

# DIGITAL CIENCIA@UAQRO

ISSN: 2395 - 8847

VOLUMEN 14 NÚMERO 2

JULIO - DICIEMBRE 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO  
DIRECCIÓN DE POSGRADO





## PRESENTACIÓN

---

A pesar de que la pandemia ha seguido permeando las actividades cotidianas, la Universidad Autónoma de Querétaro ha llevado a cabo sus funciones sustantivas, entre estas, la investigación. Muestra de lo anterior es la generación de resultados de investigación que se difunden a través de artículos científicos. En este número se cuenta con 10 trabajos que dan muestra del trabajo que se realiza al interior de esta casa de estudios.

El primer artículo titulado **Problemas y soluciones relacionadas a la toxicidad de los nanomateriales** presenta el rápido desarrollo científico que han tenido los nanomateriales y sus aplicaciones, esto ha implicado que estén presentes en un sinnúmero de productos comerciales utilizados en la vida diaria, sin embargo, nos alerta, este crecimiento no ha ido de la mano con el control de sus efectos contaminantes y tóxicos para los seres vivos y el ambiente. Este artículo se enfoca en la toxicidad de los nanomateriales y en los procedimientos para eliminar o disminuirla.

En seguida se presenta el artículo **Nanopartículas: nuevas aliadas de la agricultura**. En este trabajo se muestra que la eficacia de los plaguicidas se ve amenazada por la evolución de patógenos resistente lo cual amenaza la protección de los cultivos agrícolas para la producción de alimentos seguros. Este artículo muestra la evidencia de estudios científicos usando diferentes nanopartículas para el manejo de bacterias, hongos y virus de interés agrícola.

Por otra parte, en el artículo **Termografía infrarroja pasiva aplicada a sistemas de detección de fallas: Una revisión**, se presenta una exploración de la metodología utilizada en termografía infrarroja pasiva como una herramienta de monitoreo. El trabajo destaca los factores técnicos que

afectan la calidad de la imagen, y el proceso de decisión del clasificador. También se presenta una comparación de los espacios de color, los métodos de reducción de características y los clasificadores más utilizados en los últimos años.

El artículo **Proliferación y activación del tejido adiposo pardo como posible herramienta contra la obesidad** presenta una posible alternativa para abatir uno de los principales problemas en México: la obesidad. Este padecimiento se asocia con la presencia de enfermedades crónicas no transmisibles, las cuales incluyen a las principales causas de morbi-mortalidad, sin embargo, los autores señalan que el tratamiento convencional para la obesidad (dieta y ejercicio) no permite obtener en forma mantenida resultados totalmente satisfactorios. En este trabajo de revisión se abordan los mecanismos básicos relacionados con el funcionamiento del Tejido Adiposo Pardo, su regulación y su posible utilización como herramienta en contra de la obesidad.

En el artículo **La alimentación con insectos ¿puede reducir el estrés en un pez?** Muestra que la acuicultura es una actividad económica en expansión, sin embargo, a lo largo del ciclo productivo los peces son afectados por las prácticas acuícolas y generan en ellos estrés. Por lo tanto, en la búsqueda de estrategias para manejar el estrés, los alimentos elaborados con insectos se han convertido en una opción con gran potencial, siendo una posible alternativa para disminuir las afectaciones que sufren los peces.

Los autores del artículo **Perspectiva ética sobre el uso de insectos en proyectos de investigación** nos muestran que la participación de los animales en los proyectos de investigación está regulada y legislada en la mayoría de los países; sin embargo, el uso de insectos en este sentido aún requiere atención. En el presente trabajo se revisó el uso de insectos como alimento, así como su participación en proyectos de investigación, describiendo el concepto de

sintiencia, y discutiendo si los invertebrados lo tienen. Se concluye que se requieren más estudios para confirmar si los insectos sienten o razonan. Además, se debe buscar también regular su muerte para que ésta sea digna, otorgarles el respeto y los cuidados que su manejo requiere.

El siguiente artículo denominado **Las Áreas Verdes Urbanas y Arbolado Urbano como impulsores de Ciudades Sostenibles: Caso de Estudio Parque Jardines de la Hacienda** da cuenta de que los espacios verdes son los promotores urbanos de servicios ambientales, de nuevo se resalta el protagonismo de los parques para las ciudades. Aunado a lo anterior, hay una relación directamente proporcional entre la disponibilidad de parques públicos en la ciudad con los servicios ambientales que benefician a la población local, así como la global. En este trabajo se muestra que el impulso de proyectos de esta índole, así como el desarrollo de ordenamientos jurídicos de elaboración y diseño de parques debe ser prioridad para las autoridades de las ciudades de todo el mundo.

El artículo **El derecho de acceso a la justicia sobre el derecho de acceso a la información en el marco del concepto “violaciones graves de derechos humanos”** expone que el derecho a la información está íntimamente relacionado con el derecho de acceso a la justicia, especialmente cuando hablamos de las personas que inician procesos legales por violaciones graves de derechos humanos. Los autores apuntan a la necesidad de establecer un concepto en la Constitución para asegurar un acceso efectivo al ejercicio del derecho a la información, sería el referente idóneo para que las autoridades actúen, y no se deja a la discrecionalidad de las autoridades en las diferentes instituciones.

En el artículo **“El trabajo del hogar remunerado en la Zona Metropolitana de Querétaro. Un estudio normativo y cualitativo”** se presentan los avances jurídicos en materia de derechos humanos de las personas trabajadoras del hogar y si, las trabajadoras del hogar conocen estos derechos. En los resultados los autores pudieron advertir que, aunque se ha reforzado el marco normativo, aún queda un largo camino por recorrer para garantizar su efectividad. También faltan acciones para lograr una igualdad material e interseccional para las personas dedicadas a esta labor y, de esta forma, cumplir con las obligaciones constitucionales de promover, respetar, proteger y garantizar los derechos humanos sin discriminación

Por último, en el artículo titulado **El Instituto de Neurobiología en Querétaro: una experiencia singular se hace un recorrido histórico de la fundación y desarrollo de esta institución.** Se muestra como la emigración neurobiólogos españoles fue un aspecto medular para la creación del Laboratorio de Estudios Médicos y Biológicos que fueron antecedente a lo que hoy se conoce como el Instituto de Neurobiología de la UNAM. En este texto se recapitulan los esfuerzos realizados durante las etapas de transformación académica

Con estos artículos damos cuenta del trabajo de investigación que se realiza dentro de nuestra institución en las diversas áreas del conocimiento.

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña  
Editora en jefe



# Comité Editorial

---

## Ciencias Físico Matemáticas:

Dra. Janet Ledesma García. Facultad de Ingeniería UAQ

Dr. Enrique González Sosa Facultad de Ingeniería UAQ

## Ciencias de Psicología y Pedagogía

Dra. Evelyn Diez-Martínez Facultad de Psicología UAQ

Dr. Martín Mora Martínez Universidad de Guadalajara

## Ciencias Socio Políticas

Dr. Gabriel Muro González Facultad de Ciencias Políticas y Sociales UAQ

Dra. Sulima del Carmen García Falconi Facultad de Ciencias Políticas y Sociales UAQ

## Ciencias Químico Biológicas

Dr. Fernando Chiang Cabrera Instituto de Biología, UNAM

Dra. Mahinda Martínez y Díaz de Salas Facultad de Ciencias Naturales UAQ

Dr. Juan Campos Guillén Facultad de Ciencias Naturales UAQ

Dra. Rosalía Reynoso Camacho Facultad de Química UAQ

## Ciencias Jurídicas

Dr. Juan Ricardo Jiménez Gómez Facultad de Derecho UAQ

Dr. Gerardo Porfirio Hernández Aguilar Facultad de Derecho UAQ

## Ciencias de la Salud

Dr. Carlos Arámburo de la Hoz Coordinación de Investigación Científica de la UNAM

Dra. Margarita Teresa de Jesús García Gasca Facultad de Ciencias Naturales UAQ

Dra. María Peña Rangel Instituto de Neurobiología, UNAM

Dr. Elhadi Yahia Kazuz Facultad de Ciencias Naturales UAQ

Dra. Olga Patricia García Obregón Facultad de Ciencias Naturales UAQ

## Agropecuarias

Dra. Tercia C. Reis de Souza Facultad de Ciencias Naturales UAQ

Dra. Rosalía Ocampo Velázquez Facultad de Ingeniería UAQ

## Ciencias Económico Administrativas

Dra. Graciela Lara Gómez Facultad de Contaduría y Administración UAQ

Dr. Jesús Alberto Pastrana Palma Facultad de Contaduría y Administración UAQ

## Humanidades

Dra. Valeria Belloro Facultad de Lenguas y Letras UAQ

Dra. María de los Ángeles Aguilar San Román Facultad de Bellas Artes UAQ

Dr. Sergio Rivera Guerrero Facultad de Bellas Artes UAQ

## Directorio

---

### **Rectora**

Dra. Margarita Teresa de Jesús García Gasca

### **Secretario Académico**

Dr. Javier Ávila Morales

### **Dirección de Investigación y Posgrado**

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña

## Consejo editorial

---

### **Editora en Jefe**

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña

### **Editora**

Dra. Azucena de la Concepción Ochoa Cervantes

### **Coordinación editorial**

Lic. María Verónica Muñoz Velázquez

### **Cuidado de la Edición**

Dra. Ester Bautista Botello

### **Diseño editorial**

Lic. Gerson Cornish Mendoza

## Comité Evaluador

---

**Dr. Eduardo Enrique Pérez Ramírez** – Instituto Tecnológico de Querétaro  
**Dr. Hugo López Rosas** – El Colegio de Veracruz  
**Dr. Enrique Kato Vidal** – Universidad Autónoma de Querétaro  
**Dr. Juan Pablo Ramírez Herrejón** – Universidad Autónoma de Querétaro  
**Dra. Alina Nettel Barrera** – Universidad Autónoma de Querétaro  
**M. en C. Héctor García Flores** – Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
**Dr. Jesús Iván Mora Muro** – Universidad Autónoma de Querétaro  
**Dra. Marla Valencia Tello** – Instituto Universitario Puebla – Sede Morelia  
**Dr. Josué Castro Puga** – Universidad Autónoma de Querétaro  
**Dra. Esther Pérez Torrero** – Universidad Autónoma de Querétaro  
**Dra. Janet Ledesma García** – Universidad Autónoma de Querétaro  
**M. en C. José Luis Olgún López** – Universidad de Guadalajara  
**Dra. Mayra Carrillo Medrano** – Universidad Autónoma Metropolitana  
**Dra. Pamela Bermúdez González** – Universidad Autónoma de Querétaro  
**Dr. Juan Alfredo Hernández Guerrero** – Universidad Autónoma de Querétaro  
**Dra. Oliva Solís Hernández** – Universidad Autónoma de Querétaro  
**Dra. Rosalía Reynoso Camacho** – Universidad Autónoma de Querétaro  
**Dr. José Alfredo Jáuregui Díaz** – Universidad Autónoma de Nuevo León  
**Dr. Fernando Ramos Miranda** – Universidad de Cienfuegos  
**Dr. en EQ. Walter Noé Velázquez Arjona** – Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica  
**C.D. Sebasión Villada Bedoya** – Instituto de Ecología  
**Dra. Alejandra Urbiola Solís** – Universidad Autónoma de Querétaro  
**M. A. Teresa de Jesús Gómez Lemus** – Instituto Tecnológico de Querétaro  
**Dra. Rosario Barba González** – Universidad Autónoma de Querétaro  
**Dra. María del Carmen García Escudero** – Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo  
**Dr. Ángel Alonso Salas** – Universidad Nacional Autónoma de México  
**Mtro. Juan Francisco Caballero Torres** – Universidad Autónoma de Coahuila  
**Dr. Ulises Velasco García** – Universidad Autónoma de Querétaro  
**Dr. Gerardo Sánchez Rojas** – Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo  
**Dra. Adriana Gómez Aiza** – Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo  
**Dra. Izarely Rosillo Pantoja** – Universidad Autónoma de Querétaro  
**Dr. Fernando Vázquez Avedillo** – Universidad Autónoma de Querétaro  
**Dr. Héctor Paul Reyes Pool** – Universidad Autónoma de Querétaro  
**Dra. Guadalupe Ferreira García** – Universidad Autónoma de Querétaro  
**Dr. Gerardo Israel Pérez Soto** – Universidad Autónoma de Querétaro  
**Dr. Edgar Pérez González** – Universidad Autónoma de Querétaro

