a esa fecha en los que se recurrió a modelos de movilidad más simples con las implicaciones ya enunciadas. Parcialmente, esto se debe a que, hasta hace relativamente poco, la única manera de usar SLAW era generar un archivo de trazas *a priori* vía BonnMotion, un programa independiente de código abierto usado para generar escenarios de movilidad. Cada traza contiene el siguiente destino del caminante y el tiempo en el que ese punto debe ser alcanzado. Estas trazas son consumidas durante la simulación y cuando se alcanza el final del archivo, la simulación debe terminar, limitando la duración de los experimentos. Para aliviar esta situación, en 2020 nuestro equipo de trabajo puso a disposición de la comunidad un simulador de SLAW (Medrano-Chavez, 2020) que genera, al vuelo, tantas trazas como sea necesario evitando el inconveniente antes mencionado y ampliando la posibilidad de que SLAW sea utilizado.

Las características de la movilidad humana son reproducidas en nuestro simulador de SLAW de la siguiente manera: usa un mapa autosimilar en donde están ubica-

dos los lugares, o destinos, que los caminantes pueden visitar. Esas localidades están distribuidas de manera fractal con un grado de autosimilitud controlado por el parámetro de Hurst (H) que puede tomar valores entre 0.5 y 1 para representar diferentes contextos geográficos. En cada viaje, un caminante debe visitar un conjunto de destinos ubicados en un conjunto predeterminado de áreas y el orden en el que los visita es dictado por el algoritmo de planeación llamado L ATP (*Least-Action Trip-Planning algorithm*), el cual está diseñado para seleccionar, con mayor probabilidad, de entre los destinos posibles, el que sea más cercano. Finalmente, SLAW utiliza un generador de números aleatorios para producir los tiempos de pausa adecuados. La figura 5 muestra un ejemplo de un viaje en SLAW.

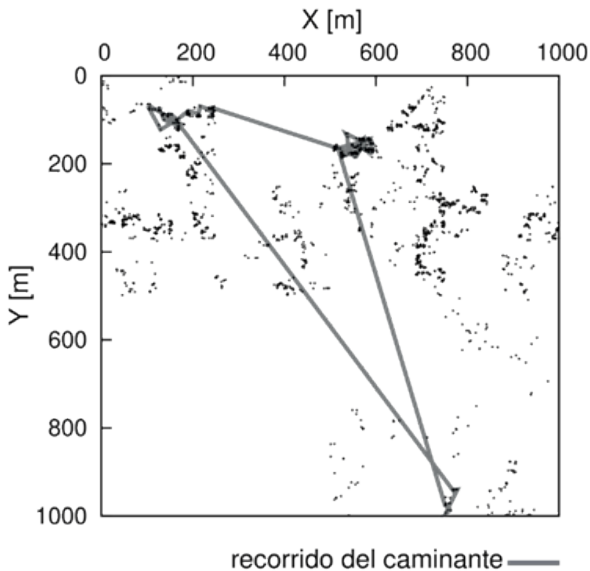


Figura 5. Mapa autosimilar con 2000 destinos, con $H=0.75$ y una muestra de un viaje de SLAW.

Algunas de las características de la movilidad humana se relacionan directamente con los elementos de SLAW ya menciona-

dos. Tal es el caso de los tiempos de pausa (P1) que se obtienen directamente del generador de números aleatorios usando una distribución de Pareto acotada. La tendencia a minimizar la distancia al siguiente destino (P2) es soportada por el algoritmo L ATP (ver figura 6). El confinamiento de los movimientos de un caminante se produce al restringir la selección de los puntos de recorrido (P3). Finalmente, las dos últimas propiedades emergen de la interacción de los elementos de SLAW: la distribución de los vuelos (P4) resulta de cómo los puntos de recorrido están distribuidos sobre los mapas, de cómo se seleccionan los puntos de recorrido de un caminante y del algoritmo L ATP mientras que los tiempos de intercontacto (P5) son una consecuencia de la interacción de todos los elementos de SLAW.

```

PROCEDIMIENTO L ATP ( $T_k; w_c; a$ )
// d: Distancia Euclidiana
D  $\leftarrow$  {}
 $p_i \leftarrow 0.0$ 
 $div \leftarrow \sum_{w_i \in T_k} d(w_c, w_i)^{-a}$ 
PARA CADA  $w_i \in T_k$  HAZ
     $p_i \leftarrow d(w_c, w_i)^{-a} \times div^{-1} + p_i$ 
    Insert(D,  $p_i$ )
FIN PARA
 $rnd \leftarrow U(0,1)$ 
 $j \leftarrow \text{upper\_bound}(D, rnd)$ 
 $w_n \leftarrow \text{get\_item}(T_k, j)$ 
 $T_k \leftarrow T_k \setminus \{w_n\}$ 
REGRESA  $w_n$ 
FIN PROCEDIMIENTO

```

Figura 6. Algoritmo L ATP

3. Aplicaciones de los modelos de movilidad

3.1 Propiedades de las redes MANET

Como consecuencia de la movilidad de los elementos que la conforman, una MANET tiene una forma que cambia cons-

tantemente y su rendimiento depende de los patrones de movimiento descritos por sus elementos.

Con el objetivo de estudiar el impacto del modelo de movilidad considerado al evaluar el rendimiento de una MANET, en (Medrano Chávez, 2015) experimentamos con tres modelos de movilidad: SLAW, RWP y HRWP (este último es una variante de RWP en donde la velocidad de los nodos y los tiempos de pausa se modelaron usando el conocimiento que se tiene sobre la movilidad humana).

Los resultados obtenidos muestran que, cuando los nodos se mueven de acuerdo a RWP y HRWP, el número de vecinos es casi constante y consistentemente menor al número de vecinos que tienen los nodos cuando se mueven de acuerdo al modelo SLAW (ver la figura 7). Más vecinos implican la posibilidad de establecer más rutas de comunicación multisalto y, en consecuencia, un mejor rendimiento de la red.

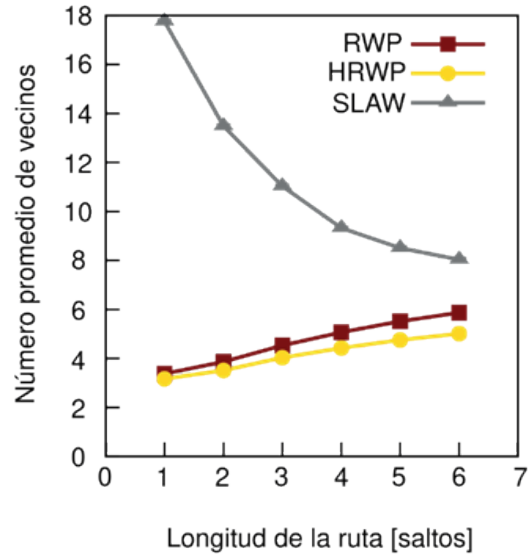


Figura 7. Número promedio de vecinos vs. distancia para una red de 300 nodos

Para apreciar el impacto de este hallazgo en el rendimiento de un protocolo de encaminamiento particular se midió la proporción de búsquedas exitosas de destinos y el tiempo de validez de una ruta para AODV, un popular protocolo de encaminamiento para redes móviles. Mientras que la proporción de búsquedas exitosas de destinos bajo

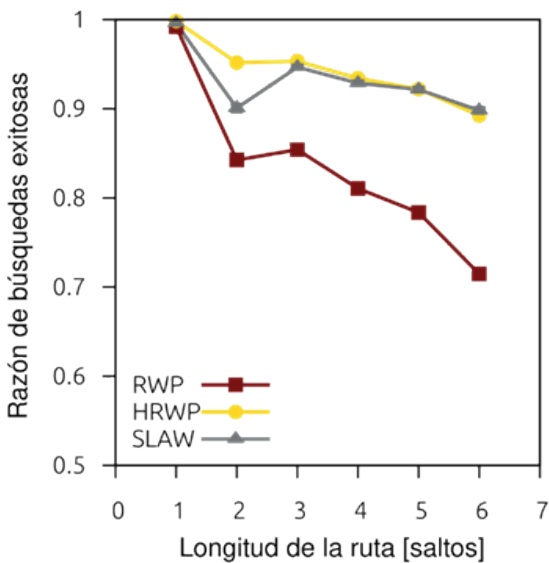


Figura 8. Tasa de búsqueda de destinos exitosa vs. distancia para una red de 300 nodos.

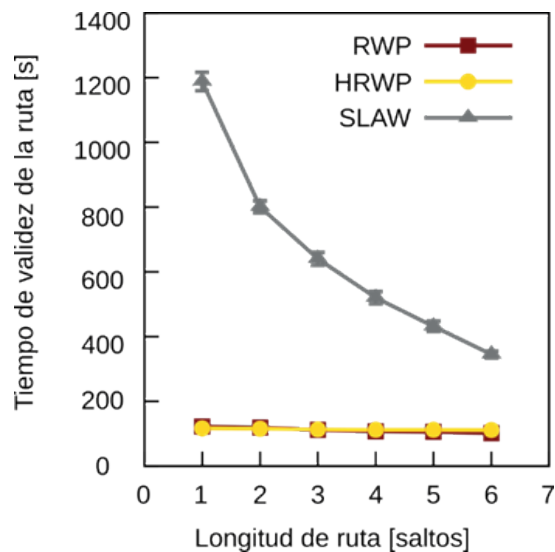


Figura 9. Tiempo de validez de la ruta vs. longitud para una red de 300 nodos.

SLAW es casi tan buena como la de HRWP (ver la figura 8), las rutas que se forman bajo SLAW duran, notoriamente, más tiempo del que duran las que se forman bajo los otros modelos (ver la figura 9).

Estos resultados muestran que, si se evalúa un protocolo considerando que los nodos se mueven bajo RWP, se puede llegar a conclusiones equivocadas respecto a su viabilidad pues se le está sometiendo a condiciones menos favorables que las que enfrentará en la realidad. A la luz de los resultados descritos, se puede afirmar que cuando se considera la movilidad humana, las MANET exhiben un alto nivel de conectividad, el movimiento de los nodos no crea situaciones tan adversas para la función de encaminamiento y el tiempo de vida de una ruta es tal que es posible construir redes sobrepuestas útiles.

