

# **Área de investigación en Ingeniería Biomédica: Historia de nuestros laboratorios de investigación**

**Dra. Aída Jiménez González**  
**Dr. Juan Manuel Cornejo Cruz**  
**Dr. José Rafael Godínez Fernández**  
**M. C. Jesús Alfonso Martínez Ortiz**  
**Dr. Enrique Luis Hernández Matos**  
**Dra. Norma Castañeda Villa**  
**Dra. Pilar Granados Trejo**  
*Departamento de Ingeniería Eléctrica,  
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa*

**Abstract**

The aim of this work was to gather information about the story of the four research laboratories in the Area of Biomedical Engineering, Department of Electrical Engineering, Division of Basic Science and Engineering, at Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. To this end, a senior member of each laboratory was invited to write the narrative corresponding to the Laboratory of Audiology, the Laboratory of Biophysics and Tissue Engineering, the Laboratory of Engineering of Physiological Phenomena, and the Laboratory of Medical Instrumentation. As a result, this document conveys information about the origins, profiles, members, current projects, partners, partnerships and social impact.

**Keywords:** Cochlear implantation in children, maternal-fetal monitoring, biophysics of excitable cells, biomedical instrumentation

**Resumen**

El objetivo de este trabajo fue recopilar información sobre la historia de los cuatro laboratorios de investigación que actualmente forman parte del Área de Ingeniería Biomédica, Departamento de Ingeniería Eléctrica, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, en la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Para ello, se invitó a un integrante de cada laboratorio (preferentemente fundador del mismo) a escribir la reseña correspondiente al Laboratorio de Audiología, al Laboratorio de Biofísica e Ingeniería de Tejidos, al Laboratorio de Ingeniería de Fenómenos Fisiológicos Perinatales y al Laboratorio de Instrumentación Médica. Como resultado, en el presente documento se encontrará información relacionada con el origen, perfil, participantes, proyectos en

desarrollo, colaboradores, colaboraciones e impacto.

**Palabras clave:** El implante coclear en infantes, monitoreo materno-fetal, biofísica de células excitables, instrumentación biomédica

**Introducción**

El Área de Ingeniería Biomédica (AIB) se creó en 1974 como una de las cinco áreas de investigación del entonces Departamento de Ingeniería, en la División de Ciencias Básicas e Ingeniería de la UAM-Iztapalapa (Hernández Matos, 2009). Su desarrollo, como se relata en (Hernández Matos, 2009), ha estado lleno de cambios entre los que destacan (1) modificaciones importantes en su plantilla inicial de profesores, (2) la contratación de profesores jóvenes con estudios de licenciatura, y (3) la separación de un grupo de profesores para formar un Área de investigación nueva. Ciertamente estos cambios continuamente plantearon una serie de retos para el AIB, y gracias a la visión y esfuerzos de sus integrantes, con el paso de los años se estableció un esquema en el que los integrantes del AIB se agruparon en cuatro líneas de investigación (Audiología, Biofísica, Ingeniería de Fenómenos Fisiológicos e Instrumentación Médica). Estas líneas les han dado el nombre a cuatro laboratorios de investigación cuya historia se menciona en este documento como parte de un ejercicio de la Jefatura del Área para recopilar información sobre el desarrollo del AIB.

Para la realización de este trabajo la Jefatura del Área invitó a un integrante “senior” de cada laboratorio (de preferencia profesor fundador del laboratorio) a participar en la escritura de la reseña correspondiente, que se presenta en los siguientes párrafos por orden alfabético. En el

primer caso, se invitó al profesor Juan Manuel Cornejo Cruz, en el segundo al profesor José Rafael Godínez Fernández, en el tercero al profesor Jesús Alfonso Martínez Ortiz y, en el cuarto, al profesor Enrique Luis Hernández Matos. Adicionalmente, se solicitó información complementaria a algunos integrantes del AIB que serán mencionados en los agradecimientos.

### **1. Laboratorio de Audiología (LA)**

En el año de 1987, a iniciativa del profesor Miguel Cadena Méndez (actualmente jubilado), se crea el Laboratorio de Audiología, teniendo como primeros colaboradores a María del Pilar Granados y a Juan Manuel Cornejo. Estos últimos con experiencia en pruebas electrofisiológicas de audición, adquirida en el Servicio de Potenciales Evocados Auditivos del Hospital de Pediatría del Centro Médico Nacional del IMSS bajo la dirección del Dr. Luis Benítez Díaz y del Hospital Infantil de México “Federico Gómez” (HIM), a cargo de la Dra. Marta Rosete.

Con el deseo de contribuir a mejorar la atención del paciente hipoacúsico, los empeños del LA se encaminaron al desarrollo de tecnología, y métodos de detección, diagnóstico y rehabilitación para estos pacientes, particularmente niños. Para lo cual a lo largo de estos años se han establecido relaciones de trabajo con distintas instituciones de salud, públicas y privadas, dedicadas a la atención de estos pacientes.

Fruto de estas relaciones, y atendiendo a la necesidad de contar con auxiliares auditivos para niños cuyo lugar de residencia significara un acceso reducido a soporte técnico e insumos básicos para su funcionamiento, en el año de 1992, con el patro-

cinio del HIM, se construyó un conjunto de veinte auxiliares auditivos tipo “caja”. Esta experiencia puso de manifiesto una serie de requisitos insoslayables a satisfacer en el tránsito del camino que va de un diseño desarrollado dentro de un laboratorio de investigación, a un producto terminado, que ha de ser utilizado por el paciente y/o personal médico. De ahí que para la construcción de estos dispositivos se recurriera al mercado internacional para la consecución de componentes electrónicos de alta calidad y de uso específico, además de la instrumentación y equipo de prueba necesario para asegurar un funcionamiento electroacústico de acuerdo con estándares internacionales.