La revista CIENCIA@UAQRO es una revista semestral editada y publicada por la Universidad Autónoma de Querétaro, Dirección de investigación y Posgrado. C.U. Cerro de las Campanas S/N, Col. Las Campanas, C.P. 76010, Tel. [442] 192-13-12, [http://www.uaq.mx/investigacion/revista\\_ciencia@uaq/](http://www.uaq.mx/investigacion/revista_ciencia@uaq/), e-mail: [ciencia@uaq.mx](mailto:ciencia@uaq.mx). Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2014-062610323500-203, ISSN: 2395-8847, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derechos de Autor. Responsable de la última actualización de este número Dirección de Investigación y Posgrado de la UAQ, Centro Universitario Cerro de las Campanas s/n, Col. Las Campanas, C.P. 76010, Querétaro, Qro., fecha de la última modificación 15 de diciembre de 2017. El diseño de esta revista se financió con recursos de la Universidad Autónoma de Querétaro.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial del contenido e imágenes de la publicación sin plena autorización de la Universidad Autónoma de Querétaro. LATINDEX, sistema de Información sobre las revistas de investigación científica técnico-profesionales y de divulgación científica y cultural que se editan en los países de América Latina, El Caribe, España y Portugal, No. 24506. Comité Editorial Revista Digital Ciencia @UAQRO Número 1 Volumen 14





---

## PROBLEMAS Y SOLUCIONES RELACIONADAS A LA TOXICIDAD DE LOS NANOMATERIALES.

*PROBLEMS AND SOLUTIONS RELATED TO NANOMATERIALS TOXICITY.*

Cruz-Gómez Jorge, Santos-Cruz, José, Mayén-Hernández Sandra Andrea,  
De Moure-Flores Francisco

**10 - 18**

---

## NANOPARTÍCULAS: NUEVAS ALIADAS DE LA AGRICULTURA.

*NANOPARTICLES: NEW ALLIES OF AGRICULTURE.*

Rivas-Ramírez Luisa Katiana, Torres-Pacheco Irineo

**19 - 27**

---

## TERMOGRAFÍA INFRARROJA PASIVA APLICADA A SISTEMAS DE DETECCIÓN DE FALLAS: UNA REVISIÓN.

*PASSIVE INFRARED THERMOGRAPHY APPLIED TO FAULT DETECTION SYSTEMS:  
A REVISION.*

Espinoza-Del Angel Cinthia, Femat-Díaz Aurora

**28 - 40**

---

## PROLIFERACIÓN Y ACTIVACIÓN DEL TEJIDO ADIPOSO PARDO COMO POSIBLE HERRAMIENTA CONTRA LA OBESIDAD.

*BROWN ADIPOSE TISSUE PROLIFERATION AND ACTIVATION AS A POSSIBLE TOOL  
AGAINST OBESITY.*

Juárez-Ramírez Alan M., García-Solís Pablo 2, Hernández-Puga Ana G.,  
Rodríguez-Morales Ángel L., Solís-Sáinz Juan C.

**41 - 49**

---

## LA ALIMENTACIÓN CON INSECTOS ¿PUEDE REDUCIR EL ESTRÉS EN UN PEZ?

*INSECT FEEDING, CAN REDUCE STRESS IN A FISH?*

Sánchez-Velazquez Julieta, Peña-Herrejón Guillermo Abraham,  
García-Trejo Juan Fernando

**50 - 59**

---



## **PERSPECTIVA ÉTICA SOBRE EL USO DE INSECTOS EN PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN.**

*ETHICAL PERSPECTIVE ON THE USE OF INSECTS IN RESEARCH PROJECTS.*

Caltzontzin-Rabell Valeria, Romero-Zepeda Hilda, Gutiérrez-Antonio Claudia, García-Trejo Juan Fernando, Feregrino-Pérez Ana Angélica

**60 - 69**

---

## **LAS ÁREAS VERDES URBANAS Y ARBOLADO URBANO COMO IMPULSORES DE CIUDADES SOSTENIBLES: CASO DE ESTUDIO PARQUE JARDINES DE LA HACIENDA.**

*URBAN GREEN SPACES AND URBAN FORESTS AS IMPULSORS OF SUSTAINABLE CITIES: CASE STUDY JARDINES DE LA HACIENDA PARK.*

López - Moyao César Ricardo, Rosillo - Pantoja Izarely

**70 - 83**

---

## **EL DERECHO DE ACCESO A LA JUSTICIA SOBRE EL DERECHO DE ACCESO A LA INFORMACIÓN EN EL MARCO DEL CONCEPTO "VIOLACIONES GRAVES DE DERECHOS HUMANOS".**

*THE RIGHT OF ACCESS TO JUSTICE OVER THE RIGHT OF ACCESS TO INFORMATION UNDER THE CONCEPT OF "GROSS VIOLATIONS OF HUMAN RIGHTS".*

Otero-Medina Brenda Monserrat

**84 - 93**

---

## **“EL TRABAJO DEL HOGAR REMUNERADO EN LA ZONA METROPOLITANA DE QUERÉTARO. UN ESTUDIO NORMATIVO Y CUALITATIVO”.**

*“THE WORK OF THE PAID HOUSEHOLD IN THE METROPOLITAN AREA OF QUERÉTARO. A NORMATIVE AND QUALITATIVE STUDY”.*

Camacho-Galván Brenda Gissel

**94 - 101**

---

## **EL INSTITUTO DE NEUROBIOLOGÍA EN QUERÉTARO: UNA EXPERIENCIA SINGULAR.**

*THE NEUROBIOLOGY INSTITUTE IN QUERETARO: A SINGULAR EXPERIENCE.*

Salas Manuel, Torrero-Solorio Carmen, Regalado-Ortega Mirelta

**102 - 112**

---



## PROBLEMAS Y SOLUCIONES RELACIONADAS A LA TOXICIDAD DE LOS NANOMATERIALES.

## PROBLEMS AND SOLUTIONS RELATED TO NANOMATERIALS TOXICITY.

Cruz-Gómez Jorge <sup>1\*</sup>, Santos-Cruz, José <sup>1\*</sup>, Mayén-Hernández Sandra Andrea <sup>1</sup>, De Moure-Flores Francisco <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Química, Materiales-Energía, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.

\* Autores de correspondencia, correo: [jorge\\_jcg@icloud.com](mailto:jorge_jcg@icloud.com) y [jsantos@uaq.edu.mx](mailto:jsantos@uaq.edu.mx)

### Resumen

Los nanomateriales y sus aplicaciones han tenido un rápido desarrollo científico. Este crecimiento acelerado está presente en un sinnúmero de productos comerciales utilizados en nuestra vida diaria; dichos artículos mejoran o hacen posibles beneficios impensables apenas diez años antes. Es innegable su utilidad en todas las áreas tecnológicas, tales como medicina, biología, energía, electrónica, cuidado personal, comunicaciones, e incluso en armas y explosivos. Por desgracia, este crecimiento no ha ido de la mano con el control de sus efectos contaminantes y tóxicos para los seres vivos y el ambiente. Este artículo se enfoca en la toxicidad de los nanomateriales y en los procedimientos para eliminar o disminuirla. No exhortamos a dejar de usar los nanomateriales; salvo en los casos donde el uso de estos sea peligroso para la salud. Es recomendable tomar las medidas de seguridad al sintetizar y utilizar estos materiales; así como avanzar en la investigación para obtener nano materiales más eficaces y seguros.

Palabras clave: *Nanomateriales, puntos cuánticos, re-  
mediación, toxicidad*

### Abstract

*Nanomaterials have had a rapid scientific development. And its technological applications are following a similar behavior. This accelerated growth is present in a myriad of commercial products used in our daily lives; such items enhance or make possible benefits unthinkable just ten years earlier. Its usefulness in all technological areas is undeniable, such as medicine, biology, energy, electronics, personal care, communications, and even in weapons and explosives. Unfortunately, this growth has not gone hand in hand with controlling its polluting and toxic effects on living beings and the environment. This article focuses on the toxicity of nanomaterials and procedures for eliminating or decreasing that toxicity. We do not encourage you to stop using nanomaterials; except in cases where the use of these is dangerous to health. It is advisable to take safety measures when synthesizing and using these materials; as well as advancing research to obtain more effective and safe nanomaterials.*

Keywords: *Nanomaterials, quantum dots, remediation, toxicity*

## 1. Introducción

Desde hace algunos años, inicios de la década de los noventa para ser precisos, se escucha hablar de nano materiales (Kruis y col., 1998:1). Se puede definir el término nano material, como aquel material en el cual una, dos o tres de sus dimensiones están por debajo de los cien nanómetros de longitud ( $1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$ ); pudiendo hablar así de nano láminas, nano alambres y nanopartículas o un caso específico de ellas, los puntos cuánticos. Estos nano materiales (NM) tienen propiedades particulares que han permitido su aplicación en muy diversas áreas de la Ciencia y de la Tecnología. Tales aplicaciones incluyen, cosméticos, aditivos para combustibles y lubricantes, sensores biológicos y químicos, agroquímicos, detergentes, empaques y procesos de alimentos, absorbentes de radiación UV, materiales de construcción, armas y explosivos, y muchas aplicaciones más (Prajitha y col., 2019:2).

Ante tantas aplicaciones, la producción de NM se está incrementando (Lewinski y col., 2008:2). Y sus desechos empiezan a aparecer; es momento para cuestionarnos acerca de sus riesgos presentes y potenciales; y claro, trabajar para eliminar o reducir estos riesgos. Es esta la motivación para trabajar en el presente documento, utilizando fuentes fidedignas y actuales.

El desarrollo del documento inicia con la descripción de los nano materiales. Continúa con la presentación de sus riesgos, para proseguir considerando las soluciones presentes, en desarrollo y futuras, y finaliza con la conclusión respecto a la inquietud inicialmente planteada.