3.2 Distribución de contenido en MANET

BitTorrent es un protocolo par a par de distribución de contenidos digitales diseñado para funcionar sobre redes con infraestructura. En BitTorrent un contenido se descarga por fragmentos. Al estar concebido bajo el paradigma par a par, todos los nodos son, a la vez, clientes, que pueden solicitar un contenido fragmento por fragmento, y servidores capaces de comenzar a distribuir el contenido desde el instante que reciben el primer fragmento. BitTorrent fue, a mediados de la primera década de este siglo, responsable de un 25% del tráfico en Internet. Este éxito motivó a la comunidad a proponer adaptaciones para hacerlo funcionar sobre una MANET. Dichas adaptaciones fueron evaluadas considerando que los nodos se movían de acuerdo al modelo RWP (Andrés-Marcelo, 2018).

Motivados por el rendimiento de una MANET cuyos nodos se mueven según SLAW, en (Andrés-Marcelo, 2018) evaluamos las propuestas existentes y nos planteamos el reto de construir una versión propia del protocolo. Para abordar este reto, en (Andrés-Marcelo, 2021) medimos el rendimiento de la versión original del protocolo BitTorrent sobre una MANET y sobre una red ad hoc.

En primer término, estudiamos el efecto del tamaño de la red en el progreso de la distribución del contenido y encontramos que, a diferencia de lo que sucede en una red ad hoc estática, hasta cierto punto, BitTorrent escala en una MANET cuyos nodos se mueven bajo SLAW. En la figura 10 podemos observar que mientras más nodos forman la red, más rápido se logra descargar el contenido en el 100% de los nodos.

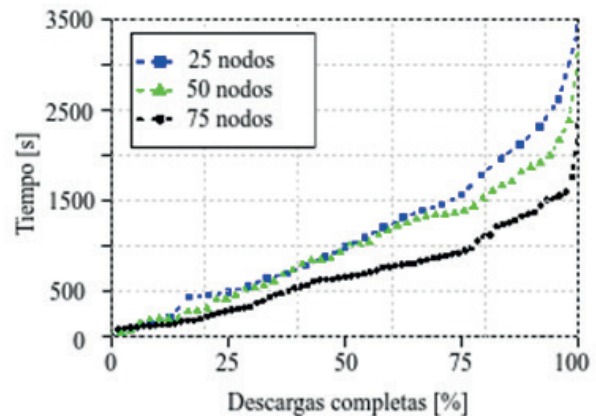


Figura 10. Progreso del porcentaje de descargas completas.

En segundo término, contrastamos el tiempo promedio de descarga de BitTorrent considerando que los nodos se mueven de acuerdo a dos modelos: SLAW y RWP. En la figura 11 podemos observar que el rendimiento del protocolo es mejor con SLAW. También observamos que el aumento de nodos es benéfico para ambas redes, pero este efecto se detiene

antes para RWP (75 nodos) mientras que para SLAW aún se observa en redes con 300 nodos. Por otro lado, una vez que el tiempo de descarga promedio comienza a incrementarse de nuevo, los tiempos de RWP crecen mucho más rápido que los correspondientes a SLAW. Estos resultados corroboran lo ya establecido en la sección precedente: la movilidad humana dota a las MANET de condiciones de conectividad que las hacen más viables para la construcción de aplicaciones.

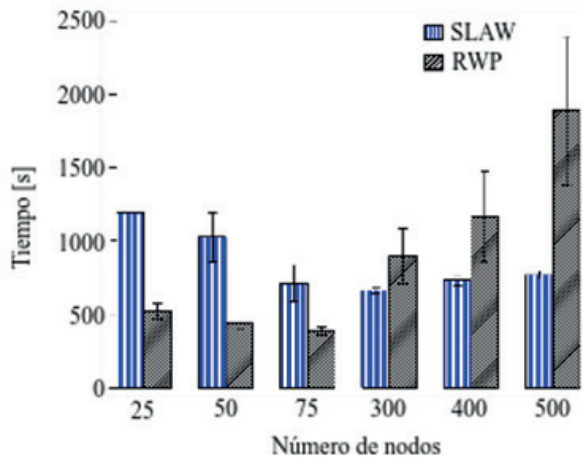


Figura 11. Tiempo promedio de descarga vs. tamaño de la red.

4. Conclusiones y comentarios finales

En este breve recorrido por los modelos de movilidad humana más relevantes hemos descrito tres modelos en grado incremental de complejidad. Como se ha podido advertir, un modelo sencillo, como el de caminata aleatoria (RW), puede ser adecuado en ciertas circunstancias, pero es necesario tener presente sus limitaciones. Un modelo más complejo, como SLAW, presenta la ventaja de ser más fiel a la realidad; sin embargo, esto se logra a cambio de un mayor costo computacional. Entonces, la selección del modelo adecuado para un estudio no puede ser función del realismo únicamente, es necesario to-

mar en cuenta diversos factores o limitaciones (p.ej., el tiempo en el que se espera obtener los resultados o el poder de cómputo del que se dispone).

Al lector interesado en el tema de este artículo se le recomienda que visite el canal de YouTube «Modelos, conceptos y experimentos de simulación» (disponible en la página de Internet <https://www.youtube.com/@SimulacióndeEventosDiscret-v2g>). En este repositorio, el internauta podrá encontrar videos (compartidos por los autores de este artículo) que ilustran las características de los tres modelos de movilidad aquí explicados, así como sus diferencias fundamentales.

Referencias

Andrés-Marcelo, E., *Distribución de contenidos en redes MANET utilizando el paradigma P2P*, Idónea comunicación de resultados, Maestría en Ciencias y Tecnologías de la Información (UAM Iztapalapa), Ciudad de México, 2018.

Andrés-Marcelo, E., Pérez-Cortés, E., Medrano-Chávez A.G. y Lopez-Guerrero, M. Human Mobility Brings Scalability to BitTorrent over MANET, 2021 *International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC)*, Dubai, 2021, pp.1-6. DOI: 10.1109/ISNCC52172.2021.9615687.

Broch, J., Maltz, D.A., Johnson, D.B., Hu, Y. C. y Jetcheva, J., A performance comparison of multi-hop wireless ad hoc network routing protocols. *4th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking (MobiCom '98)*. Association for Computing Machinery, New York, 1998, pp.85–97. DOI: 10.1145/288235.288256

- Johnson, D.B. y Maltz, D.A., Dynamic source routing in ad hoc wireless networks. *Mobile Computig*, edited by Tomasz Imielinski and Hank Korth, chapter 5, pp.153-181. Kluwer Academic Publishers, 1996.
- Lee, K., Hong, S., Kim, S. J., Rhee, I., y Chong, S. SLAW: Self-Similar Least-Action Human Walk. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 20[2], pp.515–529, 2012. DOI: 10.1109/TNET.2011.2172984
- Lopez-Guerrero, M. y Gomez, J., A mobility-based channel model for wireless systems with adaptive modulation, *2009 Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, St. John's, (NL, Canada), 2009, pp. 750-755. DOI: 10.1109/CCECE.2009.5090229.
- Medrano-Chávez, A.G., Pérez-Cortés, E. y Lopez-Guerrero, M., Simulation of the self-similar least-action walk model. *Journal of Simulation*, 16[3], pp.251-262, 2020. DOI: 10.1080/17477778.2020.1790998
- Medrano-Chávez, A.G., Pérez-Cortés, E. y Lopez-Guerrero, M.,. Studying the Effect of Human Mobility on MANET Topology and Routing: Friend or Foe? *13th ACM International Symposium on Mobility Management and Wireless Access (MobiWac '15)*. Association for Computing Machinery, New York, 2015, pp.39 46. DOI: 10.1145/2810362.2810370
- Navidi, W. y Camp, T., Stationary distributions for the random waypoint mobility model, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 3[1], pp.99 108, 2004. DOI: 10.1109/TMC.2004.1261820.
- Pascoe, M., Gomez, J., Rangel, V. y Lopez-Guerrero, M., Route Duration Modeling for Mobile Ad-Hoc Networks, *Wireless Networks*, 16[3], pp.743-757, 2010. DOI: 10.1007/s11276-009-0166-1
- Seskar, I., Marić, S. V., Holtzman, J., y Wasserman, J., Rate of location updates in cellular systems, *Vehicular Technology Conference 1992*.
- Thomas, R., Gilbert, H. y Mazziotto, G., Influence of the Moving of the Mobile Stations on the Performance of a Radio Mobile Cellular Network, *Third Nordic Seminar on Digital Land Mobile Radio Communications*, Copenhagen, 1998.

Neuroestética: Proceso cognitivo del arte



Liliana García Madrigal

Arte y Patrimonio Cultural, UACM, Centro Histórico, CDMX.

Axayacatl Morales Guadarrama

C13M, Departamento de Ingeniería Eléctrica, UAM Iztapalapa, CDMX.



Abstract

We have understood art as a way of manifesting our presence in the environment, generating an impact on the viewer, which has led us to try to determine what and how an aesthetic appreciation affects our emotions? Neuroaesthetics has sought the biological and neural bases of creativity, beauty and love. Through techniques such as functional magnetic resonance imaging, it has been possible for us to get closer to understanding the neural determinants of the experience of beauty. Thus, considering neurophysiological mechanisms as the nuclear piece that triggers complex mental processes, guides us to understand the emotions generated during the observation of aesthetic work.

Keywords: neuroaesthetics, functional magnetic resonance imaging, cognition, art.

Resumen

Hemos entendido el arte como una forma de manifestar nuestra presencia en el entorno, generando un impacto en el espectador, lo que ha llevado a tratar de determinar, ¿qué y cómo afecta en nuestras emociones una apreciación estética? La neuroestética ha buscado las bases biológicas y neurales de la creatividad, la belleza y el amor. Por medio de técnicas como resonancia magnética funcional ha sido posible acercarnos a la comprensión de los determinantes neuronales de la experiencia de la belleza. Así, considerar los mecanismos neurofisiológicos como la pieza nuclear que desencadena procesos mentales complejos, nos encamina a comprender las emociones generadas durante la observación de la obra estética.

Palabras clave: neuroestética, resonancia magnética funcional, cognición, arte

Introducción

Por milenios hemos entendido el arte como una forma de manifestar nuestra presencia en el entorno, desde los primeros trazos en las cavernas de Sulawesi en Indonesia (Greshko, 2019) como en las de Málaga y muchas otras. Inicialmente por medio de la pintura la humanidad ha proyectado interpretaciones ante los diversos fenómenos que no podía explicar, posteriormente se dio paso a una diversificación de expresiones que sería difícil enumerar, pues están ligadas a contextos muy particulares de espacio y tiempo. Lo que ha sido constante es la intención de generar un impacto en el espectador, la conciencia del legado, el heredar a las futuras generaciones muestras irrefutables de nuestra presencia, es decir, que nuestro nombre y obra sean recordados, como fue el caso de Imhotep arquitecto de la pirámide escalonada de Saqqara Egipto hacia 2650 a.C. (Villalobos, 2009), Pithókritos y la Nike de Samotracia, La Victoria Alada, a finales del siglo II a.C. (Gallardo, s.f.); así como los afamados e innumerables artistas que inundan museos y galerías en nuestros días, pretendiendo escudriñar en nuestras sensaciones y emociones. Justamente caminando en uno de esos pasillos, encontré de frente una obra que sacudió por completo mi percepción del arte (Figura 1).