A lo largo de sus actividades, el Laboratorio de Audiología ha recibido la contribución de profesores como Dolores Ayala Velázquez y Pablo A. Longi Villanueva, del Departamento de Física, y de profesoras como Alicia del Rosario Caballero Hernández, Norma Castañeda Villa, Fabiola Margarita Martínez Licona y Alma Edith Martínez Licona, todas miembros del Departamento de Ingeniería Eléctrica. Sin dejar de mencionar la significativa contribución de estudiantes de posgrado como Nohra Beltrán, Manuel Palacios, Leonardo Ruffiner, Rubén Acevedo, Gabriel Gentiletti y Agar Karina Quintana. Todas estas aportaciones auspiciadas por apoyos recibidos de parte del Área de Ingeniería Biomédica, y del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la UAM-I, Rectoría de la Unidad Iztapalapa, Rectoría General de la UAM, CONACYT, y de la empresa Innovamédica SAPI.

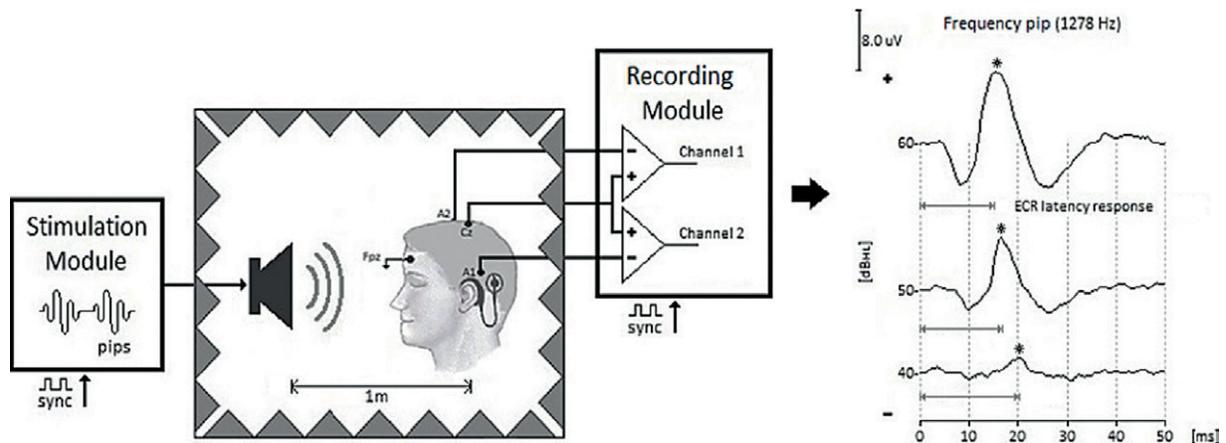
Las vicisitudes han sido muchas a lo largo de estos años, durante los cuales los distintos proyectos de investigación han sido

concebidos a través de la permanente relación con el medio audiológico. Desde hace algunos años, nuestro trabajo se ha abocado a la búsqueda de una alternativa objetiva, i.e., sin la participación consciente del paciente, para determinar la magnitud de la estimulación eléctrica con la que el Implante Coclear -prótesis implantada en la cabeza del paciente que suple la función del oído interno- provee de una experiencia auditiva al paciente hipoacúsico. Problema de frontera que hoy día ocupa la atención de muchos investigadores en el mundo y en el cual el Laboratorio de Audiología ha logrado avances que actualmente se prueban clínicamente en pacientes pediátricos implantados de diferentes instituciones.

#### *Impacto social*

A fin de conseguir una audición que permita la habilitación/rehabilitación del paciente pediátrico usuario de un implante coclear, es propósito lograr que la estimulación eléctrica que el implante envía al paciente a través de los diferentes electrodos de estimulación se ciña a necesidades particulares; propiciando así el empleo útil,

cómodo y seguro del dispositivo; una tarea complicada ya que se requiere de la cooperación del paciente para el ajuste de los niveles de estimulación del dispositivo. Como una contribución a la solución de este problema, el LA ha desarrollado una metodología denominada Respuesta Coclear Eléctrica (Quintana-López et al., 2021), que permite conocer la respuesta eléctrica de la porción del nervio auditivo involucrada en la activación de electrodos individuales (figura 1). De esta manera es posible establecer un juicio acerca de la pertinencia de la magnitud de la corriente eléctrica enviada al paciente a través de cada uno de los electrodos de estimulación, como resultado de la intensidad del sonido de entrada, y al mismo tiempo, detectar algunos problemas de funcionamiento en electrodos individuales. Esta metodología conduce ayuda a la correcta adaptación de los implantes cocleares y conduce a una adecuada rehabilitación auditiva de estos niños (Castañeda-Villa y James, 2011), culminando en un desarrollo del lenguaje, que les permite insertarse de una mejor manera tanto en su entorno familiar como escolar.



*Figura 1. Diagrama de bloques del sistema para la adquisición de la respuesta coclear eléctrica (RCE). El tono tipo PIP se genera en el módulo de estimulación y es enviado al paciente, que está dormido en el interior de una cámara anecoica. El módulo de registro obtiene dos señales de electroencefalograma que, al ser promediadas en 100 épocas, desenmascaran la RCE (Quintana-López et al., 2021).*

## 2. Laboratorio de Biofísica e Ingeniería de Tejidos (LBIT)

El LBIT, originalmente llamado Laboratorio de Biofísica, Neurocomputación y Control, inició a principios de los 90's, más como una idea que como una entidad física, pues no contaba con un laboratorio o equipamiento. Así, los profesores José Rafael Godínez Fernández y Edmundo Gerardo Urbina Medal iniciaron el proyecto trabajando desde sus cubículos (poco tiempo después se incorporó Héctor Trujillo Arriaga, actualmente jubilado). Se pretendía hacer trabajo experimental, pero al no contar con un laboratorio el trabajo inició abordando aspectos teóricos de la biofísica de las células excitables (aquellas que generan actividad eléctrica en forma de potenciales de acción). En aquella época, en ausencia de una computadora personal, se empleaba la del Laboratorio de Instrumentación Médica para programar y ejecutar las simulaciones necesarias.