## 2. Descripción de los nano materiales

En la figura 1 se muestra la clasificación de los NM, acorde a la definición dada al inicio de este documento. Se conoce como NM 0D a aquellos que, en ninguna dirección tienen longitud mayor que 100 nm, como el caso de nanopartículas y puntos cuánticos. Además de NM 0D también existen NM 1D; los cuales tienen longitud mayor que 100 nm en una dirección, tales como nano alambres y nanotubos. Además, existen los NM 2D; aquellos cuya longitud es mayor que 100 nm en dos dimensiones, tales como nano láminas de grafeno. Y finalmente se conocen NM 3D; cuyas longitudes son mayores que 100 nm en sus tres dimensiones (Prajitha y col., 2019:2).

Otra clasificación de gran interés es considerar sus propiedades físicas y químicas. En esta los podemos integrar en seis grupos. Los primeros están constituidos de carbono; los materiales típicos son los fullerenos (materiales de forma esférica que contienen sesenta

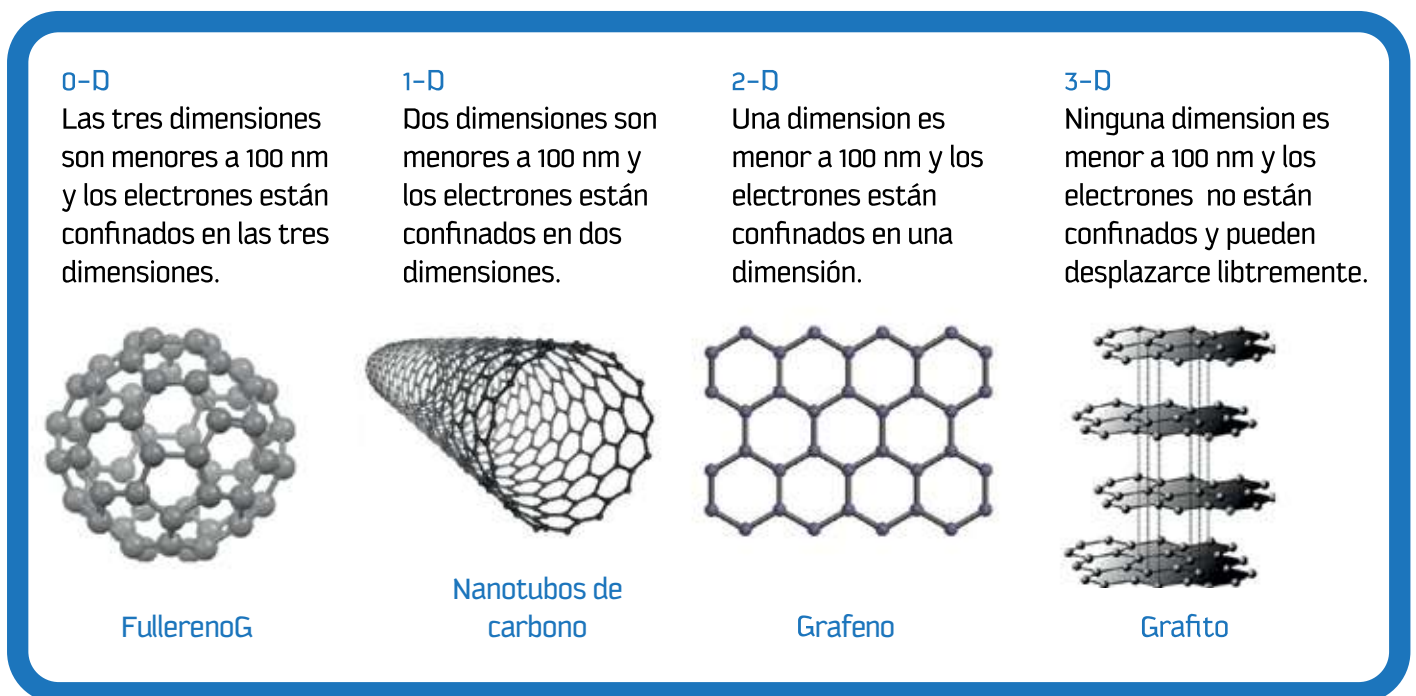


Figura 1. Clasificación de NM considerando su forma y tamaño (Amaya y Quiroga, 2019:10).

o setenta carbonos habitualmente). Otro grupo está constituido de NM metálicos, los ejemplos típicos son cobre, plata y oro. El tercer grupo lo forman los NM cerámicos que se sintetizan utilizando sólidos inorgánicos no metálicos, y son útiles en procesos catalíticos y fotocatalíticos. El siguiente grupo está constituido de NM semiconductores. Los semiconductores son la base para los avances tecnológicos actuales, estos NM son útiles en aplicaciones electrónicas, ópticas, fotovoltaicas, computacionales, en comunicaciones y en fotocatalisis. El quinto grupo lo constituyen los NM poliméricos, utilizados en construcción y diseño de materiales de alta tecnología. El último grupo de NM está formado por los que se fabrican mediante lípidos y son utilizados en medicina (Khan y col., 2019:3).

Otro factor de interés en el conocimiento de los nano materiales, es la metodología utilizada para sintetizarlos. En general existen dos rutas, de abajo

hacia arriba (bottom-up), y de arriba hacia abajo (Top-down) - ver figura 2- que también podemos dividir en síntesis químicas y físicas; cada una tiene sus ventajas y limitaciones. Debido a su extensión, el estudio completo de estas rutas requiere la escritura de otro documento. En la primera se parte de materiales simples (átomos, moléculas, iones) para construir el material que tenga las dimensiones y propiedades deseadas. Incluye procesos tales como sol gel, síntesis biológica (utilizando bacterias, levaduras, hongos, algas y algunas plantas), depósitos mediante plasma y síntesis bioquímica. En la segunda ruta se procede al contrario, se parte de materiales de gran tamaño; mismos que van siendo reducidos para obtener las dimensiones y propiedades deseadas. Se conocen una gran variedad de procesos, tales como molienda, depósito físico de vapor, ablación láser, erosión catódica, ataque químico, entre otros (Prajitha y col., 2019:4) (Khan y col., 2019:5).

Métodos para la obtención de nanomateriales		
De arriba hacia abajo (top-down)	De abajo hacia arriba (bottom-up)	
	Síntesis	Síntesis biológica
I) Molienda mecánica II) Desbaste químico III) Erosión catódica por RF IV) Ablación láser	I) Por giro II) Aerosol usando flama o plasma III) Pirólisis por láser IV) Deposito químico de vapor	I) Por bacterias II) Por levaduras III) Por algas IV) Por plantas

Figura 2. Métodos de obtención de los NM (Khan y col., 2019b:5).

Como se puede deducir, se tiene una enorme variedad de nano materiales. Y un gran potencial para obtener incluso más, que sean más eficaces para satisfacer las necesidades presentes y futuras.

Para completar la descripción de los nano materiales, es necesario conocer el origen de las propiedades que los hacen tan útiles. En general se puede decir que dichas propiedades provienen, además de su naturaleza química, su tamaño y su forma. Sus dimensiones son cercanas al de las moléculas (Å); mientras

que su forma es acorde a la descripción que se hizo respecto a los NM 0D, 1D, 2D y 3D. Estas características particulares, tamaño y forma, en conjunto con su naturaleza química, modifican sus propiedades ópticas y eléctricas, comparadas con las del material en volumen. Este cambio en propiedades, se debe a que tienen una prevalencia de la superficie respecto al volumen; y al confinamiento del movimiento de sus electrones en cierta dimensión o dimensiones, de acuerdo al material 0D, 1D, 2D o 3D (Schmid, 2011:371).

### 3. Riesgos de los nano materiales

Un análisis completo, de los riesgos y efectos a la salud causados por los NM, requeriría la escritura de un libro, o tal vez varios. Por lo cual, en este documento se presentan los aspectos más importantes relacionados con los riesgos y efectos originados por los NM.

#### 3.1. El agua

La revisión de la contaminación del agua es fundamental, dado que es vital para la vida de todos los seres vivos. En virtud de su importancia, se inicia revisando los riesgos y efectos nocivos de los nanomateriales (NM) en medio acuoso.

Como ya se mencionó, la producción de NM está en aumento. Después de su vida útil, muchos NM llegan a ríos, lagos, descargas residuales, y a los océanos. Estos materiales proceden de cosméticos, pinturas, pigmentos, recubrimientos, laboratorios de investigación, y las industrias farmacéutica, electrónica y textil (Cervantes-Avilés y col., 2017:252). En medio acuoso los NM tienen transformaciones físicas y químicas que afectan su toxicidad, ver figura 3. Respecto a los puntos cuánticos (NM semiconductores OD); una transformación importante es la aglomeración, obteniéndose partículas de mayor tamaño. Otro aspecto importante es la reducción del oxígeno y del agua, por efecto de la radiación solar, para producir radicales hidroxilos ( $\text{OH}^-$ ) y peróxido ( $\text{O}_2^-$ ) muy reactivos. Se dan varias transformaciones más, tales como pérdida de ligante, pérdida de coraza (la coraza es un semiconductor no tóxico que envuelve al semiconductor activo), cambio en carga superficial, disolución en el medio, adsorción de otras especies químicas, e incluso neutralización mediante otras especies químicas, polímeros o ligantes (Rocha y col., 2017:2). Procesos similares se darán en los otros tipos de NM; la intensidad de los cambios dependerá del tamaño, especies químicas presentes en el medio, radiación solar y de su naturaleza.

Los principales problemas en especies acuáticas durante su etapa larvaria son: mortalidad, daño en la

cubierta del embrión, disminución del grado de eclosión, apoptosis [muerte de células dañadas], alteraciones vasculares, daño al sistema nervioso, malformaciones, e incremento de las metalotioneínas [materiales que pueden unirse a los átomos de metales pesados] (MT). Los problemas durante su etapa adulta son: acumulación y lesión en el hígado, así como en el sistema digestivo, daños en el DNA, baja actividad de las enzimas antioxidantes y producción de especies reactivas de oxígeno (ROS). Otra preocupación es la cadena alimenticia, que llevaría estos contaminantes a la boca de los humanos, ver figura 4 (Rocha y col., 2017:14).