Este ejemplar me causó tal revolución de emociones que me pareció incomprendible, llegando al punto de las lágrimas, traté de examinarlo por un largo tiempo y sólo después de eso comprendí que no era la escena plasmada, la técnica o el autor, sino los detalles que guardaba debajo de sí misma y la tragedia de las voces que habían sido acalladas. Lo cual condujo a una introspección y a



Figura 1. GUERNICA. (1937) PICCASSO, P. Realizada a petición del Gobierno de la Segunda República Española, para ser expuesta en el pabellón español en la exposición internacional de 1937 en París, el cuadro hace alusión al bombardeo de Guernica el 26 de abril del mismo año. Considerada obra icónica del siglo XX.

razonar dicho suceso, de tal manera que se tornó preciso querer saber que había pasado en mi cabeza, pues esa sensación de nostalgia me acompañó varios días, situación que no había experimentado hasta el momento en algún otro museo visitado, este cuestionamiento sobre lo qué hay dentro, es decir lo que no veo, pero si siento me condujo a esta pregunta: ¿Qué y cómo afecta en nuestras emociones una apreciación estética?

Desarrollo

Si bien cada espectador dará su interpretación de lo que observa, escucha o siente a partir de su particular proceso cognitivo, actualmente una rama de las neurociencias tiene como objetivo descifrar ésta y muchas incógnitas. Este campo denominado como Neuroestética (Magsamen, 2019) ha buscado las bases biológicas y neurales de la creatividad, la belleza y el amor; usando entre otras técnicas la resonancia magnética funcional (Beatty, 2016). Los resultados de estos

estudios mostraron una actividad común en la corteza orbitofrontal medial, zona que está relacionada con el placer y la recompensa, “activada” con la estimulación visual y auditiva. Sugiriendo así que la interpretación de la belleza podría existir como un concepto abstracto en el cerebro (Figura 2).

A partir de sus prometedores resultados, investigadores como el Dr. Semir Zeki, líder de proyecto en la Universidad de Londres, investiga hasta qué punto la belleza se determina por la crianza y la cultura (Rasche, 2023).

Cabe mencionar que si este estudio se denomina como pionero en el campo, se logró gracias a estudios previos realizados hace casi un siglo por el ganador del Nobel en medicina, Santiago Ramón y Cajal (1852-1934) quien estudió con afán el sistema nervioso y su anatomía, logró fusionar arte y ciencia, él, poseía una visión espacial desarrollada y tras observar

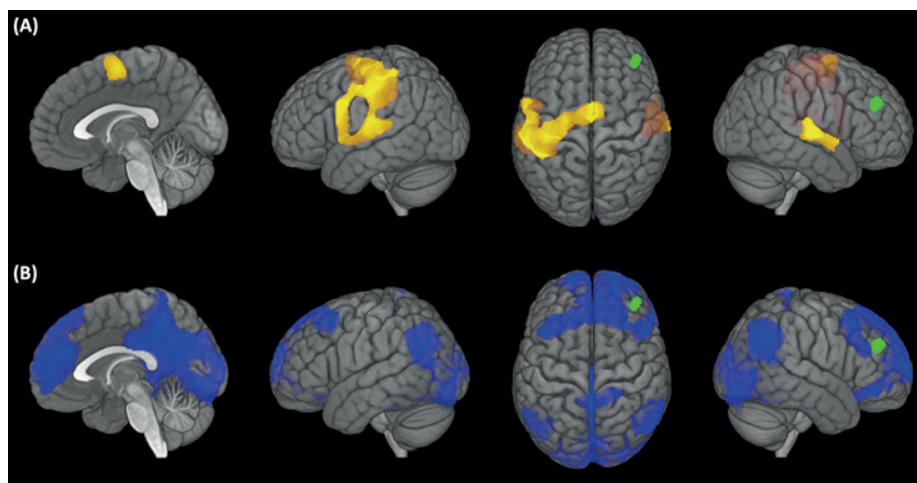


Figura 2. Conectividad de la corteza prefrontal dorsolateral durante la improvisación musical. La corteza prefrontal dorsolateral derecha (DLPFC; verde) muestra una conectividad diferencial en función de los objetivos de la tarea durante la improvisación musical en pianistas profesionales.

(A) Conectividad funcional asociada con el objetivo de utilizar conjuntos específicos de teclas de piano; Los mapas cerebrales muestran un mayor acoplamiento entre el DLPFC derecho y las regiones motoras (por ejemplo, el área premotora dorsal y el área motora pre-suplementaria).

(B) Conectividad funcional asociada con el objetivo de expresar emociones específicas; Los mapas cerebrales muestran un mayor acoplamiento entre el DLPFC derecho y las regiones de la red predeterminadas [p. ej., corteza prefrontal medial (MPFC), corteza cingulada posterior (PCC) y lóbulo parietal inferior bilateral (IPL)] (Beaty, 2016).

repetidamente la morfología de las neuronas en un microscopio buscó develar los misterios de la mente (BBC, 2017), con lápiz en mano les daba una interpretación personal, realizando con lo que veía, cuadros de bosques tupidos y rosales espinosos, obras artísticas y teóricas que sirvieron de fundamento para la neurociencia moderna y la explicación de cómo funciona el cerebro (Figura 3). Posterior a su investigación, se desarrollaron estudios que confirmaron la existencia de los neurotransmisores y su acción en la neuroplasticidad (capacidad biológica innata que tienen las neuronas y las redes neuronales para cambiar sus conexiones y función en respuesta a nueva información, desarrollo, estimulación sensorial o daño cerebral).

La neuroestética en interacción con disciplinas como la psicología han logrado determinar que el cerebro es capaz de reconocer formas, líneas y sombras; al enfrentarnos a una producción artística, el cerebro trabaja para darle sentido a la información de tal manera que al generar empatía o agrado por lo que observamos liberamos endorfinas, que son péptidos provenientes de el hipotálamo y la glándula hipófisis, sus efectos son similares a los opiáceos, provocando sensación de bienestar e incluso euforia, además de tener una acción analgésica que junto a el aumento de la dopamina en la corteza orbitofrontal producen un poderoso efecto asociado al placer y al amor romántico. Otra particularidad que ocurre es sentirnos inmersos en el cuadro debido a las neuronas espejo, que se encargan de los procesos

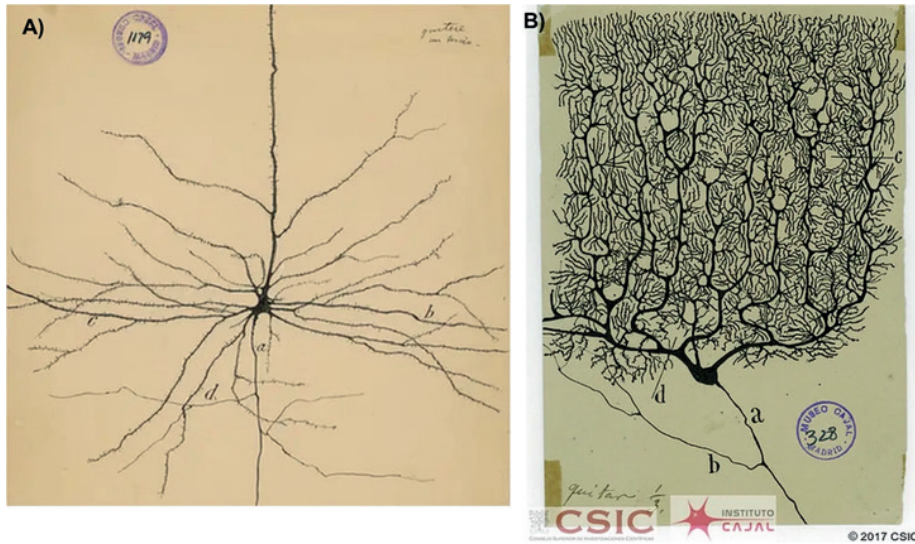


Figura 3. Neuronas dibujadas por Santiago Ramón y Cajal (Instituto Cajal).

A) Las neuronas piramidales son células que se encuentran en distintas áreas del cerebro, como el córtex cerebral y el hipocampo. Su nombre deriva de la forma triangular de su soma o cuerpo celular. Ramón y Cajal da una sensación de tridimensionalidad en este dibujo jugando con las sombras fuertes y oscuras de las dendritas, que se extienden como si fueran raíces de un árbol.

B) Este hermoso dibujo de una célula de Purkinje ilustra la portada del libro “The beautiful brain”

de empatía emocional; cuanto más se analiza la obra, el cerebro traducirá el mensaje en sensaciones, lo que en análisis se llama cognición encarnada, en otras palabras, la facultad que tiene la mente de sentir calor al ver un cuadro de un día soleado.

Se constata un significado biológico que justifica su manifestación en todas las culturas y épocas que describe ciertas reglas de trascendencia, es así como la danza, el canto y la música, también nos reconfortan en términos de sociedad, estos estímulos involucran a la corteza motora y auditiva, nos es necesario expresarnos y recrearnos favoreciendo así habilidades pro colectivas. Hacer mímica o hablar en público, genera adrenalina que activa el sistema circulatorio, al dilatar los bronquios mejora la capacidad pulmonar y es la responsable de hacernos sentir las famosas “mariposas en el estómago”.

Cada estudio realizado en este campo parece confirmar que estamos hechos para apreciar el arte, toda expresión artística activa diferentes reacciones en el cerebro potenciando cualidades en otras áreas; encontraron, que los niños que son instruidos musicalmente tienen mejor ejecución matemática, de lenguaje y comprensión lectora y, por si fuera poco, mejora la postura corporal.

En lo que comprenden las artes visuales han demostrado que mejoran la capacidad de atención y el coeficiente intelectual, reduce la impulsividad. Pintar, dibujar y tomar fotografías tienen efectos terapéuticos, aún en las enfermedades neurodegenerativas. La práctica teatral mejora el vocabulario, eleva la autoestima, favorece convertir conceptos abstractos en concretos.

El canto está vinculado a la alta producción de dopamina, oxitocina y serotonina,

reduciendo los niveles de cortisol, que es la hormona que se libera como respuesta al estrés; la música, mejora el sueño y estimula habilidades de pensamiento, elevando la neurotransmisión sináptica.