Varios años después, se asignó un espacio para el laboratorio en la planta baja del edificio T y entonces, motivados por el espacio, se inició el diseño y construcción de los amplificadores necesarios para la toma de las señales bioeléctricas a nivel celular (como alternativa a la tecnología comercial cuyo costo ascendía a miles de dólares), equipo que aún continúa funcionando. Posteriormente, la construcción del edificio AT brindó la oportunidad de un crecimiento importante del espacio final del laboratorio, gracias a que los profesores Caupolicán Muñoz Gamboa y Joel Ricardo Jiménez Cruz cedieron la mitad del espacio que les correspondía. En cuanto al equipamiento, con el apoyo del profesor Miguel Cadena Méndez, quien fungía como jefe del Departamento de Ingeniería Eléctrica, finalmente se pudo adquirir

equipo comercial de alta calidad para el trabajo experimental.

En sus primeros años, el trabajo del laboratorio se enfocó en las neurociencias y el estudio de los canales iónicos. Posteriormente, alrededor del 2012 se presentó un punto de inflexión en el laboratorio gracias al trabajo interdisciplinario con profesores del Departamento de Física (particularmente del Área de Polímeros), donde la amplia e intensa colaboración con los profesores Roberto Olayo González y Juan Morales Corona favoreció el desarrollo de proyectos en temáticas de biomateriales (Osorio-Londoño et al., 2021), ingeniería de tejidos, modelado de la actividad eléctrica del islote pancreático (Félix-Martínez y Godínez Fernández, 2022), modelado de la actividad eléctrica del nodo SA y células del miocardio y biofísica de canales iónicos. Esta evolución es lo que le ha dado el nombre actual de Laboratorio de Biofísica e Ingeniería de Tejidos (Félix-Martínez, 2022).

Actualmente en el laboratorio laboran el profesor José Rafael Godínez Fernández (profesor investigador titular "C") y el Dr. Gerardo Jorge Félix Martínez (investigador por México CONACYT, quien en los últimos años se ha destacado en la biofísica teórica ubicando al LBIT en un lugar respetable a nivel internacional). Además, la colaboración interdisciplinaria se ha ampliado con la participación de colegas de la UAM-Iztapalapa (Divisiones de Ciencias Básicas e Ingeniería y de Ciencias de la Salud) y de instituciones como la UNAM, por citar algunos ejemplos.

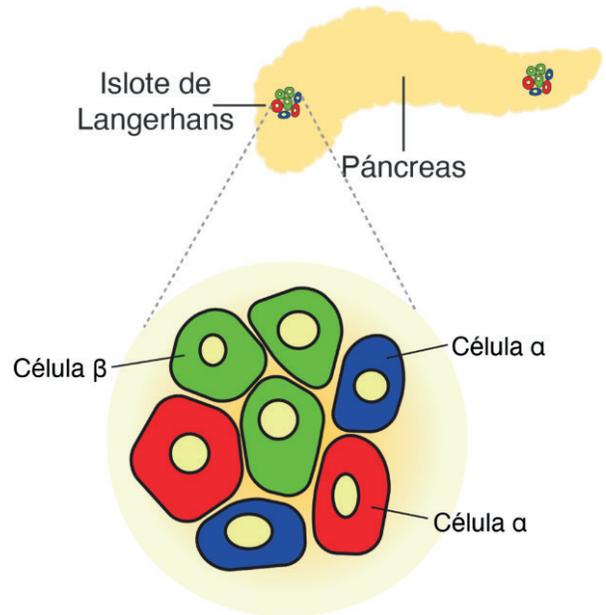
### *Impacto social*

Las primeras causas de muerte e incapacidad en México (antes del COVID-19) son

por enfermedades cardiacas y complicaciones derivadas de la diabetes mellitus tipo 2; por lo que el estudio multidisciplinario del islote pancreático (figura 2) y de las células del corazón es fundamental para entender su fisiología y fisiopatología, esto en miras a prevenir o tratar de manera más eficaz estas enfermedades. Por su parte, la ingeniería de tejidos y los biomateriales representan líneas de investigación de frontera que en un futuro serán importantes en la reparación y/o sustitución de tejidos u órganos dañados irreversiblemente. El trabajo en estas líneas resolverá problemas como la escasa disponibilidad de donantes de órganos y el rechazo de injerto. Finalmente, la biofísica de canales iónicos, a pesar de corresponder a ciencia básica, en la actualidad genera conocimiento que se emplea en el diseño de fármacos que tienen como blanco células excitables con el propósito de regular la función de tejidos u órganos. Por ejemplo, la industria farmacéutica emplea el conocimiento de la biofísica de canales invirtiendo miles de millones de dólares en el diseño de fármacos de última generación.

### 3. Laboratorio de Ingeniería de Fenómenos Fisiológicos Perinatales (LIFFPer)

El LIFFPer, originalmente llamado Laboratorio de Ingeniería en Fenómenos Fisiológicos (LIFF), inició alrededor de 1986 con el proyecto denominado “Electromiografía y manometría anorrectal”, un proyecto que comenzó con la colaboración del profesor Jesús Alfonso Martínez Ortiz y médicos proctólogos (el Dr. Francisco Cuevas y el Dr. Librado Gallegos) adscritos al Hospital General de Zona # 30 del IMSS (HGZ 30). En sus inicios, el proyecto ofreció una alternativa para el registro computarizado de



*Figura 2. Inmersos en el páncreas se localizan los islotes pancreáticos, compuestos principalmente de células alfa secretoras de glucagón, células beta secretoras de insulina y células delta, secretoras de somatostatina (Félix-Martínez, 2022).*

señales electromiográficas y manométricas del recto y ano, lo que se logró mediante sondas esofagogástricas con balones de presión intracavitarios a las que se adaptaron anillos de plata para funcionar como electrodos de superficie. Las señales obtenidas por la sonda eran enviadas a unos amplificadores comerciales que fueron acondicionados para este propósito y finalmente transmitidas a la computadora.