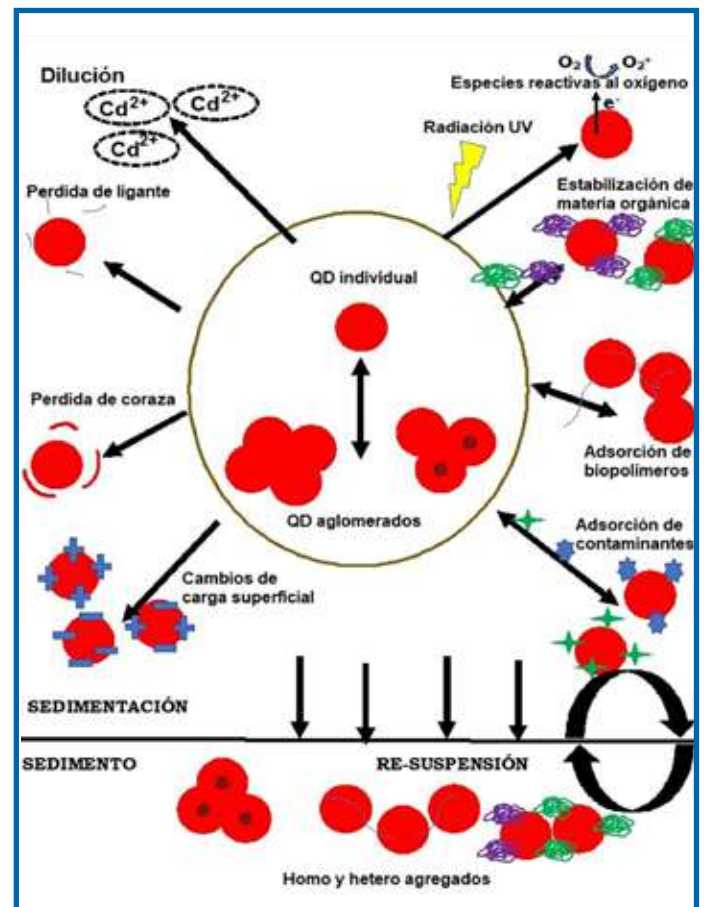
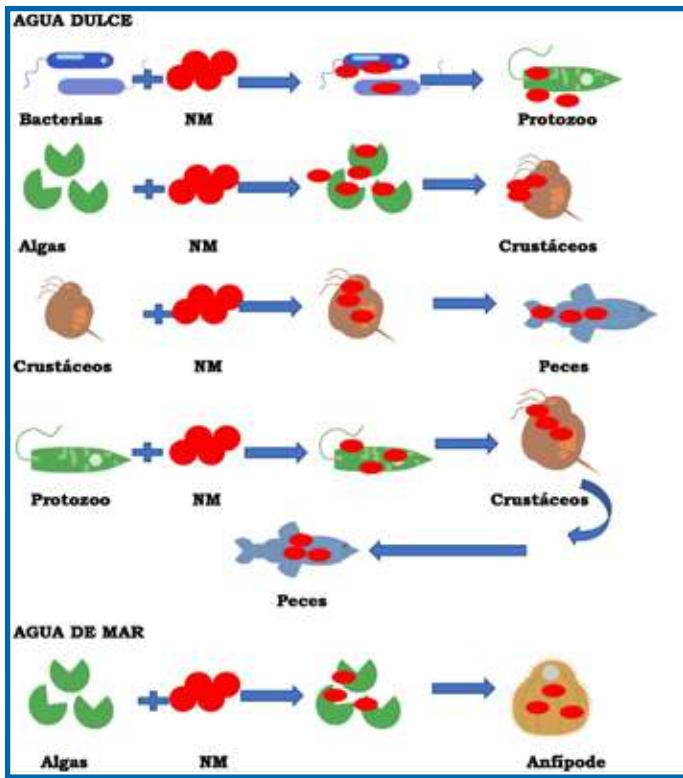


Figura 3. Transformaciones de los nanomateriales en medio acuoso (Rocha y col., 2017:3)





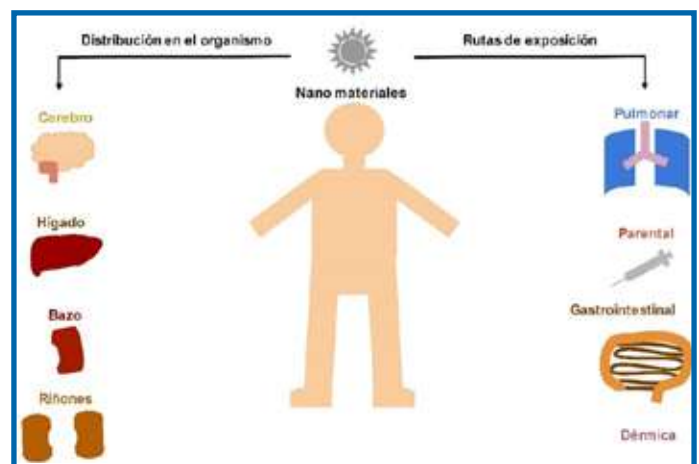
**Figura 4.** Cadena de dispersión de los nanomateriales en los sistemas acuáticos (Rocha y col., 2017:15).

Otros sistemas acuáticos importantes son las aguas residuales, y las plantas de tratamiento que las contienen y tratan antes de liberarse. En estas plantas de tratamiento se dan los fenómenos ya mencionados de aglomeración, enlazamiento con otras especies químicas, y si está abierto a la radiación solar, también se dará la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS). Estos cambios ayudan a que, mediante el proceso estándar de tratamiento, los NM se encuentren en una gran mayoría en el lodo residual (90%) y muy poco en el agua tratada. Se han encontrado altas concentraciones de NM en los reactores de las plantas de tratamiento. Lo cual indica una acumulación, que provoca efectos adversos en los microorganismos utilizados en el proceso, derivando en un mal funcionamiento de las plantas. También es preocupante la cantidad de NM que están saliendo con el agua tratada e incorporándose al sistema de aguas. Y contaminan diversos ecosistemas. También es preocupante la disposición final de los lodos residuales (Brar y col., 2010:517) (Cervantes-Avilés y col., 2017:254).

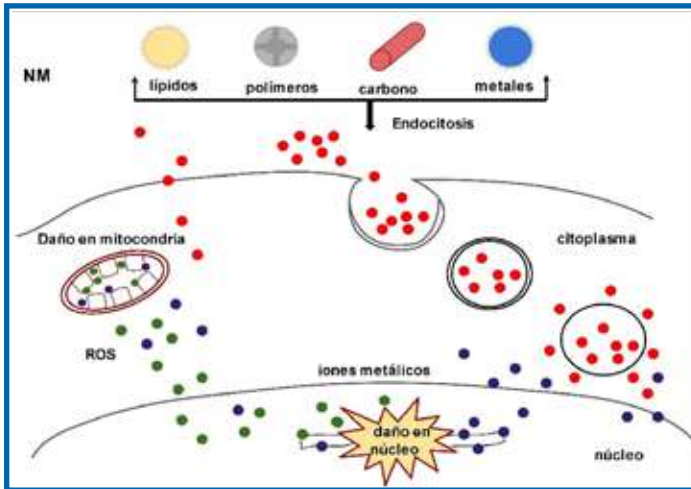
### 3.2. El aire

La contaminación del aire es también de gran importancia; dado que ingresa continuamente en nuestro organismo. La impurificación del aire con NM se focaliza en las grandes ciudades, tal como la ciudad de México, Guadalajara y Monterrey. En este aire contaminado se encuentran materiales peligrosos tales como, compuestos de hierro magnéticos y NM derivados de combustión y fricción. Estos materiales cuyas dimensiones son menores que 100 nm causan daños en las células y órganos, incluidos corazón y cerebro; es por esto que estos NM se consideran factores de riesgo para enfermedades cardiovasculares y Alzheimer (Calderón-Garcidueñas y col., 2019:2).

Los efectos de NM en el cuerpo humano dependen de la vía de acceso, tamaño, naturaleza química y concentración; además, de la condición médica particular de cada individuo. Los medios de ingreso pueden ser el sistema respiratorio y el sistema digestivo; los órganos afectados pueden ser el cerebro, corazón, hígado, pulmones y bazo, ver figura 5. En cada caso la severidad es variable, de acuerdo con los factores mencionados. La ruta de acceso de los NM a las células se muestra en la figura 6. Dicha ruta es traspasando la pared celular, cuando su tamaño lo permite; o mediante endocitosis; ya en el interior de la célula, traspasa la pared que los contiene y daña las mitocondrias y al citoplasma. A continuación, de acuerdo con las condiciones particulares, ingresa al núcleo y daña al DNA (Calderón-Garcidueñas y col., 2019:5).



**Figura 5.** Entrada de NM al organismo, y órganos donde se acumulan (Najahi-Missaoui y col., 2021:5).



**Figura 6.** Rutas de acceso de los NM al interior de las células (Najahi-Missaoui y col., 2021:6).

### 3.3. Nano materiales que contienen cadmio

Un NM de especial interés por su toxicidad es el cadmio. Los NM que contienen cadmio se encuentran en diversos productos de consumo humano; entre estos, los que presentan mayor concentración son los mariscos y vegetales de hoja verde (Genchi y col., 2020:3).

Para los puntos cuánticos de CdTe/CdSe, en un estudio in vitro (aquel en el que se utilizan células vivas fuera de un organismo, en este caso se utilizó la línea L929 de fibroblastos de ratón, que es el tipo más común de células del tejido conectivo y están presentes en la piel, tendones, y otras partes duras del organismo), se encontró que 7  $\mu\text{g/mL}$  es la concentración máxima permitida, mayores concentraciones generan daño por estrés oxidativo en el ADN. Además, arriba de 7  $\mu\text{g/mL}$ , se encontró un incremento de la apoptosis (autoeliminación de las células dañadas irreversiblemente) en el hígado (Zhang y col., 2015:13444).

Un hallazgo importante es que los puntos cuánticos pueden cruzar la barrera hematoencefálica e ingresar al sistema nervioso central; lo cual, para el caso de un material tóxico trae graves consecuencias. Pero si los puntos cuánticos no son tóxicos, se pueden usar para transportar medicamentos específicos al sistema nervioso central (Wang y Tang, 2021:5).

Para el uso médico de los puntos cuánticos (principalmente de cadmio, debido a su fluorescencia). Estos se encapsulan mediante una coraza fabricada de otro semiconductor no tóxico, y el material resultante tiene baja toxicidad y buena

compatibilidad con el medio. El riesgo, ya corroborado, es que el cadmio se libera en el citoplasma de las células. Este cadmio liberado causa daño en las mitocondrias e incluso en el DNA del núcleo (Mo y col., 2017:14).

### 3.4. Nano materiales que contienen selenio

El selenio es un nutriente esencial para el reino animal y vegetal; por desgracia, para concentraciones mayores al requerimiento homeostático, es tóxico. Esta toxicidad involucra la formación de especies químicas reactivas de oxígeno, y su manifestación se observa en los tejidos, en el DNA y en la generación de cáncer. La selenosis crónica (ingesta excesiva crónica) en el ser humano se manifiesta en las uñas y cabello quebradizos, daños en la piel, anomalías neuronales, náuseas, vómitos, diarrea y complicaciones cardiovasculares (Sharma y col., 2017:405). En un estudio utilizando ratas, se les intoxicó debajo del nivel crónico con nanopartículas de CdO y PbO, juntos y separados; encontrándose que el órgano más dañado utilizando CdO fue el hígado, mientras que el PbO deterioró más a los riñones (Klinova y col., 2021:2).

## 4. Soluciones para atenuar la problemática

Un primer enfoque es fabricar NM que no sean tóxicos, el segundo es remediar el daño ya existente y que se sigue agravando. El primer enfoque se debe implementar de manera generalizada, para que no salgan al mercado productos tóxicos.