Entre los principales logros que han tenido estos estudios, es el identificar la red cerebral que hace posible la imaginación y la creatividad, esta área a la que los expertos llaman zona de trabajo es la responsable de nuestras experiencias conscientes y las facultades cognitivas propias de nuestra especie, al abarcar las cuatro zonas del cerebro que determinan nuestras funciones, podemos saber de dónde procede la creatividad humana.

Conclusión

Considerar los mecanismos neurofisiológicos como la pieza nuclear que desencadena procesos mentales complejos, tanto cognitivos y conductuales producidos durante la observación de la obra estética, es decir la activación positiva de los sentidos visuales, perceptivos, reflexivos y comunicativos que generan de manera dinámica conexiones neuronales y sociales, nos aproxima a la interpretación de la naturaleza de la belleza y las emociones que genera.

Entendiendo de esta manera los procesos epistemológicos, resulta factible entender el arte como parte fundamental en la formación humana, por tal motivo es preciso diversificar su análisis con investigaciones inter y multidisciplinares, aplicadas en las ciencias de la complejidad (incluso para el desarrollo de Inteligencia Artifi-

cial), que podrían contribuir para mejorar las técnicas empleadas en los sistemas académicos, para los cuales el desarrollo de las capacidades y habilidades conducirán a la generación de ciudadanos productivos, pero por encima de ello, de seres humanos felices.

Bibliografía

BEATY, Roger E (2016), *Creative Cognition and Brain Network Dynamics*, Trends in Cognitive Sciences, February 2016, Vol. 20, No. 2.

GALLARDO, Milangela (s.f.), *Victoria de Samotracia, características, análisis y más*. Museos del mundo. Francia.

GRESHKO, Michael (2019) *Esta pintura rupestre podría ser la escena de caza más antigua del mundo*. National Geographic.

MAGSAMEN, Susan (2019), *Your Brain on Art: The Case for Neuroaesthetics*, Cerebrum. Vol. 2019.

RASCHE, Samuel E (2023), *The neural determinants of abstract beauty*, European Journal of Neuroscience, 2023;57:633–645.

BBC Mundo, redacción (2017), *Santiago Ramón y Cajal y los dibujos que revolucionaron hace un siglo nuestra manera de entender el cerebro*. BBC News.

VILLALOBOS, Daniel (2009), *Imhotep, Arquitecto, Sabio y Dios*. Universidad de Valladolid, España. Editorial Sever-Cuesta.

Aportaciones de la ingeniería biomédica: Seguimiento eléctrico y acústico del bienestar fetal



Aída Jiménez González
*Laboratorio de Ingeniería
en Fenómenos Fisiológicos Perinatales,
Departamento de Ingeniería Eléctrica,
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa*



Abstract

The objective of this work was to present contributions of the Perinatal Physiological Phenomena Engineering Laboratory (LIFFPer) towards the monitoring of fetal well-being during pregnancy, and to emphasize the participation of biomedical engineering in the face of the global and unresolved problem of early identification of fetuses with problems of oxygenation. To this end, the relevance of electronic monitoring of fetal heart rate has been described along with the way in which it can be conducted through alternatives that incorporate harmless technology (for recording signals in the maternal abdomen), and computerized tools that eliminate maternal and environmental information that usually contaminates them. Finally, results obtained by the LIFFPer are presented.

Keywords: Abdominal electrocardiogram, abdominal phonocardiogram, fetal heart rate, independent component analysis

Resumen

El objetivo de este trabajo fue presentar algunas contribuciones del Laboratorio de Ingeniería de Fenómenos Fisiológicos Perinatales (LIFFPer) hacia el seguimiento del bienestar fetal durante el embarazo, y enfatizar la participación de la ingeniería biomédica ante el problema mundial y no resuelto de la identificación temprana de fetos con problemas de oxigenación. Para ello, se ha descrito la relevancia del seguimiento electrónico de la frecuencia cardíaca fetal y la forma en que puede realizarse mediante alternativas que incorporan tecnología, inocua para el registro de señales en el abdomen materno, y herramientas computarizadas para eliminar la infor-

mación materna y ambiental que suele contaminarlas. Finalmente, se presentan algunos resultados obtenidos en el LIFFPer.

Palabras clave: Electrocardiograma abdominal, fonocardiograma abdominal, frecuencia cardíaca fetal, análisis por componentes independientes

Introducción

Si alguna vez has estado en contacto con una embarazada (hermana, tía, amiga, etc.) seguramente te percataste de sus visitas al profesional del cuidado de la salud y te platicó sobre los estudios que le realizaron. Incluso es probable que te haya hablado sobre las imágenes que vio de su bebé y sobre el sonido que escuchó cuando el médico “le puso el ultrasonido en el abdomen” (figura 1), diciendo algo como “lo vi moverse y escuché su corazón”. También pudo mencionarte que el médico “le midió algunas cosas al feto” y que le pidió a ella ciertos estudios adicionales para “ver si todo estaba bien”.

Como resultado de esas pláticas es posible que te hayas preguntado cosas como: ¿por qué son importantes las revisiones médicas durante el embarazo? y ¿qué tipo de información fetal busca el médico con el equipo de ultrasonido?. Adicionalmente, si ya tienes conocimientos al respecto, tu curiosidad podría haberte llevado a preguntarte si ¿sería posible obtener esa información mediante métodos alternativos? y ¿cuál sería la relevancia de profesionistas como los ingenieros biomédicos en esa tarea?. Pues bien, en este artículo hablaremos al respecto y pondremos énfasis en algunas aportaciones de la ingeniería biomédica en el seguimiento alternativo de la condición fetal.



Figura 1. Ultrasonido fetal (sonograma fetal) durante el embarazo¹.

Importancia del seguimiento del bienestar fetal durante el embarazo

El seguimiento del bienestar fetal durante el embarazo tiene como objetivo identificar a aquellos casos que tienen problemas de oxigenación, así que es una actividad fundamental para el cuidado del feto. Para este fin, el médico especialista observa y analiza una serie de eventos fisiológicos conocidos como la frecuencia cardíaca fetal (FCf), los movimientos y tono fetales (Mf) y el flujo sanguíneo fetal (FSf). Estos eventos tienen la característica de cambiar cuando el suministro de oxígeno (O₂) disminuye (mediante mecanismos de defensa fetales), y mientras que en un feto sano (o en bienestar) se autoajustan exitosamente para garantizarle el suministro de O₂ necesario para su crecimiento y desarrollo (aumentando su frecuencia cardíaca, por ejemplo), en

un feto con problemas no lo hacen, lo que incrementa el riesgo de resultados adversos antes, durante o después del trabajo de parto. Así, mediante la observación de las variaciones en estos eventos fetales, el médico busca identificar etapas tempranas asociadas a problemas de oxigenación e intervenir oportunamente para (1) prevenir resultados adversos como daño neurológico fetal (parálisis cerebral o encefalopatía), la muerte o ambos, (2) optimizar el tiempo de nacimiento y (3) evitar intervenciones innecesarias (Godoy Villamil et al., 2022, Sundström et al., 2000).

En la clínica, la observación del bienestar fetal se realiza mediante ultrasonografía, una opción que le permite al especialista médico la observación de la FCf, los Mf y el FSf para la evaluación biofísica del bienestar fetal, la clasificación del embarazo como de alto o bajo riesgo y, así, la decisión del procedimiento a seguir. Desafortunadamente, aunque el uso del ultrasonido ha reducido la cantidad de muertes fetales debidas a problemas de oxigenación, aún se reportan miles de ellas durante el embarazo (Murguía de Sierra et al., 2005). Tan solo en México, el INEGI reportó que durante el año 2021 se registraron 23,000 muertes fetales, 83.5 % de ellas antes del parto, 15.3 % durante el parto y 1.2 % no se especificó (INEGI, 2022).

Aunque las causas para estas cifras no son específicas, estos porcentajes indican que el seguimiento efectivo de la condición fetal sigue siendo un reto, lo que significa que aún hay mucho por hacer para coadyuvar a la solución del problema. En

¹ Imagen de Freepik

este sentido, mientras el lector o lectora puede intuir que la mujer embarazada debe ser copartícipe del proceso, asegurándose de asistir a sus citas médicas y de seguir las indicaciones de su médico, también debe considerar que es importante que el médico especialista posea la experiencia, habilidad y los recursos necesarios para identificar tempranamente los signos asociados a los problemas de oxigenación, condiciones que no siempre se cumplen y cuyo análisis está más allá del objetivo de este artículo.

La cuestión ahora es ver cómo es que la participación de un tercero, un profesional no médico, puede fortalecer al enfoque clínico al proporcionarle métodos alternativos cuya información complementa a la observación tradicionalmente basada en el ultrasonido, que se caracteriza por ser de corta duración (aproximadamente 30 minutos), discontinua (con semanas entre cada revisión), subjetiva (porque el médico interpreta las variaciones de la FCf, los Mf y el FSf durante y decide si hay bienestar o riesgo fetal) y, ciertamente, con vacíos en la comprensión de la respuesta fetal a los problemas de oxigenación (porque aún no se estudian en su totalidad). Al respecto, la siguiente sección describirá algunas estrategias alternativas que las ingenieras e ingenieros biomédicos en la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa (Departamento de Ingeniería Eléctrica, Área de Ingeniería Biomédica, Laboratorio de Ingeniería de Fenómenos Fisiológicos Perinatales, LIFFPPer) han estudiado como mé-

todos complementarios para el seguimiento de la condición fetal durante el embarazo.

La ingeniería biomédica y el seguimiento electrónico del bienestar fetal durante el embarazo

Desde hace décadas se ha considerado que la capacidad de identificación temprana de los fetos con problemas de oxigenación podría incrementarse al aumentar la frecuencia y duración de la observación de la FCf, los Mf y el FSF, pues se aumentaría la probabilidad de encontrar a estos fetos antes de que su crecimiento y desarrollo se vean afectados. Esto, sin embargo, no es posible mediante el ultrasonido porque (1) incrementaría considerablemente el gasto para el seguimiento debido al costo del uso del equipo de ultrasonido y a los honorarios médicos asociados a dicho uso y, (2) si bien se considera a la ultrasonografía como una técnica inocua, la realidad es que su utilización implica que se le aplique energía ultrasónica al tejido fetal, lo que no puede realizarse por periodos largos sin ponerlo en riesgo por calentamiento (Barnett, 2001). Alternativamente, se ha propuesto que el seguimiento tradicional durante el embarazo se complementa con técnicas (1) que no requieran de personal especializado para obtener² la información de las respuestas fetales y (2) que no apliquen ningún tipo de energía al feto, lo que haría al estudio más accesible para la población y completamente inocuo, permitiendo así un seguimiento menos intermitente y por periodos prolongados.