Este equipamiento permitió monitorear cuantitativamente el estado del aparato esfinteriano ano-rectal y dio lugar al estudio de algunas condiciones patológicas como la incontinencia. Así, los primeros registros de señales se hicieron en pacientes del HGZ 30 y posteriormente en pacientes del Hospital de especialidades del

Centro Médico “La Raza”, nuevamente con la colaboración del Dr. Cuevas. Poco tiempo después, en un encuentro de coloproctología México-Cuba organizado en el Hospital Central Militar, el grupo presentó los avances del proyecto y fue invitado a Cuba para exponer su trabajo. Esto creó una colaboración entre el entonces denominado LIFF y tres instituciones cubanas (el Hospital Clínico Quirúrgico Diez de Octubre, el Hospital Clínico Quirúrgico “Hermanos Ameijeiras” y el Centro de Investigaciones Médico Quirúrgicas), donde la participación de los doctores cubanos Ahmed Guzmán y Manuel Manero fue fundamental en una relación de trabajo que subsistió hasta 1998 (Jiménez et al., 1998). Durante ese tiempo, gracias al apoyo de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería, LIFF adquirió tecnología actualizada para el registro, acondicionamiento, almacenamiento y procesamiento computarizado de las señales obtenidas en sujetos normales y patológicos cubanos.

Para el año de 1998, LIFF ya presentaba 3 cambios importantes: (1) El número de integrantes se había incrementado a seis (con el profesor Alfonso Martínez Ortiz como responsable, y con la colaboración de María Teresa García González, María del Rocio Ortiz Pedroza, Miguel Ángel Peña Castillo y Juan Carlos Echeverría Arjonilla como profesores y de Aída Jiménez González como técnica académica), (2) los nuevos colaboradores estaban realizando estudios de posgrado y, como consecuencia de ello, (3) se había empezado a trabajar en un proyecto de investigación relacionado con la medición no-invasiva de la variabilidad de la frecuencia cardiaca fetal, VFCE (en colaboración con el profesor Ramón González Camarena, de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud, y con

el Dr. Carlos Vargas García, del Centro de Investigación Materno Infantil del Grupo Gen, CIMIGen).

El trabajo en VFCE fue de gran interés para cuatro integrantes de LIFF, quienes enfocaron sus estudios de posgrado en la implementación de estrategias computarizadas para la obtención e interpretación de esa variable a partir de señales electrocardiográficas o fonocardiográficas transabdominales y en condiciones de riesgo o estímulos diferentes (como restricción intrauterina al crecimiento o presencia de movimientos respiratorios fetales). Esas señales, obtenidas sin riesgo alguno, en combinación con la actividad electromiográfica uterina, han mostrado ser una fuente de información valiosa de la condición fetal y materna, pues actualmente permiten a los integrantes del grupo el estudio de: Las fluctuaciones del periodo cardiaco, los sonidos cardiacos y movimientos respiratorios fetales, las interacciones cardio-respiratorias y neuro-inmunes y la actividad uterina (Reyes-Lagos et al., 2020). Esto llevó a ampliar el proyecto de investigación de VFCE a monitoreo materno-fetal, y como se ha tenido el interés de realizarlo antes, durante y después del trabajo de parto, agregó el término “Perinatales” al nombre presente del laboratorio (cuyo responsable actual es el profesor Juan Carlos Echeverría Arjonilla).

Nuestros estudios han documentado, entre otros aspectos, el surgimiento a las 24 semanas de gestación de un comportamiento fractal en las fluctuaciones de la frecuencia cardiaca fetal como resultado probable de la maduración en la actividad nerviosa. Esto en coincidencia con un aumento en la complejidad de las fluctuaciones del período cardiaco materno posible-

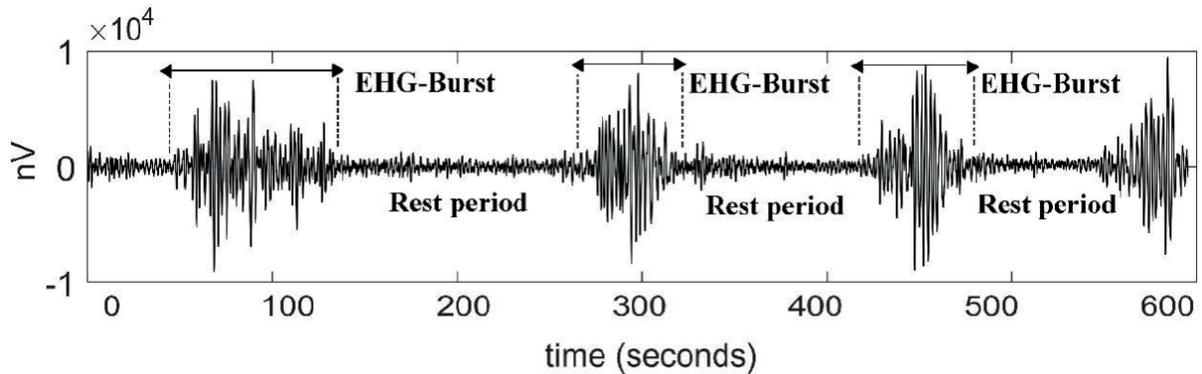


Figura 3. Actividad eléctrica uterina obtenida en la superficie del abdomen materno en trabajo de parto. Las contracciones uterinas se asocian con la aparición de múltiples potenciales de acción (Reyes-Lagos et al., 2020).

mente vinculada al papel regulatorio de la actividad placentaria. También hemos encontrado que a partir de la semana 28 de gestación se hace evidente una mejor integración entre los controles respiratorios y cardíacos fetales y que la dinámica de las contracciones uterinas durante la fase activa del trabajo de parto vaginal (en una población de bajo riesgo) involucra características no lineales en comparación con las contracciones que terminan en una cesárea (figura 3). Asimismo, hemos identificado variaciones en las características espectrales y energéticas de las vibraciones constitutivas del primer sonido cardíaco fetal en función de la edad gestacional, lo que podría asociarse al desarrollo de la contractilidad cardíaca.

#### **Impacto social**

Diversos estudios epidemiológicos señalan que varios factores de riesgo materno-fetal pueden ser detectados y prevenidos oportunamente a través de programas adecuados de seguimiento perinatal, lo que requiere de detección y atención oportuna de dichos factores para evitar que se conviertan en condiciones que afecten la

condición materna y el desarrollo fetal. Al respecto, y a partir del análisis computarizado de las variables fisiológicas previamente mencionadas, la investigación en el LIFFPPer busca ofrecer un conocimiento amplio sobre el embarazo, el desarrollo fetal y el nacimiento, desde la perspectiva de la ingeniería biomédica y la fisiopatología, para poder contribuir a la atención perinatal. Para ello se cuenta con colaboraciones con profesores de la UAM (unidades Iztapalapa, Lerma y Xochimilco), y con investigadores en el Instituto Nacional de Perinatología “Isidro Espinoza de los Reyes”, el Instituto Nacional de Cardiología “Ignacio Chávez” y el Instituto Nacional de Pediatría, por mencionar algunas.