En el primer enfoque existen diversas opciones. La primera opción es mejorar los NM base lípidos y se trata de utilizar lípidos de nueva generación, aquellos que combinan funciones éster y radicales hidrofóbicos de alcanos. Los NM resultantes son más fáciles de desechar del plasma sanguíneo, y se ha observado una mejora en la tolerancia mediante pruebas in vivo. Una segunda opción es depositar una capa protectora sobre la superficie de los NM. La cubierta es fabricada de diversos materiales, y mejora la biocompatibilidad, el desempeño de los NM, evita la toxicidad y facilita su eliminación del organismo. Algunos de los materiales utilizados para cubrir la superficie son: polietilenglicol, poli N-iso propil acrilamida, poli carboxibetaina, polivinil pirrolidona, poli sulfobetaina, dextrano y quitosano. Una tercera opción es la impurificación química, la cual consiste en adicionar

átomos de un elemento extraño en una relación de uno a  $10^4 - 10^5$ ; los elementos más utilizados para impurificar son, aluminio, titanio y hierro. Esta impurificación modifica las propiedades eléctricas, ópticas y de superficie de los NM, lo cual disminuye la liberación de tóxicos y la generación de especies reactivas de oxígeno. La cuarta opción es la modificación de las propiedades superficiales de los NM; entre ellas la hidrofobicidad y la densidad de carga superficial; dicho ajuste se puede obtener mediante la unión covalente con grupos funcionales aniónicos, catiónicos y no iónicos. Una quinta opción es modificar las propiedades fisicoquímicas de los NM; dentro de estas propiedades están la solubilidad, la generación de iones y la aglomeración. Dichas propiedades eliminan o limitan la toxicidad de los NM (Najahi-Missaoui y col., 2021:11).

En el segundo enfoque, el proceso a llevar a cabo se conoce como remediación. Este proceso considera procedimientos químicos, fisicoquímicos, mecánicos, eléctricos y térmicos mediante los cuales se elimina o reduce uno o más agentes contaminantes de un sistema. En este enfoque, hay que adicionar a la contaminación ocasionada por NM los añejos, y aún persistentes, daños ocasionados por combustibles, pesticidas, fungicidas, herbicidas, desechos de minería y aguas residuales de todas las ciudades. Se conocen tres estrategias para llevar a cabo la remediación. La primera es destruir el contaminante, alterándolo químicamente; la segunda es extraer el contaminante, retirándolo del sistema que está dañando; y la tercera es inmovilizar al contaminante, para que no cause daño a los seres vivos. Puede aplicarse más de una estrategia, dependiendo del daño existente.

Respecto a los contaminantes tradicionales, ya mencionados, existe una gran cantidad de tecnologías y metodologías ampliamente conocidas (Delgadillo-López y col., 2011:598-605; Said Aabida y Arnaiz Franco, 2018:39-64; SEMARNAT, 2011:9-56).

En el caso de los NM, un primer eslabón para su propagación son las aguas residuales; su tratamiento adecuado puede evitar que los NM se dispersen hacia ríos, lagos y océanos. Materiales que han resultado efectivos son los puntos cuánticos de carbono; mediante adsorción remueven de una solución acuosa materiales tóxicos, tales como cadmio y plomo. Estos puntos cuánticos adsorben mejor a pH básico, cuando el pH disminuye su capacidad de adsorción disminuye. También se ha trabajado

utilizando los puntos cuánticos de carbono dopados con nitrógeno, y se observó una mejora de su capacidad de adsorber cadmio y plomo (Rani y col., 2020:12). Una condición observada en las plantas de tratamiento de aguas residuales, es la sulfuración de los NM de plata, esto ocurre durante los procesos anaerobios del tratamiento (Kaegi y col., 2013:3867). También se trabaja usando nanotubos de carbono de paredes múltiples, para la sorción de contaminantes tóxicos, tales como plomo, cobre y cadmio. En otra investigación se trabajó utilizando nanopartículas de dióxido de titanio. Mismas que, mediante fotocatalisis, realizan la eliminación de los NM orgánicos e inorgánicos (Savage y Diallo, 2005:333) (Velasco-Hernández y col., 2020:6).

Dentro del segundo enfoque, también es necesario remediar el daño existente en los suelos. En un estudio se utilizó bio carbón finamente dividido y mezclado con una solución de fosfato férrico y carboximetilcelulosa de sodio, como aditivos, en un suelo contaminado con cadmio. Los resultados fueron alentadores, inmovilizaron el cadmio y disminuyeron notablemente su acumulación en las plantas cultivadas (Qiao y col., 2017:516). Otra opción viable es utilizar plantas (fitorremediación) para remediar suelos contaminados con metales pesados. Se ha encontrado que el girasol es eficiente para remediar suelos; siempre que las concentraciones de metales pesados estén por debajo de 50 ppm (Genchi y col., 2020:15). También, en este segundo enfoque, se encuentra la eliminación de contaminantes del aire. En este ámbito se utilizaron nanopartículas de dióxido de silicio para adsorber plomo del ambiente; el estudio se realizó en una fábrica de baterías para automóviles (Yang y col., 2013:656).

## Conclusiones y perspectivas

Es innegable el gran desarrollo y la utilidad de los NM. Sin embargo, se debe poner atención en sus aspectos negativos. La toxicidad de los nuevos materiales es un asunto importante, dado que muchos inciden negativamente en la salud de los seres vivos. Entre estos seres vivos se incluye a plantas y animales, desde los unicelulares hasta los complejos, lo cual significa un riesgo de gran magnitud, que acumulativamente puede llegar incluso al ser humano. Este riesgo es grave, y es la razón



por la cual se deben implementar protocolos, e incluso leyes más estrictas, para que los NM sean revisados y dispuestos adecuadamente; y para que los daños presentes en suelos, aire y sistemas acuáticos sean remediados, o al menos disminuidas sus concentraciones a los niveles permitidos. No exhortamos a dejar de usar NM; salvo en los casos donde su uso sea peligroso a la salud. Es recomendable tomar las medidas de seguridad al sintetizar y utilizar estos materiales; así como avanzar en la búsqueda de NM más eficaces y seguros. Y, sobre todo, crear conciencia social para que los nano materiales, al final de su vida útil, sean dispuestos adecuadamente; siguiendo buenas prácticas de laboratorio, o de residuos peligrosos; según corresponda a los centros de investigación, a hospitales e industrias, e incluso al hogar, taller u oficina.

## Agradecimientos

Agradecemos el apoyo proporcionado por la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro mediante el Fondo Química Somos Todos (FQST).

## Referencias bibliográficas

- Amaya, J., y Quiroga, W. [2019]. Nano materiales : una clasificación desde sus dimensiones. *Revista Química e Industria*, (January), 7-12.
- Brar, S. K., Verma, M., Tyagi, R. D., y Surampalli, R. Y. [2010]. Engineered nanoparticles in wastewater and wastewater sludge - Evidence and impacts. *Waste Management*, 30(3), 504-520. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.10.012>
- Calderón-Garcidueñas, L., González-Maciel, A., Mukherjee, P. S., Reynoso-Robles, R., Pérez-Guillé, B., Gayosso-Chávez, C., Maher, B. A. [2019]. Combustion- and friction-derived magnetic air pollution nanoparticles in human hearts. *Environmental Research*, 176(June), 108567. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108567>
- Cervantes-Avilés, P., Souza-Brito, E., Bernal-Martínez, A., Antonio Reyes-Aguilera, J., de la Rosa, G., y Cuevas-Rodríguez, G. [2017]. Impacto de los nanocontaminantes en biorreactores aerobios para tratamiento de aguas residuales. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 16(1), 247-260. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/620/62049878024.pdf>
- Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., y Acevedo-Sandoval, O. [2011]. Phytoremediation: An alternative to eliminate pollution. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 597-612.
- Genchi, G., Sinicropi, M. S., Lauria, G., Carocci, A., y Catalano, A. [2020]. The Effects of Cadmium Toxicity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(August), 24. <https://doi.org/10.3390/ijerph17113782>
- Kaegi, R., Voegelin, A., Ort, C., Sinnet, B., Thalmann, B., Krismer, J., Mueller, E. [2013]. Fate and transformation of silver nanoparticles in urban wastewater systems. *Water Research*, 47(12), 3866-3877. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.11.060>
- Khan, I., Saeed, K., y Khan, I. [2019a]. Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(7), 908-931. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2017.05.011>
- Khan, I., Saeed, K., y Khan, I. [2019b]. Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(7), 908-931. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2017.05.011>
- Klinova, S. V., Katsnelson, B. A., Minigalieva, I. A., Gerzen, O. P., Balakin, A. A., Lisin, R. V., Protsenko, Y. L. [2021]. Cardiotoxic effects in subchronic intoxication of rats with lead and/or cadmium oxide nanoparticles. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(7). <https://doi.org/10.3390/ijms22073466>
- Kruis, F. E., Fissan, H., y Peled, A. [1998]. SYNTHESIS OF NANOPARTICLES IN THE GAS PHASE FOR ELECTRONIC, OPTICAL AND MAGNETIC APPLICATIONS: A REVIEW (J. Aerosol Sci. Vol. 29, No. 56, pp. 511-535, 1998).pdf, 29(5), 511-535.
- Lewinski, N., Colvin, V., y Drezek, R. [2008]. Cytotoxicity of nanoparticles. *Small*, 4(1), 26-49. <https://doi.org/10.1002/sml.200700595>
- Mo, D., Hu, L., Zeng, G., Chen, G., Wan, J., Yu, Z., Cheng, M. [2017]. Cadmium-containing quantum dots: properties, applications, and toxicity. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 101(7), 2713-2733. <https://doi.org/10.1007/s00253-017-8140-9>
- Najahi-Missaoui, W., Arnold, R. D., y Cummings, B. S.