² Es importante recalcar que de ninguna manera podemos excluir al especialista médico, pues es el único autorizado para interpretar la información obtenida, para emitir un diagnóstico y para indicar las acciones a seguir. En este trabajo nos referimos a métodos alternativos que se enfoquen únicamente en la obtención de la información asociada a las respuestas fetales ante la disminución de O₂ fetal, esto de manera accesible e inocua. Una vez que se obtenga esa información, debe presentarse al médico para que la analice y determine si hay riesgo fetal.

Aquí es donde entra en acción la ingeniería biomédica, una disciplina que permite que sus profesionistas comprendan la magnitud del reto que representa el seguimiento del bienestar fetal y que apliquen sus conocimientos para el desarrollo de métodos electrónicos e inocuos que faciliten la observación prolongada de la respuesta fetal a los cambios de O_2 , lo que ha generado lo que se conoce como seguimiento electrónico del bienestar fetal.

Ciertamente la tarea no es sencilla, y antes de entrar en materia sobre el trabajo realizado en el LIFFPPer para este seguimiento es necesario que el lector(a) tenga presentes dos características importantes de las respuestas fetales a los problemas de oxigenación, (1) las variaciones de la FCf, los Mf y el FSf no se producen simultáneamente; por el contrario, se activan dependiendo del grado de deficiencia de O_2 y, (2), la observación electrónica de las variaciones de la FCf, los Mf y el FSf impone niveles de dificultad diferentes para la tecnología. Al respecto, la respuesta fetal más temprana se observa en la FCf (que cambia inmediatamente), seguida por el FSf y, finalmente, por los Mf (que pueden tardar semanas en cambiar). Por su parte, desde el punto de vista de acceso a esos eventos, la observación electrónica de la FCf es relativamente más fácil que la de los Mf y, a su vez, que la del FSf (que actualmente solo puede realizarse mediante equipo de ultrasonido). Es por estas razones que los esfuerzos tecnológicos se han destinado al seguimiento electrónico de la FCf, pues es la respuesta más temprana a los cambios de oxigenación y se puede observar con mayor facilidad.

La ingeniería biomédica y el seguimiento electrónico

de la FCf durante el embarazo

Con ayuda de la ingeniería biomédica, la medición alternativa de la FCf se puede realizar a partir del trazo conocido como electrocardiograma fetal (ECGf) o del trazo conocido como fonocardiograma fetal (FCGf), que se producen respectivamente por la actividad eléctrica y acústica del corazón del feto. Su obtención requiere de tecnología que detecte esas actividades bioeléctricas (mediante electrodos) o bioacústicas (usando micrófonos), que las transforme a señales eléctricas y que las despliegue amplificadas y filtradas para entonces medir la FCf como se muestra en la figura 2.

Obsérvese que en el ECGf es notoria la presencia de un pico de amplitud alta que se repite (positivo en este ejemplo e indicado por \diamond). Ese pico se conoce como onda R (R), y su repetición se debe a la despolarización rítmica del músculo cardíaco (específicamente del ventrículo) que, captada por unos electrodos, produce el trazo en (a). Por su parte, en el FCGf, es notoria la presencia de un evento con valores positivos y negativos de amplitud alta que se repite (marcado por \diamond). Ese evento se conoce como primer sonido cardíaco (S1), y su repetición se debe a que la contracción rítmica del corazón cierra un par de válvulas cardíacas (conocidas como tricúspide y mitral), lo que produce vibraciones que viajan hacia la superficie abdominal para ser captadas por un micrófono y generar el trazo presentado en (b). Ahora, para calcular ese ritmo (mejor conocido como frecuencia cardíaca) a partir del ECGf o del FCGf, es necesario medir el tiempo (T) entre dos ondas R consecutivas en (a) o entre dos sonidos S1 consecutivos en (b) y, entonces, dividir 1 entre T ($FCf = 1/T$). Finalmente, si se

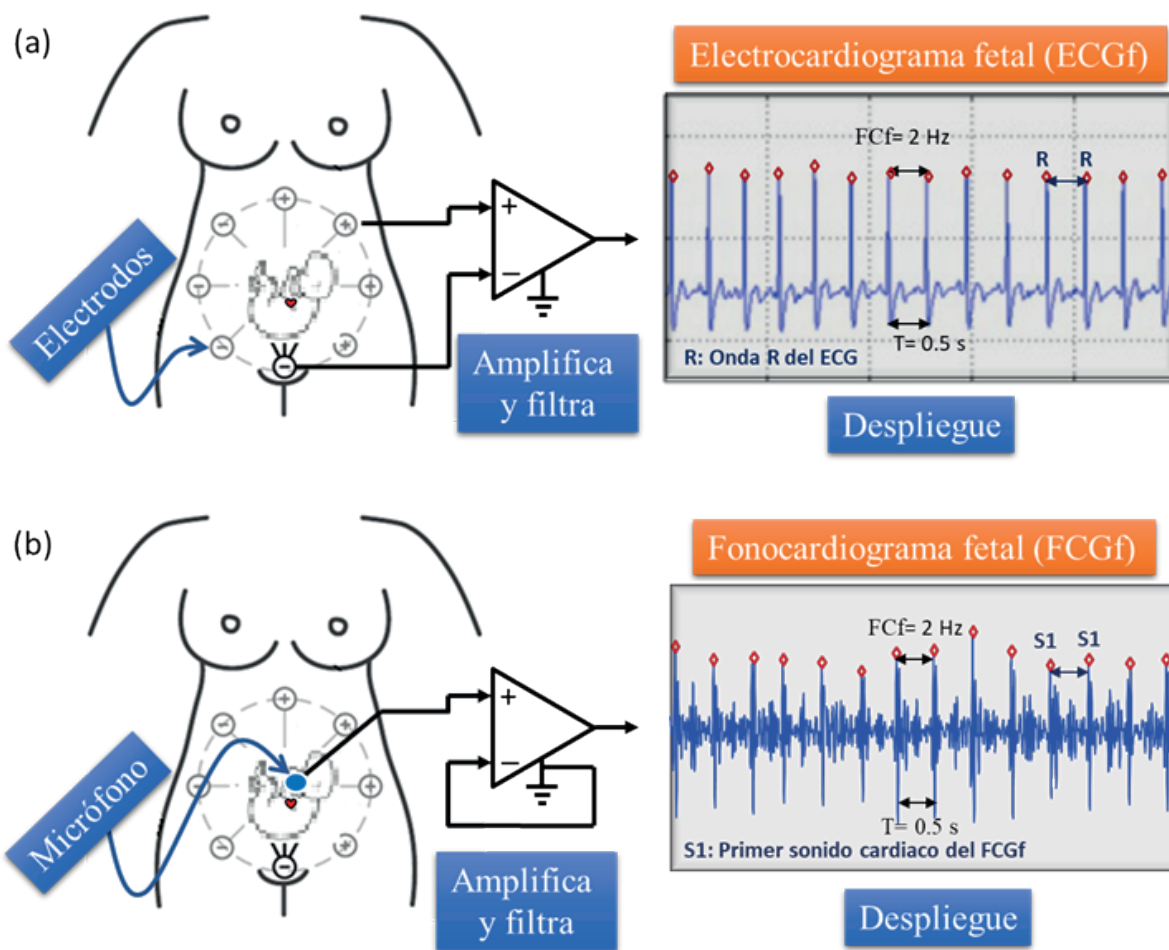


Figura 2. Registro alternativo de información fetal y medición de la FCF a partir del (a) electrocardiograma fetal y (b) fonocardiograma fetal.

multiplica FCF por 60, se obtiene la frecuencia cardíaca fetal en latidos por minuto (lat/min), que normalmente tiene valores entre 120 y 160 lat/min.

Hasta ahora todo es favorable en esta descripción, pues la tecnología biomédica sin duda alguna permite medir de manera electrónica la FCF durante el embarazo sin importar (1) que el corazón del feto se encuentra relativamente lejos de los electrodos o el micrófono (dentro de la caja torácica fetal, que a su vez está rodeada por el líquido amniótico, y éste por los tejidos abdominales maternos) y (2) que el corazón

fetal es tan pequeño que produce señales bioeléctricas y bioacústicas de muy baja intensidad. Esto es un punto a favor de la estrategia alternativa que se ha mencionado en esta sección, pues al usar electrodos o micrófonos en la superficie abdominal se garantiza que la medición de la FCF se realice de manera inocua y continua, lo que favorece al seguimiento del bienestar fetal. Sin embargo, como la estrategia alternativa se basa en la detección de información fetal en la superficie del abdomen materno (y no directamente sobre el tórax fetal, por razones obvias), es necesario que los profesionales en ingeniería biomédica

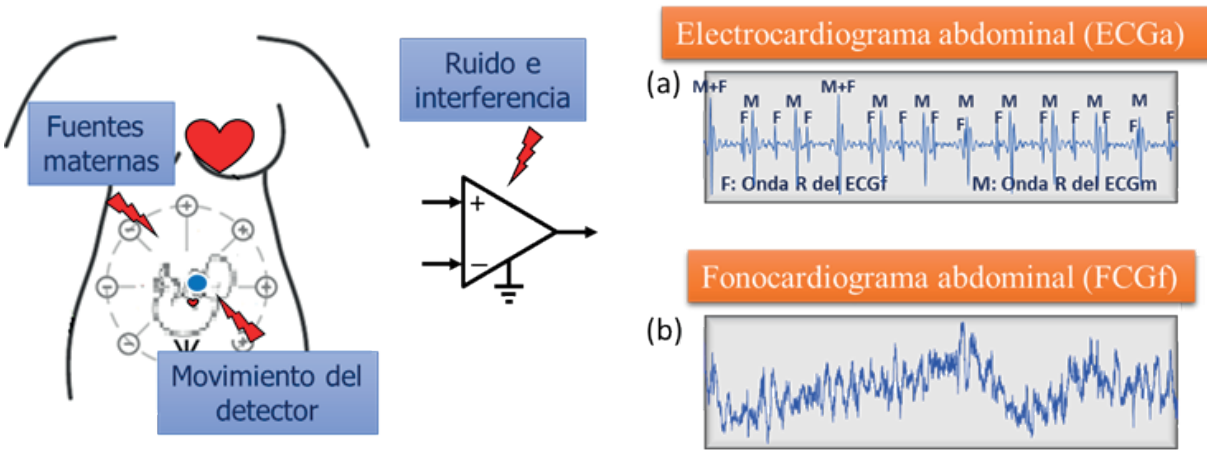


Figura 3. Registro real obtenido sobre el abdomen materno. (a) Electrocardiograma abdominal y (b) fonocardiograma abdominal. En (a), F denota la actividad cardíaca fetal y M la actividad cardíaca materna, mientras que M+F indica que los eventos materno y fetal coincidieron en ese instante.

tomen en cuenta factores adicionales que afectan a la información fetal al momento de su registro y despliegue, pues la realidad es que en el abdomen materno se obtiene un electrocardiograma abdominal (ECGa) o un fonocardiograma abdominal (FCGa), como se describe a continuación.