#### **4. Laboratorio de Instrumentación Médica (LIM)**

El grupo de Instrumentación imparte algunas de las unidades de enseñanza aprendizaje (UEA) que corresponden al bloque de instrumentación médica de la licenciatura en Ingeniería Biomédica, así como las UEA de electrónica analógica y digital de las licenciaturas de Ingeniería Biomédica e Ingeniería Electrónica del

Departamento de Ingeniería Eléctrica, formando y graduando profesionistas en el campo de la instrumentación médica. De acuerdo con la reseña del profesor Enrique Luis Hernández Matos (Hernández Matos, 2009), se reportan tres periodos de desarrollo:

#### ***Periodo 1974-1982***

Profesores participantes: Miguel Lindig Boes, Fernando Berdichevsky, Morris Schwarzblat, Miguel Cadena Méndez, Luis Hernández Gaona, Christopher Cuttler, Enrique Luis Hernández Matos, Agustín Suárez Fernández, Salomón Rosenthal, Fernando Sánchez Torres, Víctor Carbajal Castañeda, Fernando Prieto Hernández.

Proyectos: Obtención del vectocardiograma, empleo de filtros digitales en el registro del electrocardiograma fetal, contador automático de partículas biológicas, diseño y construcción de un termómetro electrónico digital, uso de microprocesadores en el diseño y construcción de equipo médico, diseño y construcción de un electrocardiógrafo y diseño y construcción de una silla electromecánica.

#### ***Periodo 1982-1992***

Profesores participantes: Caupolicán Muñoz Gamboa, Miguel Ángel Bautista León, Miguel Ángel Antonio Andrés, Joel Jiménez Cruz, Víctor Hugo Téllez Arrieta, Alejandro Santos Cortés.

Proyectos: Sistema para registro fisiográfico, aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores en equipos médicos y diseño y construcción de equipos de ultrasonido médico.

#### ***Periodo 1992-2022***

Profesores participantes: Donaciano Ji-

ménez Vázquez, Jaqueline Vidal Rosado, Emilio Sacristán Rock.

Proyectos: Procesamiento de imágenes y señales por ultrasonido, aplicaciones de láser en medicina, simuladores de señales biomédicas, diseño y construcción de equipos de anestesia y diseño y construcción de equipos médicos para mediciones por impedancia eléctrica. Adicionalmente, el profesor Donaciano Jiménez Vázquez se ha incorporado a un grupo de trabajo multidisciplinario y ha participado en el desarrollo de un “Sensor Doméstico de Potabilidad del Agua”, que está orientado a determinar las características del agua que sale de las tomas domiciliarias, esto mediante la medición de temperatura, turbidez, cantidad de sales disueltas (conductividad), pH, y la presencia de la bacteria E. Coli.

#### ***Impacto social***

La instrumentación médica tiene muchos campos de trabajo, entre los que se cuentan el ultrasonido, el equipo médico quirúrgico, el equipo de monitoreo, los sistemas de rehabilitación, los sistemas de ayuda diagnóstica, etc., para lo que los profesores cuentan con conocimientos y la experiencia en el campo que les ha permitido participar en el desarrollo de prototipos experimentales aplicables a alguna de estas ramas de la instrumentación médica. Se han escrito varios libros que se basan en los programas de estudio de las UEA de las dos licenciaturas, se han publicado artículos en revistas relacionadas y se ha participado asistiendo a congresos relacionados con la instrumentación médica.

#### ***Agradecimientos***

La Jefatura del Área de Ingeniería Biomédica agradece a los profesores Rocio Ortiz

Pedroza (LIFFPer), Miguel Peña Castillo (LIFFPer) y Donaciano Jiménez Vázquez (LIM) por proporcionar información adicional para la reseña de su laboratorio. Adicionalmente, se agradecen las observaciones realizadas por el profesor Juan Echeverría Arjonilla a la reseña del LIFFPer.

#### Referencias

Castañeda-Villa, N. and James, C. J., Independent Component Analysis for Auditory Evoked Potentials and Cochlear Implant Artifact Estimation. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 58[2], pp. 348-354, 2011, DOI: 10.1109/TBME.2010.2072957.

Félix-Martínez, G.J. and Godínez-Fernández, J.R., Comparative analysis of reconstructed architectures from mice and human islets. *Islets*. 14[1], pp. 23-35, 2022. DOI: 10.1080/19382014.2021.1987827

Félix-Martínez, G.J., (17 de septiembre de 2022)., Laboratorio de Biofísica e Ingeniería de Tejidos. <https://biofisicauam.com.mx/category/divulgacion/>

Hernández Matos, E.L., Historia del Departamento de Ingeniería Eléctrica. En V. Medina Bañuelos (Coord.), *Mirando al futuro. 35 aniversario. Evolución y desarrollo de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería* (1ra. edición, pp. 127-137). Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. 2009.