- [2021]. Safe nanoparticles: Are we there yet? *International Journal of Molecular Sciences*, 22(1), 1–22. <https://doi.org/10.3390/ijms22010385>
- Prajitha, N., Athira, S. S., y Mohanan, P. V. [2019]. Bio-interactions and risks of engineered nanoparticles. *Environmental Research*, 172(February), 98–108. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.02.003>
- Qiao, Y., Wu, J., Xu, Y., Fang, Z., Zheng, L., Cheng, W., Zhao, D. [2017]. Remediation of cadmium in soil by biochar-supported iron phosphate nanoparticles. *Ecological Engineering*, 106, 515–522. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.06.023>
- Rani, U. A., Ng, L. Y., Ng, C. Y., y Mahmoudi, E. [2020]. A review of carbon quantum dots and their applications in wastewater treatment. *Advances in Colloid and Interface Science*, 278, 102124. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102124>
- Rocha, T. L., Mestre, N. C., Sabóia-Morais, S. M. T., y Bebianno, M. J. [2017]. Environmental behaviour and ecotoxicity of quantum dots at various trophic levels: A review. *Environment International*, 98, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.09.021>
- Said Aabida, A., y Arnaiz Franco, M. C. [2018]. Tecnologías físico-químicas en la regeneración de suelos contaminados, 1–159.
- Savage, N., y Diallo, M. S. [2005]. Nano materials and water purification: Opportunities and challenges. *Journal of Nanoparticle Research*, 7(4–5), 331–342. <https://doi.org/10.1007/s11051-005-7523-5>
- Schmid, G. [2011]. *Nanoparticles From Theory to Application*. [G. Schmid, Ed.], SpringerReference [2nd ed.]. KGaA, Boschstr. 12, 69469 Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH y Co. [https://doi.org/10.1007/springerreference\\_67330](https://doi.org/10.1007/springerreference_67330)
- SEMARNAT. [2011]. Tecnologías de Remediación de suelos contaminados más utilizadas.
- Sharma, V. K., McDonald, T. J., Sohn, M., Anquandah, G. A. K., Pettine, M., y Zboril, R. [2017]. Assessment of toxicity of selenium and cadmium selenium quantum dots: A review. *Chemosphere*, 188, 403–413. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.08.130>
- Velasco-Hernández, A., Esparza-Muñoz, R. A., de Moure-Flores, F. J., Santos-Cruz, J., y Mayén-Hernández, S. A. [2020]. Synthesis and characterization of graphene oxide – TiO<sub>2</sub> thin films by sol-gel for photocatalytic applications. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 114(December 2019). <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2020.105082>
- Wang, Z., y Tang, M. [2021]. The cytotoxicity of core-shell or non-shell structure quantum dots and reflection on environmental friendly: A review. *Environmental Research*, 194, 110593. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110593>
- Yang, X., Shen, Z., Zhang, B., Yang, J., Hong, W. X., Zhuang, Z., y Liu, J. [2013]. Silica nanoparticles capture atmospheric lead: Implications in the treatment of environmental heavy metal pollution. *Chemosphere*, 90(2), 653–656. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.09.033>
- Zhang, T., Wang, Y., Kong, L., Xue, Y., y Tang, M. [2015]. Threshold dose of three types of quantum dots (QDs) induces oxidative stress triggers DNA damage and apoptosis in mouse fibroblast L929 cells. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(10), 13435–13454. <https://doi.org/10.3390/ijerph121013435>





## NANOPARTÍCULAS: NUEVAS ALIADAS DE LA AGRICULTURA.

## NANOPARTICLES: NEW ALLIES OF AGRICULTURE.

Rivas-Ramírez Luisa Katiana<sup>1</sup>, Torres-Pacheco Irineo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Amazcala, Carreterra Chichimequillas s/n Km 1, 76265. El Marqués, Querétaro, México.

\* Autor de correspondencia, correo: [luisakriv@gmail.com](mailto:luisakriv@gmail.com)

### Resumen

La protección de los cultivos agrícolas es esencial para la producción de alimentos seguros, en la actualidad y en el futuro. No obstante, la eficacia de los plaguicidas se ve amenazada por la evolución de patógenos resistentes; por esto es importante la generación de distintas estrategias para el manejo de plagas. La nanotecnología ha desarrollado materiales con interesantes propiedades antimicrobianas, propias de los niveles nanométricos; estos materiales son principalmente nanopartículas metálicas y óxidos metálicos, que sugieren el control de plagas a través de diversos mecanismos de acción, diferentes de los plaguicidas convencionales. En este trabajo de divulgación se presenta la evidencia de estudios científicos usando diferentes nanopartículas para el manejo de bacterias, hongos y virus de interés agrícola.

Palabras clave: *Nanopartículas, NP-ZnO, Plaguicidas.*

### Abstract

*Agricultural crops protection is essential for the production of safe food, now and in the future. However, the efficacy of pesticides is threatened by the evolution of resistant pathogens; for this reason, the generation of different strategies for pest management is important. Nanotechnology has developed materials with interesting antimicrobial properties, typical of nanometric levels; these materials are mainly metallic nanoparticles, which suggest the control of pests through various mechanisms of action, different from conventional pesticides. The evidence of scientific studies using different nanoparticles for the management of bacteria, fungi and viruses of agricultural interest is presented in this work.*

*Keywords: Nanoparticles, NP-ZnO, Pesticides*

## 1. Introducción

Para alimentar de manera sostenible a diez mil millones de personas en el 2050 (GEO, 2020) se estima que la producción agrícola debería aumentar un 60%; para ello será necesario proteger los cultivos contra las plagas de insectos, enfermedades y malezas. Para lograr esto, la agricultura comercial utiliza comúnmente plaguicidas en los alimentos que consumimos; gracias a esos plaguicidas los productores incrementan el rendimiento de sus cosechas en conjunto con un apropiado manejo de nutrición y riego. Por otro lado, todos los alimentos destinados al consumo humano están sujetos a un límite máximo de residuos (LMR) de plaguicidas en su composición; es decir, las cantidades máximas de residuos de plaguicidas que pueden encontrarse en los alimentos para que éstos sean seguros (Navas y García-Fernández, 2020).

Los plaguicidas, también llamados productos fitosanitarios cuando se aplican en la agricultura, se usan para prevenir, disminuir o eliminar por completo a las plagas. Las plagas, también referidas como patógenos, son aquellas plantas, animales, insectos, microbios u otros organismos no deseados que en cierto número de población se convierten en un problema para las plantas; adicionalmente, este problema se convierte en un importante inconveniente para los productores. Los plaguicidas se clasifican en función del patógeno al cual afectan; de tal forma que un insecticida afecta a insectos, mientras que un herbicida daña a plantas consideradas malezas (cualquier planta que no sea el producto deseado). De igual manera, los fungicidas combaten hongos, y los viricidas inactivan a la actividad de los virus.

A pesar de estas ventajas, los plaguicidas perjudican también al ambiente y dañan la salud tanto humana como animal; el uso de plaguicidas en la agricultura es una de las principales fuentes de contaminación para las aguas subterráneas, lo que finalmente se propaga al agua potable que consume la sociedad (Li, 2018). Por otro lado, la naturaleza tóxica de los plaguicidas permite eliminar los patógenos nocivos; sin embargo, los plaguicidas no son tan selectivos y también afectan las bacterias simbióticas y hongos benéficos (MacWilliam y col. 2015). Adicionalmente, la mayoría de los plaguicidas afectan la división celular en las células de las raíces de las plantas, afectando de este modo la absorción de nutrientes (Sánchez y col. 2018). Cabe mencionar que no sólo la microbiota, o microorganismos

presentes del suelo, es afectada, sino también otros organismos como los insectos polinizadores; por ejemplo, los insecticidas pueden matar directamente a las abejas, mientras que los herbicidas reducen la diversidad de sus recursos alimenticios, lo que afecta indirectamente su supervivencia y reproducción (Sánchez-bayo, 2016). Por si esto no fuera suficiente, los plaguicidas se acumulan y concentran a lo largo de la cadena alimenticia; por lo que finalmente llegan al cuerpo humano, específicamente a los tejidos grasos y causan efectos por su acumulación (MacWilliam y col. 2015). Por esta razón es necesario adoptar medidas urgentes para detener y revertir esa situación, además de mantener la integridad actual y futura de los ecosistemas mundiales.

Desde la perspectiva económica, la fabricación de productos fitosanitarios no es atractiva, ya que su eficacia es amenazada por la resistencia de los organismos a los plaguicidas (Hawkins y col. 2019). Además, existen costos de licencias sanitarias para el uso de dichos plaguicidas; por ejemplo, en México los costos de licencias sanitarias por parte de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) ascienden a \$24,393.29 por producto (COFEPRIS, 2020).

Por lo anteriormente expuesto es imperativo usar diferentes alternativas para el control de plagas y enfermedades, que permitan resguardar la seguridad alimentaria con mínimo impacto ambiental. Una alternativa de la cual la agroindustria recientemente hace uso es la nanotecnología, la cual permite manipular los materiales a nivel nanoescala; en la agricultura, la nanotecnología permite generar fertilizantes, herbicidas, plaguicidas, fungicidas y sensores (Paramo y col. 2020) mediante la fabricación y manipulación de nanopartículas (NPs). Las NPs son un objeto pequeño de dimensiones menores a 100 nanómetros (nm) en al menos una de sus tres dimensiones (largo, ancho, alto); un nanómetro equivale a una mil millonésima parte de un metro, lo cual resulta invisible a simple vista ¡Eso es 10 a 100 veces más pequeño que una bacteria, y cerca de 1000 veces más pequeño que la célula humana típica! estos tamaños son los responsables de las propiedades antimicrobianas de las NPs. Diversos estudios han observado que a menor tamaño de partícula y mayor concentración de la misma mayor potencial antimicrobiano presentan, lo más aceptado es que la simple interacción NP-patógeno es suficiente para manifestar su inhibición. Considere el lector un material cualquiera que se corta en

muchas piezas pequeñas, las cuales en conjunto tienen mayor área de contacto que si sólo se tuviera el material en su tamaño original; estas piezas pequeñas presentan propiedades físicas, químicas, electrónicas entre otras, diferentes al material original (Singh y col. 2017). Es por esta razón que en el presente artículo se presenta información sobre nanotecnología y, en particular, sobre el uso de nanopartículas para el manejo de hongos, bacterias y virus agrícolas.

## 2. Las nanopartículas y la agricultura

El tipo de nanomateriales más estudiado es la nanopartícula, esto es en gran medida debido a su facilidad y eficiencia de producción a partir de una variedad de materiales. El tamaño, la composición y el tipo de moléculas en la superficie de la partícula constituyen una identidad sintética para la nanopartícula, similar a una huella digital. La identidad sintética se determina mediante el método de síntesis utilizado, y de ello también dependen las increíbles características que poseen. Para producir nanopartículas pueden usarse métodos biológicos, físicos y químicos; dentro de los métodos químicos hay métodos descendentes y ascendentes. El método descendente (en inglés top-down approach) implica una gran estructura que se divide en unidades de tamaño nanométrico, mientras que los métodos ascendentes (en inglés bottom-up approach) implica reacciones químicas que conducen a la agregación de átomos en partículas (Król y col. 2017).

La síntesis química de nanopartículas metálicas involucra tres ingredientes: una sal metálica, un agente reductor y un agente estabilizante. La síntesis consiste en reducir la sal metálica usando un agente reductor, es decir el metal cargado positivamente gana electrones para reducir su carga a una neutra, de este modo se generan átomos individuales de metal puro. Estos átomos se convierten en sitios de nucleación, lo que es igual a que cada átomo actúa como un punto de partida para el crecimiento. El segundo paso de la síntesis consiste en agregar un agente estabilizante que sirve para detener el crecimiento de las NPs, de lo contrario, las nanopartículas crecerán en función de la disponibilidad de los átomos de metal en la solución. El crecimiento descontrolado daría lugar a partículas fuera de la escala nanométrica.

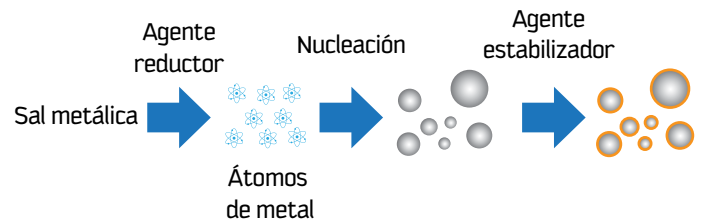


Figura 1. Formación de NPs a partir de sales metálicas.

El control de la nucleación y el crecimiento de NPs son muy importantes debido a que controlan el tamaño y las formas de las mismas. Las diferentes condiciones sintéticas producen diferentes morfologías de crecimiento, de las cuales se han sintetizado satisfactoriamente nanoesferas, nanocables, nanotubos e incluso nanoflores o nanoestrellas como las observadas en la figura 2.