En la práctica, los registros abdominales siempre contienen tres fuentes de información, la de origen fetal (corazón; con la menor intensidad), la de origen materno (corazón, músculos abdominales, intestinos; con hasta 10 veces la intensidad fetal) y el ruido e interferencia (ambiental, electrónico o por movimiento; con intensidades variables e impredecibles). Esta información se detecta simultáneamente con los electrodos o micrófonos abdominales, produciendo mezclas que en el párrafo anterior fueron mencionadas como ECGa y FCGa (respectivamente) y que se ilustran en la figura 3.

Obsérvese que el ECGa en (a) presenta dos picos de amplitud alta etiquetados como M y F, indicando que corresponden respecti-

vamente a la despolarización rítmica del corazón materno y del fetal (latiendo con diferente frecuencia). Adicionalmente, puede notarse que los dos picos de mayor amplitud están marcados como M+F, indicando que en ese instante particular la despolarización materna coincidió con la fetal, ocultando a la segunda por completo e imposibilitando su visualización en esos dos casos. Ahora obsérvese (b), y nótese que el problema se vuelve más evidente, puesto que el FCGa obtenido está contaminado fuertemente por fuentes no fetales con intensidad acústica tan alta que ocultaron por completo al FCGf, haciendo imposible la visualización de la información cardíaca fetal, incluso para el ojo experto.

Ante esta realidad surge el siguiente reto para un profesional en ingeniería biomédica interesado(a) en contribuir en el seguimiento del bienestar fetal durante el embarazo: Dado un registro inocuo de ECGa o FCGa como el de la figura 3, ¿será posible medir la FCf de manera continua?. La respuesta es sí, pero primero se tiene que

separar a la componente cardíaca fetal presente en el ECGa o el FCGa, lo que en el LIFFPer se ha hecho mediante una técnica de procesamiento digital de señales conocida como Análisis por Componentes Independientes (ICA, por sus siglas en inglés).

Los fundamentos matemáticos de ICA no serán tratados en este artículo, y lo único que el lector(a) debe mantener en mente es que ICA es una herramienta computacional que, basada en estadística de orden alto (kurtosis y no-Gaussianidad), se desarrolló para trabajar con mezclas con el propósito específico de recuperar sus fuentes constitutivas, resolviendo así lo que la literatura denomina “el problema de separación ciega de fuentes” (DeLorme). Así, en el reto planteado, las mezclas en cuestión serán los ECGas (o los FCGas), las fuentes constitutivas serán el ECGf (o el FCGf), las fuentes maternas y el ruido e interferencia; y la herramienta de separación será ICA.

La figura 4 muestra los resultados obtenidos en el LIFFPer ante el reto de extraer el ECGf a partir del ECGa (Jiménez-González y Castaneda-Villa, 2020). En (a), se presentan los ECGas registrados con un equipo de cuatro canales (indicados como canal 1, canal 2, canal 3 y canal 4), y en (b) se ilustra el ECGf extraído con ICA de cada canal. Como puede verse, ICA fue capaz de recuperar la información cardíaca fetal en cada canal, incluso en aquellos casos donde se presentó el traslape M+F, lo que permite medir la FCf de manera continua a partir del registro abdominal.

La figura 5 muestra los resultados obtenidos en el LIFFPer ante el reto de extraer el FCGf a partir del FCGa (Jiménez-González & James, 2013). En (a), se presenta el FCGa registrado con un equipo de un

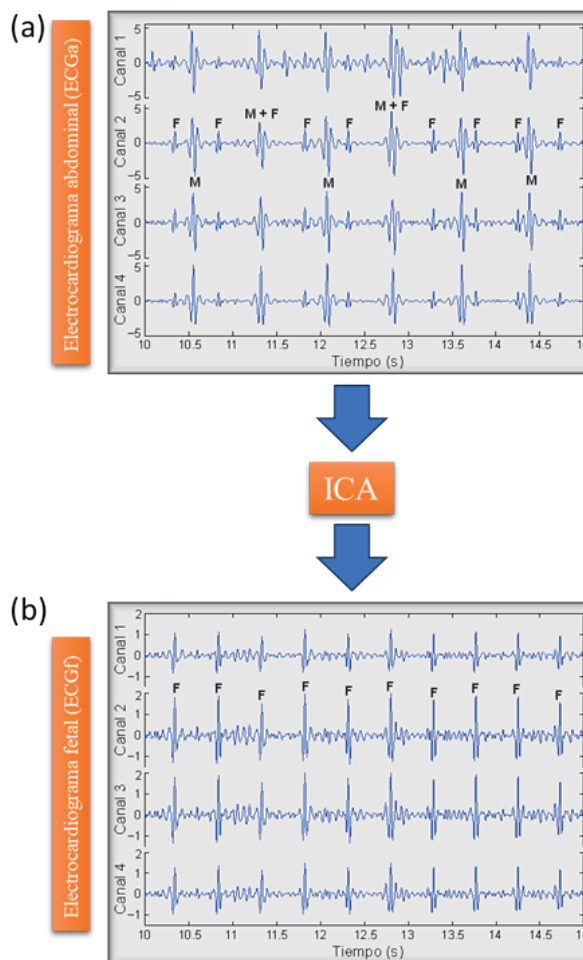


Figura 4. Extracción del ECGf a partir del ECGa mediante ICA. (a) ECGas registrados durante el embarazo utilizando un equipo de cuatro canales y (b) ECGfs extraídos de cada canal abdominal mediante ICA. F denota la actividad cardíaca fetal y M la actividad cardíaca materna, mientras que M+F indica que los eventos materno y fetal coincidieron en ese instante. Las unidades en el eje Y son volts.

canal y, en (b), se ilustra el FCGf extraído con ICA. Adicionalmente, y con fines ilustrativos, se presentan las fuentes indeseables (c) de origen cardíaco materno, (d) por movimiento del micrófono durante la respiración materna y (e) por ruido ambiental, todas separadas por esta he-

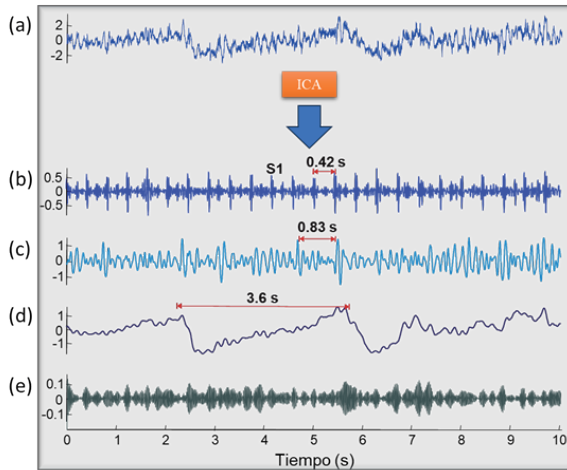


Figura 5. Extracción del FCGf a partir del FCGa mediante ICA. (a) FCGa registrado durante el embarazo utilizando un equipo de un canal y (b) FCGf extraído mediante ICA. Adicionalmente, las fuentes indeseables (c) cardíaca materna, (d) por movimiento del micrófono durante la respiración materna y (e) por ruido ambiental. S1 denota la actividad cardíaca fetal (primer sonido cardíaco). Las unidades en el eje Y son volts.

ramienta computacional. Como puede verse, ICA fue capaz de extraer al FCGf, lo que permite medir la FCf de manera continua a partir del registro abdominal.

La figura 6 muestra los resultados obtenidos al medir de manera continua la FCf a partir del (a) ECGf y del (b) FCGf extraídos por ICA en sujetos diferentes. En (a), arriba, se presenta el trazo de referencia (también conocido como patrón o “estándar de oro”) de la FCf latido a latido, mientras que abajo se ilustra el trazo medido en el LIFFPer a partir de uno de los ECGfs extraídos por ICA e ilustrados en la figura 4. Nótese que en este ejemplo la medición de la FCf se realizó durante 5 minutos continuos y que la morfología y valores en el trazo medido son similares a los del trazo de referencia. Esto último indica que

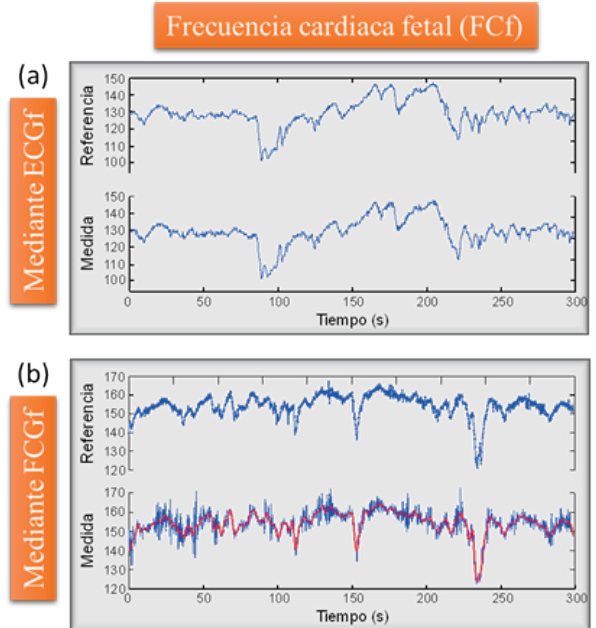


Figura 6. Medición continua de la FCf a partir del (a) ECGf y del (b) FCGf extraídos por ICA en sujetos diferentes. En (a), arriba, el trazo de referencia de la FCf latido a latido y, abajo, el trazo medido en el LIFFPer a partir de un ECGf extraído por ICA. En (b), arriba, el trazo de referencia de la FCf latido a latido y, abajo, en color azul el trazo medido a partir de un FCGf extraído por ICA. El trazo rojo corresponde a una versión suavizada del trazo azul. Las unidades en el eje Y son latidos / minuto.

se puede confiar en las mediciones obtenidas a partir de los ECGf extraídos por ICA del ECGa. Por su parte, en (b), arriba, se observa el trazo de referencia de la FCf latido a latido, mientras que abajo en color azul, se ilustra el trazo medido en el LIFFPer a partir del FCGf extraído por ICA e ilustrado en la figura 4. Obsérvese que en este ejemplo, el trazo medido (en color azul) presenta variaciones rápidas que no se encuentran en el trazo patrón, así que hay errores en la medición latido a latido. Afortunadamente, estas variaciones pueden reducirse al suavizar la FCf medi-

da para producir el trazo en color rojo, que se parece mucho a la FCf de referencia e indica que la medición de la FCf a partir del FCGf también es posible.