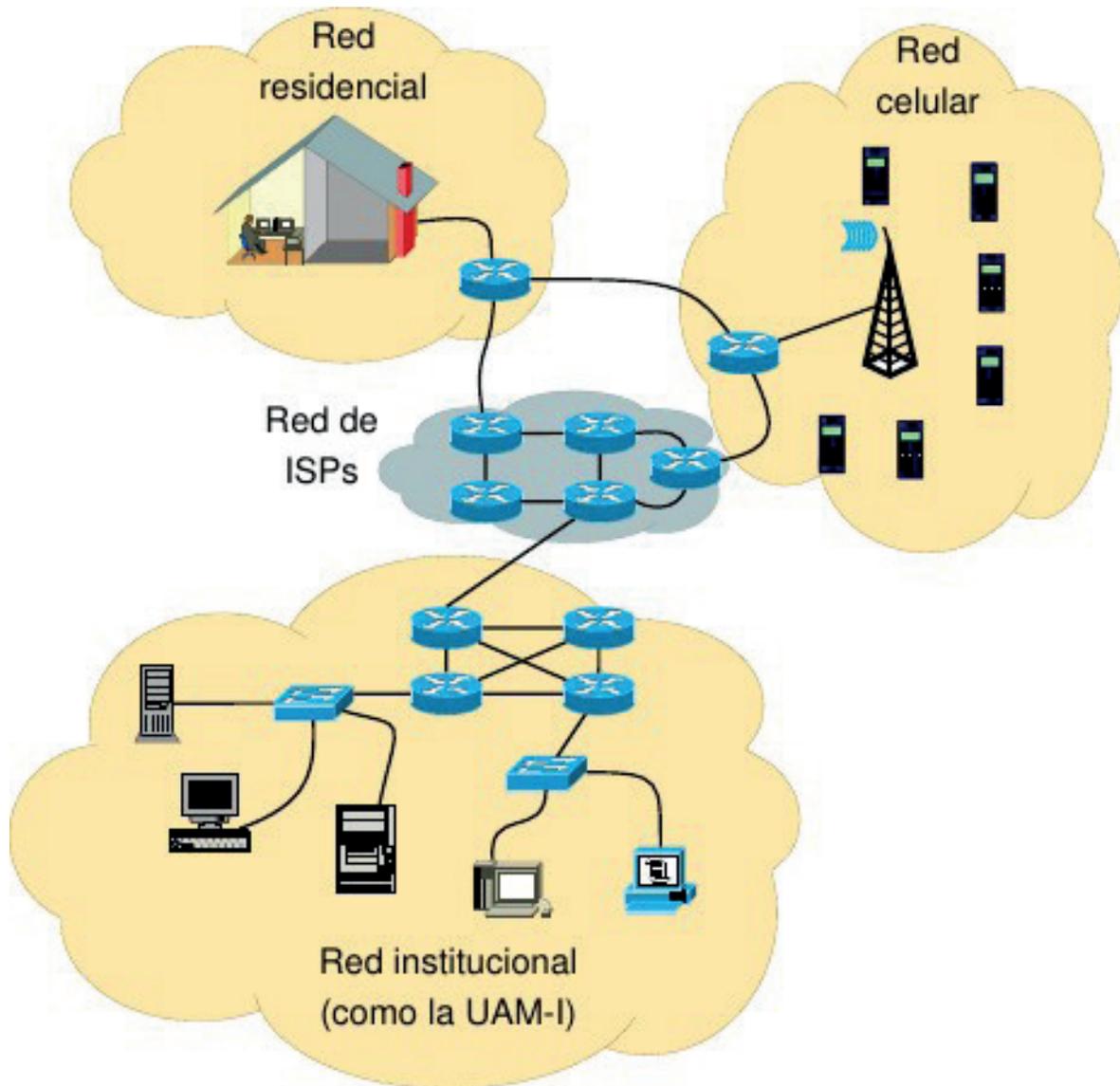
Jiménez, G.A., Ortiz, M.R., Peña, M.A., Martínez, J.A., Quintana, E., Manero, M., Guzmán, A., *Evaluación de la actividad eléctrica anorrectal. Estudio durante contracción voluntaria*. 1er Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica, pp. 733-736. Mazatlán, Sinaloa, México. Noviembre de 1998.

Osorio-Londoño, D.M., Godínez-Fernández, J.R., Acosta-García, M.C., Morales-Corona, J., Olayo-González, R., Morales-Guadarrama, A., Pyrrole Plasma Polymer-Coated Electrospun Scaffolds for Neural Tissue Engineering. *Polymers*. 13[22]:3876, 2021. DOI: 10.3390/polym13223876

Quintana-López, A. K., Beltran-Vargas, N. E., Granados-Trejo, M. P., & Cornejo-Cruz, J. M.. (2020). Electrical Cochlear Response as an Objective Measure of Hearing Threshold and Hearing Performance Evaluation in Pediatric Cochlear Implant Users. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*. 41[3]:e72. DOI: 10.17488/rmib.41.3.5

Reyes-Lagos, J.J., Pliego-Carrillo, A.C., Ledesma-Ramírez, C.I., Peña-Castillo, M.A., García-González, M.T., Pacheco-López, G., Echeverría, J.C., Phase Entropy Analysis of Electrohysterographic Data at the Third Trimester of Human Pregnancy and Active Parturition. *Entropy*. 22:798, 2020.

# Internet y las comunicaciones: líneas de investigación de vanguardia en la UAM-I



**Dr. Víctor Manuel Ramos Ramos**  
**Dra. R. Carolina Medina Ramírez**  
**Ing. Mauricio López-Villaseñor**  
*Departamento de Ingeniería Eléctrica,*  
*Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa*

## Resumen

En este trabajo, presentamos las líneas de investigación del Área de Redes y Telecomunicaciones. En particular, se describen los temas generales que delimitan la investigación de los profesores que forman parte de esta área. Esto ha tenido una importante incidencia en la formación tanto de estudiantes de licenciatura como de posgrado en los últimos 16 años.

## 1. Introducción

A 40 años de la creación del Departamento de Ingeniería Eléctrica (DIE) de la UAM-Iztapalapa, notables profesores han pasado por su plantilla. A lo largo de este tiempo, junto con la Universidad, hemos evolucionado en todos los aspectos de la vida académica. Los departamentos en la UAM, se organizan en áreas de investigación. El Área de Redes y Telecomunicaciones (RyT) ha pasado por varias etapas durante la existencia del departamento de Ingeniería Eléctrica (IE). Su etapa contemporánea, comienza oficialmente el miércoles 7 de junio de 2006, en donde el Consejo Académico aprueba su creación en la Sesión 272.