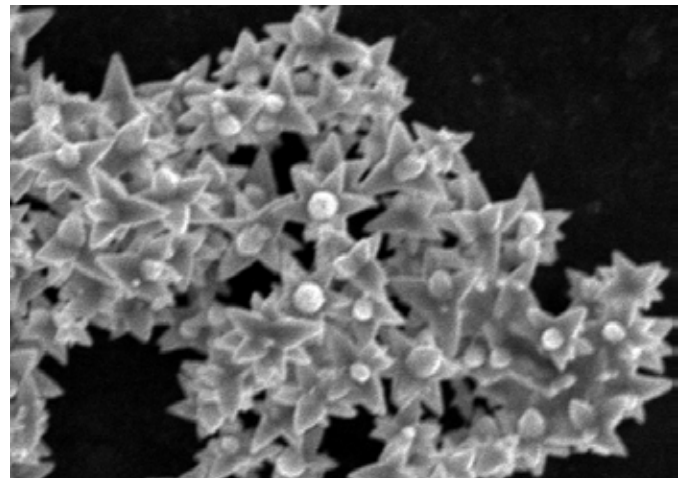


Figura 2. Nanoestrellas de ZnO obtenidas por síntesis química.

Otra manera para sintetizar nanopartículas es mediante métodos biológicos que usan extractos acuosos de plantas, bacterias, hongos e incluso virus. En particular, los extractos acuosos de plantas son soluciones que contienen uno o más ingredientes activos de una planta específica. Las plantas pueden proveer un gran número de agentes reductores naturales que podrían producir nanopartículas empleando sales metálicas u óxidos metálicos; entre estas moléculas naturales están los terpenoides, polifenoles, azúcares, alcaloides, y proteínas (Makarov y col. 2014). Las plantas que contienen metales son tratadas con temperaturas inferiores a la de fundición lo cual forma una



masa sólida bien compacta sin derretir el metal (Kharissova y col. 2013). El uso de extractos de plantas para sintetizar nanopartículas es probablemente el método más rápido y está libre de desechos químicos (Raghunath y Perumal. 2017). Todavía hay un largo camino por recorrer para sustituir los métodos tradicionales de síntesis química por los métodos biológicos, sin embargo, la calidad de las NPs es comparable con las de metodología tradicional. Sin importar el método utilizado, lo importante es controlar las condiciones que nos proporcionen el tamaño y la forma buscada.

Por otro lado, las características más relevantes que afectan la actividad antimicrobiana descritas en la investigación bibliográfica realizada por Sirelkhatim y colaboradores en el 2015, son las siguientes:

- a) *El tamaño de la NP*, en el cual las NPs se benefician de tener una dimensión similar o menor que el patógeno objetivo debido a que permite una interacción íntima.
- b) *La concentración de las NPs*, está ampliamente reportada la correlación lineal entre la dosis y la actividad antimicrobiana.
- c) *El porcentaje de facetas activas en las NPs determinado por su morfología*, donde se ha observado que las facetas con una alta densidad de átomos de {111} exhiben una mayor actividad antimicrobiana.
- d) *La carga superficial de las NPs*, la cual debe ser suficientemente positiva para atraer electrostáticamente las membranas celulares de bacterias y virus, además de que evitan la aglomeración de sí mismas al mismo tiempo.
- e) *Los efectos fotocatalíticos de las NPs*, especialmente en óxidos metálicos que tienen la capacidad de reaccionar bajo el estímulo con luz, esto mejora la actividad antimicrobiana.
- f) *Defectos superficiales*, las NPs que contienen numerosos bordes y esquinas presentan posibles sitios de superficie reactiva con independencia de su sencilla fórmula química.

Ahora bien, lo que hace particularmente interesante el uso de NPs es que no desarrollan resistencia por patógenos, esencialmente porque los mecanismos de acción de los plaguicidas son distintos; por ejemplo, algunos insecticidas inhiben la enzima colinesterasa, por ello se acumula acetilcolina, esto provoca contracciones de los músculos y finalmente parálisis en insectos (Kumar, 2013). Por otro lado, algunos fungicidas inhiben la biosíntesis de quitina, componente estructural de la pared celular en hongos; o bien, inhiben sustancias importantes como la melanina

fúngica, pigmento involucrado en la defensa antifúngica, es decir, evaden la respuesta inmune de las plantas que afectan (Casadevall, 2018). Los microorganismos patógenos han encontrado el modo de generar resistencia a estos mecanismos, lo cual es posible mediante mutaciones genéticas debido al mal uso de los productos fitosanitarios, por ejemplo, no respetar las indicaciones de la etiqueta como es el tiempo y frecuencia del tratamiento; también no alternar el principio activo en caso de presentar reincidencia de la plaga. En consecuencia, se generan plagas más resistentes y difíciles de tratar que los individuos iniciales.

En la investigación realizada por Raghunath y Perumal en el 2017, se detallan algunos de los mecanismos de nanopartículas propuestos en recientes investigaciones. A continuación, éstos se describen brevemente.

### 2.1. Daño de la cubierta celular

La cubierta o capa que protege a una célula del medio exterior se llama membrana celular. Cuando se trata de una célula proveniente de una bacteria, su membrana celular es referida como membrana bacteriana; del mismo modo ocurre para las membranas de células vegetales, hongos y sólo en el caso particular de los virus, capsida. Las membranas no sólo separan el contenido celular de su exterior, también realizan importantes funciones como seleccionar lo que deja pasar a su interior; por ejemplo, los iones minerales como el  $Zn^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $K^{+}$  entran sin dificultad. Por ello se dice que las membranas son selectivas y esto se conoce como permeabilidad de la membrana. Por otro lado, las membranas bacterianas están compuestas de proteínas; las proteínas son macromoléculas formadas por cadenas lineales de aminoácidos. Los aminoácidos están compuestos por grupos químicos de tipo amino ( $-NH$ ) y un ácido carboxílico ( $-COOH$ ); estos grupos químicos son sitios de atracción de cationes metálicos, por ejemplo, de una NP metálica. Es importante mencionar que los cationes son aquellos iones con carga eléctrica positiva o que han perdido electrones. Como consecuencia de las leyes de carga eléctrica, que enuncian que las cargas opuestas son atraídas, la carga positiva de la NP y la carga negativa del grupo carboxilo presente en la membrana bacteriana se atraen electrostáticamente; es por ello que se unen y las NP se acumulan en la superficie celular, siendo esta unión por sí sola tóxica en las bacterias.

### 2.2. Alteración del equilibrio de iones metálicos

El equilibrio u homeostasis de iones metálicos en un microorganismo regula la actividad de coenzimas, cofactores y catalizadores (aceleradores de reacciones químicas) esenciales para importantes funciones metabólicas. Cuando las bacterias tienen un exceso de metales o iones metálicos se trastornan las funciones fisiológicas; por ejemplo, los iones metálicos se unen al ADN y alteran su naturaleza helicoidal, esto interrumpe procesos celulares como la replicación de la información genética a nuevas células. Adicionalmente, los iones metálicos neutralizan la carga de un tipo de moléculas presentes en la membrana bacteriana, llamadas lipopolisacáridos (LPS); en consecuencia, la membrana pierde selectividad y permite la entrada de tales iones metálicos, finalmente el crecimiento bacteriano se ralentiza conforme las membranas se desorganizan.

### 2.3. Producción de especies reactivas de oxígeno.

Las NPs al acumularse en la membrana celular inducen la generación de ROS. Los ROS incluyen radicales libres que son el superóxido ( $O_2^-$ ) y el hidroxilo ( $OH^-$ ), como también los de tipo no radicales como el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y el oxígeno singlete ( $^1O_2$ ). Los ROS causan daños celulares, los cuales se manifiestan en forma de degradación de biomoléculas como proteínas, lípidos y ácidos nucleicos; es por esto que ocurre la muerte celular (Das y Roychoudhury, 2014). La producción de ROS se considera el mecanismo antimicrobiano principal mediante el cual las NPs operan dentro de los microorganismos; esto es porque sin importar el tipo de NP, los niveles de ROS aumentan. Lo especial de este mecanismo es que los

microorganismos no desarrollan resistencia a partículas tan reactivas como son las ROS; por esta razón las NPs pueden usarse como alternativa para el manejo de plagas.

#### 2.3.1. Degradación de enzimas y proteínas

Las NPs liberan iones metálicos que modifican de forma directa o indirecta a las proteínas; un ejemplo de modificación directa es la carbonilación, que consiste en la oxidación o pérdida de electrones de aminoácidos dando como resultando grupos carbonilos ( $-CO$ ) unidos a proteínas. La carbonilación ocasiona la pérdida de actividad enzimática, desencadenando posteriormente la degradación de proteínas. Adicionalmente, los aminoácidos que presenten en su composición grupos tiol ( $-SH$ ) como la cisteína, y grupos sulfuro, como la metionina, son más vulnerables a sufrir daños mediados por ROS (Das y Roychoudhury, 2014).

#### 2.3.2. Daño del material genético

El ADN es un tipo de ácido nucleico que contiene toda la información genética de un organismo. Los ácidos nucleicos están formados por la repetición de nucleótidos, a su vez un nucleótido es la unión de una base nitrogenada, una azúcar y un grupo fosfato. Las NPs interactúan con ácidos nucleicos, y en consecuencia se suprime la división celular por interrumpir los procesos de replicación celular. Otra forma de dañar el material genético es a través de la generación de ROS. Las ROS dañan al ADN en diferentes formas que incluyen: la modificación de la base nitrogenada del nucleótido, abstracción de un nucleótido, roturas en cualquiera de las cadenas de ADN y formación de complejos ADN-proteínas; todas estas alteraciones interrumpen los procesos de replicación celular.

**Tabla 1.** Mecanismos antimicrobianos de nanopartículas: modos de actuación que manifiestan su inhibición.

Daño de la cubierta celular	Alteración del equilibrio de iones metálicos	Producción de especies reactivas de oxígeno
La interacción NP-patógeno es suficiente para causar toxicidad. Ej. En bacterias Gram positivas, Las NP-Au forman enlaces con los grupos fosfatos presentes en la azúcar de los Liposacaridos de la membrana bacteriana (Jacobson y col. 2015).	Bajo ciertas condiciones ambientales algunas NP se descomponen en sus iones metálicos; éstos causan la toxicidad en patógenos. Ej. La liberación de iones $Zn^{2+}$ de NP-ZnO es directamente proporcional a la a inhibición antibacteriana (Siddiqi y col. 2018).	Las NPs producen ROS; especies altamente reactivas que degradan moléculas de importancia biológica como son las proteínas, ácidos nucleicos, azúcares y otros. Ej. La producción in situ de ROS bajo la interacción NP-virus desorganiza la cubierta proteica viral lo cual inhibe la infección viral (Vecitis, 2020).

### 3. Estudios de caso usando NPs

El uso de NPs como agente antimicrobiano reduce la posibilidad de que se desarrolle resistencia por sus múltiples mecanismos de acción. A continuación, se muestran algunos ejemplos de la aplicación de NPs contra patógenos de interés agrícola.