El paso final sería presentarle estos trazos al médico especialista como información complementaria para apoyarlo en la evaluación y diagnóstico de la condición fetal durante el embarazo, siempre con el propósito de coadyuvar a la identificación temprana de fetos con problemas de oxigenación y mediante el uso de estrategias y herramientas alternativas que no representen ningún tipo de riesgo para el binomio feto-madre. Por supuesto, la ingeniería biomédica puede seguir colaborando y proceder al análisis automatizado del trazo de la FCf para buscar patrones que alerten al especialista médico en caso de anomalías, pero es material para otro artículo.

Conclusión

La identificación temprana de fetos con problemas de oxigenación durante el embarazo es un problema mundial y es una tarea que corresponde del médico especialista. En este sentido, el profesional en ingeniería biomédica puede participar en la búsqueda de soluciones y ayudar al médico, esto al incorporar alternativas que, basadas en tecnologías inocuas y herramientas computacionales, faciliten el seguimiento continuo de la FCf durante el embarazo. En el caso del LIFFPer, esto se hace mediante el registro y procesamiento digital del ECGa y del FCGa, lo que ha permitido recuperar señales que contienen la información fetal de interés y medir la FCf. Esta FCf es un indicador significativo para el seguimiento del bienestar fetal, y su monitoreo continuo puede ofrecer información complementa-

ria al esquema clínico tradicional para la identificación de fetos en riesgo.

Referencias

Barnett, S.B. Intracranial temperature elevation from diagnostic ultrasound. *Ultrasound in medicine & Biology*, 27(7), pp. 883-888, 2001.

Comunicación Social INEGI. *Estadísticas de Defunciones Fetales (EDF)*, 2022 (última consulta el 28 de junio de 2024).

DeLorme, A. *Infomax Independent Component Analysis for dummies* https://ar-nauddelorme.com/ica_for_dummies/ (última consulta el 28 de junio de 2024).

Godoy Villamil, P.C., Acuña Pradilla, C., Caicedo Goyeneche, A.P., Rosas Pabón, D. y Paba Rojas, S.P. Monitoreo fetal: principios fisiopatológicos y actualizaciones, *Archivos de Ginecología y Obstetricia*, 60(1), pp. 47-70, 2022.

Hyvärinen, A. Independent component analysis: recent advances, *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 371(1984), 20110534, pp. 1-19, 2013.

Jiménez-Gonzalez, A. & James, C.J. Blind separation of multiple physiological sources from a single-channel recording: a preprocessing approach for antenatal surveillance. En *IX International Seminar on Medical Information Processing and Analysis*, 8922, pp. 101-111, 2013.

Jiménez-González, A. & Castaneda-Villa, N. Blind extraction of fetal and maternal components from the abdominal electrocardiogram: An ICA implementation for low-dimensional recordings, *Biome-*

dical Signal Processing and Control, 58, 101836, pp. 1-14, 2020.

Murguía de Sierra, M. T., Lozano, R., y Santos, J. I. Mortalidad perinatal por asfixia en México: problema prioritario de salud pública por resolver, *Boletín médico*

del Hospital Infantil de México, 62(5), pp. 375-383, 2005.

Sundström, A. K., Rosén, D., y Rosén, K. G. *Control del bienestar fetal*. Neoventa Medical, pp. 1-40, 2000.



Explorando la Ciencia de Datos: Desde la Estadística hasta el Big Data

*José Luis Quiroz Fabián
Adriana Pérez Espinosa
Graciela Román Alonso
Miguel Alfonso Castro García
Manuel Aguilar Cornejo
Departamento de Ingeniería Eléctrica,
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa*



Resumen

Actualmente, la Ciencia de Datos es un campo interdisciplinario que se centra en la extracción de conocimiento útil de grandes conjuntos de datos. Se enfoca en la utilización de herramientas y técnicas para la recopilación, procesamiento y análisis de datos, con el objetivo de identificar patrones, tendencias y relaciones que puedan ser utilizados para mejorar la toma de decisiones. En este artículo, se busca dar un panorama general de la Ciencia de Datos y el conocimiento que implica, proporcionando una visión integral de sus conceptos, metodologías y requerimientos del tratamiento de datos masivos.

Palabras clave: Ciencia de Datos, Estadística, CRISP-DM, Datos Masivos, IA.

Abstract

Today, Data Science is an interdisciplinary field that involves extracting useful knowledge from large datasets. It focuses on using tools and techniques to collect, process, and analyze data in order to identify patterns, trends, and relationships that can be used to improve decision-making. This article aims to provide a general overview of Data Science and the knowledge it encompasses, offering a comprehensive view of its concepts, methodologies, and Big Data challenges.

Keywords: Data Science, Statistics, CRISP-DM, Big Data, AI.

1. Introducción

La **Ciencia de Datos** es una colección de técnicas utilizadas para extraer valor de los datos [1], donde se busca responder preguntas como “¿Qué pasó?”, “¿Por qué pasó?”, “¿Qué pasaría?” y “¿Qué se puede hacer con los resultados?”.

La Ciencia de Datos abarca varias disciplinas, combinando Estadística y Matemáticas, Ciencias de la Computación y diversos campos de aplicación, incluyendo (pero no limitándose) a los negocios, la salud, la investigación científica y el sector público. A los profesionistas en el campo de la Ciencia de Datos se les conoce como **Científicos de Datos**.

1.1 Clasificación de problemas en la Ciencia de Datos

Los problemas en Ciencia de Datos se pueden clasificar según el tipo de problema a resolver, el tipo de datos utilizados, el enfoque del aprendizaje automatizado y el objetivo del problema:

Tipo de problema: por ejemplo problemas de regresión, problemas de agrupamiento (clustering), problemas de detección de anomalías, entre otros.

Tipo de datos: datos estructurados, datos no estructurados, datos semi-estructurados (como XML o JSON) y datos de secuencia (como los datos de series temporales).

Enfoque del aprendizaje automatizado: Modelos que usan datos con respuestas conocidas (supervisados) o modelos que buscan patrones sin respuestas predefinidas (no supervisados).

Objetivo del problema: Por ejemplo, se pueden realizar análisis predictivos o descriptivos para obtener estadísticas.

1.2 Ciencia de Datos y otras líneas de investigación

La Ciencia de Datos es un área de conocimiento que se conforma de tres grandes

áreas: las Ciencias de la Computación, las Matemáticas en su rama de Estadística y las Habilidades de Negocio (véase la Figura 1 con el Diagrama de Venn de Drew Conway [2]).

Por Ciencias de la Computación nos referimos a los principios y técnicas para diseño y desarrollo de los sistemas computacionales. Se abarca desde algoritmos simples hasta algoritmos de inteligencia artificial e interacción humano-computadora.

De igual forma las Ciencias de la Computación junto con las Matemáticas y la Estadística dan pie al Aprendizaje Automático o Machine Learning, que se enfoca en la creación de modelos predictivos automatizados [3]. Con ello la Ciencia de Datos extrae conocimiento y genera descubrimientos útiles (insights), generalmente a partir de grandes volúmenes de datos.

Finalmente, la Ciencia de Datos incorpora habilidades de diferentes disciplinas (Habilidades de Negocio), lo que implica una comprensión profunda del área de estudio para poder aplicar los resultados de manera efectiva en diversos contextos, incluyendo empresariales, académicos, científicos y de toma de decisiones.

2. Estadística en la Ciencia de Datos

La estadística es fundamental en la Ciencia de Datos, ya que proporciona las herramientas necesarias para interpretar y analizar datos. La estadística descriptiva se utiliza para resumir y visualizar datos, lo que permite identificar patrones y tendencias mediante medidas como la media, la mediana y la desviación estándar, así como a través de gráficos. Por otro lado, la estadística inferencial permite hacer predicciones y generalizaciones sobre una po-

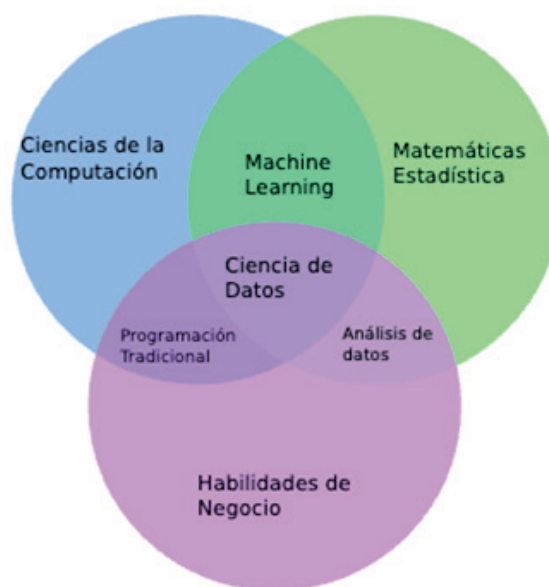


Figura 1. Diagrama de Venn de Drew Conway ilustrando las disciplinas que conforman la Ciencia de Datos.

blación a partir de una muestra, utilizando técnicas como intervalos de confianza y pruebas de hipótesis. Ambas ramas son esenciales para tomar decisiones informadas basadas en datos, evaluar modelos y validar resultados en la Ciencia de Datos.

3. Metodología o ciclo de vida de la Ciencia de Datos

Inicialmente, los equipos de análisis de datos seguían metodologías basadas en la experiencia personal, así como en estrategias de ensayo y error. Con el tiempo, organizaciones como Microsoft e IBM desarrollaron estándares metodológicos. El más importante y ampliamente utilizado en la industria es el Cross-industry standard process for data mining (CRISP-DM), o proceso estándar interindustrial para minería de datos, publicado en 1999 [4]. Este fue el primer gran esfuerzo por crear una metodología estándar para el

análisis de datos. Aunque existen otras metodologías, la mayoría se asemeja a CRISP-DM, que incluye las siguientes etapas: comprensión del negocio o problema, comprensión de los datos, preparación de los datos, modelado, evaluación e implantación.