Las Redes de Computadoras forman parte de nuestra vida cotidiana. De hecho, RyT se crea en el inicio de una era que marca el comienzo del uso verdaderamente masivo de Internet en el planeta. En el Área de RyT, investigamos diversos aspectos de Internet y de las Telecomunicaciones con el propósito de diseñar mecanismos novedosos que contribuyan al desarrollo del estado del arte actual en la materia. Nuestra área es parte del Departamento de IE, junto con otras cuatro áreas de investigación, que son Computación y Sistemas, Optimización e Inteligencia Artificial, Procesamiento Digital de Señales Biomédicas, e Ingeniería Biomédica. En las áreas de los departamentos de la UAM se

realiza primordialmente una de las actividades sustantivas de la institución, la cual es la investigación. A su vez, los profesores impartimos docencia y realizamos la difusión de la cultura. Las Divisiones académicas están encargadas de gestionar la docencia y, las Unidades la difusión. Por su organización departamental, la UAM se distingue de otras instituciones de educación superior. Esto permite, entre otras cosas, que las actividades docentes se vean ampliamente reforzadas por la investigación que realizamos.

En este número del 40° aniversario del DIE, presentamos el estatus actual del Área de Redes y Telecomunicaciones. Para ello, describimos primeramente las líneas generales de investigación en las que trabajamos. Entonces, mostraremos cómo hacemos incidir dichas líneas tanto en las licenciaturas como en el posgrado que apoyamos. Por otro lado, listamos a los profesores que forman parte de RyT e indicamos las licenciaturas y posgrados en los que participan.

## 2. Las redes y las telecomunicaciones

Cuando se crea el Área de Redes y Telecomunicaciones, se hace pensando en *Redes de Computadoras* y en *Telecomunicaciones*. Hoy día, resulta normal usar una computadora que esté conectada a Internet; de hecho, lo contrario sería casi inimaginable. Esto es debido al enorme impacto que Internet ha tenido en nuestra vida cotidiana. A la par, el desarrollo de las comunicaciones en las últimas dos décadas ha sido sin precedentes. Hemos visto pasar en los medios de comunicación y en la propaganda los términos *Comunicaciones 3G*, *4G* y, recientemente *5G*. Entonces, abajo presentamos brevemente los temas que nos apasionan en el Área de RyT, sobre los cuales realizamos investigación e impartimos docencia.

## 2.1 Historia contemporánea de Internet

El primer gran tema sobre el que trabajamos en RyT son las Redes. Como mencionamos arriba, hoy en día es imposible imaginar el uso de una computadora sin que esta acceda a Internet, mucho más aún una red de computadoras. Una red de computadoras está compuesta de un conjunto de dispositivos y software, conectados entre sí por medio de enlaces de comunicación. Dispositivos tales como computadoras, laptops, teléfonos inteligentes, enrutadores, cortafuegos, entre muchos otros. Los enlaces de comunicación son el canal sobre el cual se hace pasar la información; dichos canales pueden ser de diversa naturaleza, tal como un cable telefónico, cables Ethernet, fibra óptica, así como el aire para transmitir y recibir ondas de radio.

Por otro lado, Internet es una infraestructura planetaria que ha evolucionado vertiginosamente en este siglo. Todo comienza con el trabajo magistral de Leonard Kleinrock en la década de los 60's del siglo pasado [Kleinrock]. En ese entonces, las comunicaciones telefónicas y la televisión eran los medios más usados por las personas. En esos dos tipos de comunicaciones, los recursos son dedicados. Esto quiere decir que, si Alicia levanta su teléfono, marca el número de Alberto y se establece una llamada telefónica, la empresa de telecomunicaciones les "presta" un enlace directo entre ellos dos durante todo el tiempo que se mantenga dicha llamada: ningún otro usuario más puede usar el enlace durante ese tiempo. Kleinrock descubre en su tesis de doctorado que las comunicaciones con recursos compartidos son una excelente alternativa para transmisión de datos, como la realizada con las computadoras. A este tipo de comunicaciones, se le conoce como *conmutación de paquetes*.

El 29 de octubre de 1969, el Prof. Leonard Kleinrock y su estudiante Charlie Kline transmitieron el primer mensaje entre la computadora de Kleinrock, una Sigma 7 y un conmutador. Esto era parte del proyecto Arpanet, la red precursora de Internet. Este hecho, marcó el nacimiento de Internet. Su desarrollo continuó a través de los años, siendo mayormente una red limitada a las universidades en Estados Unidos y a algunas otras en el mundo. No fue sino hasta 1988, que Van Jacobson y Michael Karels mejoraron el protocolo TCP del sistema operativo 4.3BSD agregando siete funciones [Jacobson]. El protocolo TCP transporta más del 80% del tráfico en Internet [TCP], de manera que las mejoras que aportaron Jacobson y Karels a TCP están al origen del uso masivo de la *red de redes* en su primera etapa, la cual va de 1988 a 2004. Una de las características principales de Internet es que, redes de distintas tecnologías pueden interconectarse, ya que comparten la misma arquitectura. La Figura 1 muestra un esquema general de Internet.

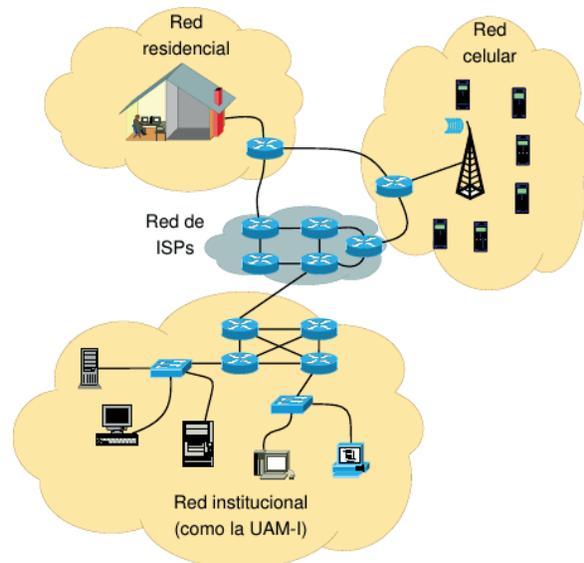


Figura 1. Visión general de Internet. Las siglas ISP se refieren a proveedor de servicios de Internet (Internet Service Provider)