3.1 Comprensión del problema o negocio

Esta etapa es análoga a la toma de requerimientos en la ingeniería de software, se habla con el usuario o cliente y se busca establecer los objetivos claros, para luego traducirlos en requerimientos técnicos.

3.2 Comprensión de los datos

Se recaban los datos que se van a emplear durante el proyecto y se realiza un análisis preliminar con el fin de adquirir un mejor entendimiento de los datos. Se pueden empezar a formular hipótesis y a identificar datos faltantes. También se emplean herramientas como gráficas para adquirir un entendimiento de alto nivel de los datos.

3.3 Preparación de los datos

Se seleccionan los datos que se van a emplear durante el análisis y se realizan diferentes transformaciones sobre ellos, tales como la selección de subconjuntos de datos utilizables, el reemplazo de campos faltantes, combinación de datos para formar datos nuevos, adaptar el formato para ser utilizable en alguna herramienta, normalizaciones, etc.

3.4 Modelo de los datos

Se seleccionan una o varias técnicas de modelado que se van a llevar a cabo con los datos, por ejemplo redes neuronales, agrupamiento, regresiones, etc. También se diseñan pruebas mediante las cuales se va a evaluar la calidad de los distintos mo-

delos producidos durante esta fase. En la Sección 4 se detalla más esta etapa.

3.5 Evaluación

Se realiza un análisis a fondo, tanto del modelo seleccionado en la etapa anterior como de todo el proceso seguido hasta este punto, para determinar si el modelo cumple con los objetivos establecidos. De acuerdo a este análisis se decide si se va a seguir con la fase de implantación, si se van a realizar más iteraciones del proyecto o si se va a empezar un proyecto nuevo.

3.6 Implantación

La información proporcionada por el modelo se organiza para poder ser presentada al cliente. También se elabora un plan de implantación con el fin de que el cliente tenga claros los pasos a realizar para poder hacer uso efectivo del modelo generado

4. Modelo de Datos (Modelo de Aprendizaje)

En Ciencia de Datos, se utilizan modelos para analizar, procesar y predecir información. Aunque todas las etapas de la metodología son importantes, los modelos de aprendizaje tienen un peso especial. Estos modelos incluyen técnicas de *Aprendizaje Automático* que se aplican a diversos tipos de problemas, como la predicción, el agrupamiento, la clasificación, la identificación de patrones, la optimización, entre otros. Los modelos seleccionados dependen del tipo de problema que se desea resolver.

Algunos modelos comunes incluyen:

- *Regresión lineal*: Modelo para aproximar o predecir el valor de datos desconocidos mediante el uso de otro valor de datos relacionado y conocido.

- *Redes neuronales*: Modelos que imitan un cerebro orgánico para reconocer patrones y tomar decisiones. Consisten en neuronas artificiales¹ conectadas, que procesan datos de entrada para producir valores de salida.
- *Máquinas de Soporte vectorial*. Modelos de aprendizaje que clasifican datos al crear un hiperplano que maximiza la distancia entre las clases.
- *Random Forest*: Modelo de aprendizaje que utiliza múltiples árboles de decisión para alcanzar un solo resultado.
- *Aprendizaje por refuerzo*: Modelo de aprendizaje automático en el que un agente aprende a tomar decisiones mediante la interacción con un entorno, recibiendo recompensas o penalizaciones.
- *K-means*: Modelo de agrupamiento que divide datos en k clústeres, asignando cada observación al clúster con el centroide más cercano. Los centroides se actualizan iterativamente para minimizar la variación interna de los clústeres.
- *Árboles de decisión*: Modelo de aprendizaje que clasifica datos mediante una estructura de árbol, donde cada nodo es una condición y cada hoja es un resultado. Las decisiones se toman siguiendo un camino desde la raíz hasta una hoja.
- *Algoritmos evolutivos*: Modelos que utilizan procesos inspirados en la evolución, como selección y mutación, para optimizar soluciones iterativamente.

Estos modelos son evaluados mediante métodos como la validación cruzada para asegurar su eficacia en datos nuevos [5]. La interpretación de los resultados y la selección adecuada del modelo, tal como se ve en la metodología CRISP-DM, son cruciales para obtener insights valiosos y tomar decisiones informadas.

5. Datos Masivos (Big Data)

El término **Datos Masivos** o **Big Data** es un concepto que genera confusión respecto a la Ciencia de Datos, no obstante están estrechamente relacionados, ya que ambos campos se complementan y apoyan mutuamente. Big Data se refiere al procesamiento y manejo de infraestructura para trabajar con conjuntos de datos extremadamente grandes y complejos que no pueden ser gestionados, procesados o analizados mediante las herramientas y técnicas tradicionales de gestión de datos [6][7][8] [9]. Por otro lado, la Ciencia de Datos utiliza técnicas de análisis, modelos de aprendizaje automático para analizar datos que podrían ser proporcionados por Big Data.

5.1 Las tres V del Big Data

El análisis de grandes cantidades de datos es crucial para las principales empresas tecnológicas. Amazon, Microsoft, Google, IBM y Oracle definen Big Data en términos de las “Tres V”: *Volumen*, *Velocidad* y *Variiedad*. Amazon y Microsoft destacan cómo el crecimiento en estas áreas supera las capacidades de las bases de datos tradicionales, afectando la gestión y el análisis de datos. Google añade una cuarta “V”, la *Variabilidad*, refiriéndose a cómo cambia el significado de los datos con el tiempo. IBM y Oracle también

¹ Unidad de cálculo que intenta modelar el comportamiento de una neurona natural.

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Neurona_de_McCulloch-Pitts

destacan las “Tres V” del Big Data. En el caso de IBM, además subrayan que el Big Data presenta una o más de las siguientes características: gran volumen, alta velocidad o gran variedad².

5.2 Componentes empleados en el manejo y procesamiento de Big Data

Para poder manejar y procesar correctamente la gran cantidad de datos involucrada en los proyectos de Big Data, es necesario contar con diferentes componentes que permitan un flujo de trabajo sencillo y eficaz. Con este objetivo, existen diferentes componentes que se utilizan comúnmente para abordar la gestión, el procesamiento, el análisis y el almacenamiento de los datos con éxito.

Estos componentes son:

- *Lago de datos*: Es un espacio de almacenamiento centralizado capaz de albergar datos estructurados y no estructurados, sin procesar, provenientes de diversas fuentes, en grandes cantidades.
- *Data Warehouse (almacén de datos)*: Al igual que un lago de datos, es un espacio de almacenamiento centralizado, que puede albergar grandes cantidades de datos de diversas fuentes. A diferencia de un lago de datos, aquí los datos almacenados ya pasaron por las etapas de extracción y transformación.
- *Data Pipeline (canalización de datos)*: Es un proceso mediante el cual se integran datos en bruto de diversas fuentes, los cuales son procesados aplicando una serie de transformaciones, como filtrado, enmascaramiento o agregación, con el fin de estandarizarlos.
- *Business intelligence (Inteligencia empresarial)*: El *Business intelligence (BI)* es un conjunto de técnicas y herramientas de software que consume grandes cantidades de datos estructurados y no estructurados, para presentarlos de manera amigable y fácil de entender, empleando paneles de control, reportes y visualizaciones, permitiendo así el análisis de la información [10].

6. Herramientas de software

En Ciencia de Datos, se utilizan diversas herramientas y bibliotecas para facilitar el procesamiento y análisis de datos. Python y R son lenguajes populares debido a sus bibliotecas como Pandas, NumPy y Scikit-learn, TensorFlow y PyTorch para Python, y ggplot2 y dplyr para R. Además, plataformas de Big Data como Apache Spark y bases de datos como MongoDB y PostgreSQL son esenciales para manejar grandes volúmenes de datos. Estas herramientas permiten realizar análisis avanzados y obtener insights valiosos.

En la Figura 2 se presentan algunas de estas herramientas.



Figura 2. Herramientas utilizadas para Ciencia de Datos³.

² <https://www.ibm.com/analytics/es/es/hadoop/big-data-analytics/>

³ Fuente: <https://www.decisivedge.com/blog/analytics-at-the-speed-of-open-source/>

7. Conclusiones

La Ciencia de Datos se ha establecido como una disciplina esencial en la actualidad, capacitando a las organizaciones para extraer información valiosa de grandes volúmenes de datos. Este artículo ha examinado temas clave en la Ciencia de Datos, incluyendo la metodología CRISP-DM y la relevancia de la estadística descriptiva e inferencial en la interpretación y validación de resultados.

Hemos destacado la importancia de los modelos de aprendizaje automático, como la regresión lineal, las redes neuronales y las máquinas de soporte vectorial, entre otros. Además, lenguajes y herramientas como Python, R, TensorFlow y Apache Spark son fundamentales para gestionar y analizar datos masivos de manera eficaz.

Finalmente, es importante recordar que la Ciencia de Datos no se limita a la tecnología y los algoritmos; también implica entender el contexto del problema a resolver y comunicar los insights de manera efectiva. Con el avance continuo de la tecnología, la Ciencia de Datos seguirá presentando nuevas oportunidades y desafíos.

8. Referencias

[1] Vijay Kotu and Bala Deshpande. *Data Science: Concepts and Practice*. Elsevier Inc., Cambridge, MA, USA, 2019.

[2] Kubben P, Dumontier M, Dekker A, editors. *Fundamentals of Clinical Data Science*. Cham (CH): Springer; 2019. PMID: 31314217.

[3] Kumar, A. N., Raj, R. K., & et al. (2023). *Computer science curricula 2023*. ACM Press, IEEE Computer Society Press, and AAAI Press.

[4] P. Chapman, J. Clinton, R. Kerber, T. Khabaza, T. Reinartz, C. Shearer, and R. Wirth, "CRISP-DM 1.0: Step-by-step data mining guide," SPSS Inc., 2000.

[5] Dangeti, P. (2017). *Statistics for Machine Learning*. Packt Publishing.

[6] N. Marz and J. Warren, *Big Data: Principles and Best Practices of Scalable Real-Time Data Systems*. Shelter Island, NY, USA: Manning Publications, 2015.

[7] V. Mayer-Schönberger and K. Cukier, *Big Data: A Revolution That Will Transform How We Live, Work, and Think*. Boston, MA, USA: Houghton Mifflin Harcourt, 2013

[8] Information Resources Management Association, *Big Data: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*. Hershey, PA, USA: IGI Global, 2016.

[9] Genís Roca y Albert Solana, "Big Data para directivos", Editorial Empresa Activa, 2019.

[10] Juan Gabriel Gomila Salas, Kirill Eremenko, y otros, "Inteligencia Artificial aplicada a Negocios", Editorial Kindle, 2023.



TUF GAMING