A inicios de este siglo, el ancho de banda de Internet escaseaba, notablemente por el advenimiento del uso de las redes inalámbricas, con el estándar IEEE 802.11, conocido como WiFi, así como por el surgimiento de aplicaciones multimedia. Es entonces cuando, a raíz de un escalamiento exponencial global del ancho de banda de los enlaces del núcleo de Internet y de su borde, los cuellos de botella comienzan a reducirse. En 2004, las velocidades de acceso a Internet de 512 kb/s a 1 Mb/s en zonas residenciales eran lo cotidiano. A raíz del aumento exponencial del ancho de banda y de los avances en las comunicaciones, velocidades de más de 10 Mb/s comenzaron a ser la cota mínima para accesos residenciales. La segunda etapa del crecimiento de Internet comienza en este año con el surgimiento de Facebook. Un año después, surge YouTube. Entonces, el escalamiento de la magnitud del ancho de banda de Internet trae consigo el nacimiento de una gran gama de aplicaciones, las cuales usamos hoy en día.

En el Área de Redes y Telecomunicaciones, realizamos investigación sobre numerosos aspectos que inciden en la arquitectura de Internet, la cual yace sobre el Modelo TCP/IP. Trabajamos sobre temas relacionados con el Web semántico, las redes inalámbricas, redes inalámbricas ad hoc, redes de sensores inalámbricos, redes inalámbricas en malla, análisis de desempeño de TCP, resolución de colisiones en redes de radiofrecuencia, redes inalámbricas definidas por software, redes vehiculares ad hoc (VANETs), redes complejas, y transmisión adaptativa de vídeo, entre otros.

## 2.2 Evolución de las técnicas de comunicaciones

El otro gran eje principal sobre los que trabajamos tiene que ver con las telecomuni-

caciones. En 1948, Claude Shannon define por primera vez una noción matemática para cuantificar la información [Shannon]. En su trabajo, Shannon demuestra que la información puede enviarse de manera confiable cuando es transmitida sobre canales de comunicación imperfectos, tales como líneas telefónicas o señales de radio. Las contribuciones de Shannon son de la mayor importancia, de manera que a él se le reconoce como el padre de las comunicaciones.

Gracias al trabajo de Shannon, las comunicaciones han evolucionado de manera sorprendente en los últimos 70 años. Actualmente, el tipo de mecanismos en las comunicaciones que acapara los mayores esfuerzos es la técnica de acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales (OFDMA, *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*). Otras técnicas que dominaron las comunicaciones previas a OFDMA son WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) y UMTS (Universal Mobile Telecommunications System).

WCDMA se utilizó para comunicaciones celulares de tercera generación (3G). Igualmente, UMTS se utilizó para la misma generación de comunicaciones. Por otro lado, OFDMA optimiza el acceso de dispositivos móviles dividiendo una señal en subcanales. Esta técnica es el origen de la evolución de las comunicaciones en este siglo, desde las redes inalámbricas de área local, como son las basadas en WiFi, hasta las redes celulares, que han pasado por la tercera, cuarta y quinta generación, actualmente.

En el Área de Redes y Telecomunicaciones, realizamos investigación sobre diversos aspectos relacionados con las comunicaciones. Desde técnicas de detección de espectro (*spectrum sensing*) y análisis de



*Figura 2. Profesores del Área de Redes y Telecomunicaciones e invitados, enero 2010.*

desempeño de sistemas OFDM, hasta redes de radio cognitivo.

### **3. Integrantes del Área de Redes y Telecomunicaciones**

El área está formada por trece profesores investigadores. La conformación actual es la siguiente:

Dr. César Jalpa Villanueva  
 Dr. Miguel López Guerrero  
 Ing. Mauricio López Villaseñor  
 Dr. Ricardo Marcelín Jiménez  
 Dra. Reyna Carolina Medina Ramírez  
 Dr. Michael Pascoe Chalke  
 Dr. Alfonso Prieto Guerrero  
 Dr. Víctor Manuel Ramos Ramos  
 Dr. Enrique Rodríguez de la Colina

Dr. Miguel Ángel Ruiz Sánchez  
 Ing. Miguel Ángel Gutiérrez Galindo  
 Dr. Leonardo Palacios Luengas\*  
 Dr. Luis Alberto Vásquez Toledo\*  
 Dr. Fausto Casco Sánchez \*\*

\* Profesores que se encuentran en procesos de incorporación definitiva en su contratación laboral.

\*\* Profesor jubilado el 12 de septiembre de 2016.

Los profesores que conforman el área realizaron estudios de posgrado en diversas instituciones, nacionales e internacionales, tales como la UAM, el Cinvestav, Universidad de Ottawa, Universidad de Cambridge, UNAM, Universidad de



*Figura 3. Profesores del Área de Redes y Telecomunicaciones, comida en honor del Dr. Fausto Casco Sánchez septiembre 2016.*

Niza–Sophia Antipolis, Universidad de Toulouse. Varios tienen el nivel de SNI I, así como el Reconocimiento de Perfil Deseable de la SEP. Finalmente, las Licenciaturas en Ingeniería Electrónica y en Computación, así como el Posgrado en Ciencias y Tecnologías de la Información, a nivel maestría y doctorado, son atendidos por profesores de nuestra área, del área de Computación y Sistemas, así como del área de Optimización e Inteligencia Artificial. En las Figuras 2 y 3, podemos apreciar a la mayor parte de los profesores que conformamos el área de RyT, así como a la asistente Elizabeth Campos Santillán a quien agradecemos su valioso apoyo durante estos 16 años que lleva el área de RyT.

## Referencias

[Kleinrock] *Message Delay in Communication Nets with Storage*. Leonard Kleinrock, Massachusetts Institute of Technology, Tesis de Doctorado, 1963.

[Jacobson] *Congestion Avoidance and Control*. Van Jacobson and Michael Karels, Proceedings of the ACM Sigcomm, 1988.

[TCP] National Laboratory for Applied Network Research, <http://www.nlanr.net/>, Accedido por última vez en noviembre de 2022

[Shannon] *A Mathematical Theory of Communication*. Claude E. Shannon, The Bell System Technical Journal, vol. 27, núm. 3, julio de 1948