#### 3.1. Hongos

Los hongos son el grupo más abundante de patógenos vegetales. Estos organismos multicelulares son típicamente microscópicos; el cuerpo de un hongo está compuesto de hilos parecidos a filamentos llamados hifas, el conjunto de hifas se denominan micelios. Cuando los micelios son suficientemente grandes pueden verse sin la ayuda de un microscopio.

*Rhizoctonia solani* es un hongo patógeno de plantas, con un gran rango de huéspedes y de distribución mundial; este patógeno causa la pudrición de raíces de muchas especies hortícolas. Derbalah y colaboradores (2019) sintetizaron nanopartículas de óxido de zirconio (NP-ZrO) para tratar la pudrición de la raíz causada por *Rhizoctonia solani*, en plantas de pepino. Las plantas de pepino tratadas con NP-ZrO mostraron una reducción de los síntomas causados bajo condiciones de invernadero del 34-46%; mientras que en condiciones de cielo abierto (no protegido) del 52-56%, en comparación con las plantas no tratadas.

#### 3.2. Bacterias

Las bacterias son microorganismos unicelulares las cuales habitan y proliferan en diferentes tipos de ambientes. *Clavibacter michiganensis subsp. michiganensis* (Cmm) es una bacteria patógena que produce la enfermedad del cancro bacteriano del tomate (BCT); esta es una enfermedad importante para la producción de tomate en todo el mundo. Actualmente no existe una variedad de tomate resistente al Cmm; sólo se dispone de controles químicos y culturales. Noshad y colaboradores (2020), usaron síntesis biológica utilizando extracto acuoso micelial del hongo benéfico *Pythium oligandrum*, para generar NP de plata (AgNP); ellos obtuvieron NP de tamaño de 12nm, las cuales a una concentración de 0.44 mg/L suprimieron la aparición del BCT bajo condiciones de invernadero.

#### 3.3. Virus

Los virus son organismos más pequeños que las bacterias y necesitan de un cuerpo u organismo vivo para sobrevivir y multiplicarse, es decir, de un ser humano, una planta o de animales para multiplicarse. Cuando un virus ingresa a un ser vivo invade algunas de las células, y poco a poco se adueña de la maquinaria celular, convirtiéndola en una herramienta para producir más virus.

El virus mosaico del tabaco (TMV) se considera uno de los virus de plantas de mayor importancia científica y económica; esto debido a que infecta nueve familias de plantas y más de 125 especies. Hoy en día, las enfermedades virales en plantas no tienen tratamientos eficaces que controlen la enfermedad, sin embargo, en un reciente estudio llevado a cabo por Cai y colaboradores (2019), se cimienta la idea que las nanopartículas pueden ser empleadas como una novedosa estrategia antiviral en plantas; ellos sintetizaron químicamente NP de ZnO y SiO<sub>2</sub> con forma esférica y un tamaño de partícula de 18 nm y 20 nm respectivamente; sus resultados mostraron inhibición de la replicación viral del TMV, en plantas de tabaco, en tan sólo 12 días después de la inoculación con aplicaciones foliares diarias. El mecanismo sugerido para el tratamiento con NP-ZnO, es mediante la generación de ROS, en particular del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; esto es debido a que la actividad enzimática de peroxidasa (POD) y catalasa (CAT), responsables de la desintoxicación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, incrementaron marcadamente un 208% y 66% respectivamente, comparadas con el control (las plantas no tratadas con NPs).

### 4. Impacto ambiental

Como pasa con cualquier producto químico, el riesgo que representan las NPs para la salud humana y ambiental está relacionado tanto con su posible toxicidad, biodisponibilidad y bioacumulación. La bioacumulación ocurre cuando una sustancia química se acumula en un organismo vivo, la cual debe permanecer en el organismo y no ser degradada fácilmente por las vías metabólicas de ese organismo, además, cuanto más fácil sea para las sustancias químicas moverse en el suelo o en el agua subterránea (biodisponible), más probable es que se extienda la contaminación por las mismas. Por otro



lado, las NPs pueden cambiar el tamaño, la forma o la composición una vez que se introducen en el medio ambiente, es decir “la identidad biológica” de una nanopartícula (dentro de cualquier compartimento ambiental) puede ser completamente diferente de su identidad sintética. Por ejemplo, las NPs con carga positiva se sienten atraídas por la carga negativa de la materia orgánica natural (MON) presente en el medio ambiente, esto ocasiona que las NPs se agrupen lo cual dificulta la movilidad de las mismas, además, si la materia orgánica es suficiente para mantener una carga negativa en la interacción NP-MON, esto disminuye la interacción con las membranas bacterianas, es decir disminuye su toxicidad (Mensch y col. 2017). Por otro lado, si la NPs son atrapadas por

microorganismos o plantas terrestres, estas pueden ser ingeridas y rápidamente biomagnificarse en la cadena alimenticia (Lohse y col. 2017). Lo que esto implica para la investigación es dirigir los esfuerzos a entender como afectan las diferentes condiciones ambientales la identidad sintética de las NPs y, si estos cambios representan una amenaza para la microbiota y organismos simples, en lugar de evaluar si las nanopartículas originales sintetizadas son peligrosas per se. Además, perfiles de hormesis, es decir la evaluación de la respuesta en función de la dosis, de diferentes NPs en diferentes cultivos son necesarios para evitar no sólo los efectos fisiológicos adversos en las plantas, sino también la bioacumulación ambiental con consecuencias inmensurables.

**Tabla 2.** Manejo de patógenos agrícolas usando nanopartículas.

Patógeno	NP	Síntesis	Tamaño	Conclusión	Referencia
<i>Aspergillus Flavus</i> , <i>Fusarium.oxysporum</i> , <i>P. funiculosum</i>	ZnO, esféricas	Biológica, extracto de <i>Lantana aculeata</i> Linn.	12 nm	Inhibición en <i>A. flavus</i> (21±1 mm) <i>F. oxysporum</i> (19±1 mm).	Narendhranand Sivaraj (2016)
<i>Virus mosaico del tabaco (TMV)</i>	ZnO, esféricas	Química, sol-gel	18 nm	Inhibición 100% con 12 aplicaciones foliares diarias.	Cai y col. (2019)
<i>Botrytis cinerea</i> , <i>A. Alternata</i> , <i>M. fructicola</i> , <i>C. gloeosporioides</i> , <i>F. solani</i> , <i>V. dahliae</i>	NP-Cu NP-ZnO NP-Ag	Química, Sigma	25 nm	Inhibición de la germinación de esporas y crecimiento micelial.	Malandrakis y col. (2019)
<i>Virus mosaico del tomate (ToMV)</i> , <i>virus de la papa (PVY)</i>	NP-Ag	Química, Sigma	<100nm	Inhibición de la concentración viral y síntomas usando 50 ppm.	El-DougDoug y col. (2018)
<i>Escherichia coli</i>	TiO <sub>2</sub>	Química, ultrasonido	20 nm	La sonicación (dispersión) del material incrementa la actividad antimicrobiana.	Estrada-Monje y col. (2019)
<i>Pseudomonas sp</i> , <i>Serratia sp</i> , <i>Xanthomonas sp</i> , <i>Erwinia sp</i> y <i>Acinetobacter sp</i>	NP-Ag	Biológica, extracto de <i>Penicillium purpurogenum</i>	10.5 nm	Inhibición de 93% a 99%	Rojas y col. (2020)
<i>Bemisia tabaci gennadius</i>	NP-Fe	Biológica, extracto <i>Isaria fumosorosea</i>	3 µm	Alta patogenicidad contra pupas y ninfas del segundo y tercer estadio.	Wang y col. (2019)

## Conclusión

Durante el ciclo de vida de las plantas, éstas pueden enfrentar tensiones abióticas como es el daño por plagas, lo cual reduce y limita su productividad, por tanto, esto amenaza la producción de alimentos seguros. El desarrollo de nanopartículas metálicas presenta mecanismos de acción contra plagas a través de la generación de ROS; las plagas no desarrollan resistencia a estas especies debido a su corto periodo de vida media (de 2  $\mu$ s a 4  $\mu$ s) y su gran capacidad de generar daños en ese intervalo de tiempo a moléculas de gran importancia metabólica. El uso de NPs sugiere una alternativa de control de estos patógenos agrícolas, no obstante, se necesitan estudios que detallen la interacción de estas partículas en diversos compartimentos ambientales, así como los posibles efectos adversos en determinados umbrales.

## Referencias bibliográficas

- Cai, L., Liu, C., Fan, G., Liu, C., & Sun, X. (2019). Preventing viral disease by ZnONPs through directly deactivating TMV and activating plant immunity in *Nicotiana benthamiana*. *Environmental Science: Nano*. doi:10.1039/c9en00850k.
- Casadevall, A. (2018). *Melanin triggers antifungal defences*. *Nature*, 555(7696), 319–320. doi:10.1038/d41586-018-02370-x
- Derbalah, A., Elsharkawy, M. M., Hamza, A., & El-Shaer, A. (2019). Resistance induction in cucumber and direct antifungal activity of zirconium oxide nanoparticles against *Rhizoctonia solani*. *Pesticide biochemistry and physiology*. doi:10.1016/j.pestbp.2019.03.018
- El-DougDoug, Noha K., Bondok A.M. and El-DougDoug K. A. (2018). Evaluation of silver nanoparticles as antiviral agent against ToMV and PVY in Tomato Plants. *Middle east journal of applied sciences*. 8(1): 100–111. ISSN 2077-4613
- Estrada-Monje, Anayansi. Zitzumbo-Guzmán, Roberto. Bañuelos-Díaz Jennifer A. Zaragoza-Contreras, E. Armando. (2019). Ultrasonic dispersion and activation of TiO<sub>2</sub> nanoparticles and its effect on bacterial inhibition in EVA films. *Materials Chemistry and Physics*. 235(), 121760-. DOI: 10.1016/j.matchemphys.2019.121760.
- Gob.mx. (2020). Retrieved 24 August 2020, from <https://www.gob.mx/tramites/ficha/licencia-sanitaria-para-establecimiento-de-plaguicidas-y-nutrientes-vegetales/COFEPRIS3540>
- Hawkins, N. J., Bass, C., Dixon, A., & Neve, P. (2018). The evolutionary origins of pesticide resistance. *Biological Reviews*. doi:10.1111/brv.12440
- Jacobson, K., Gunsolus, I., Kuech, T.; Troiano, J., Melby, E., Lohse, S., Hu, D., Chrisler, W., Murphy, C., Orr, G., Geiger, F., Haynes, C., & Pedersen, J. (2015) Lipopolysaccharide density and structure governs the extent and distance of nanoparticle interaction with actual and model bacterial outer membranes. *Environmental science & technology, in press*. doi: 10.1021/acs.est.5b01841
- Kharissova, O.V., et al., The greener synthesis of nanoparticles. *Trends in Biotechnology*, 2013. 31(4): p. 240–248.
- Król A., Pomastowski P., Rafińska K., Railean-Plugaru V., Buszewski B., (2017). Zinc oxide nanoparticles: Synthesis, antiseptic activity and toxicity mechanism. *Advances in colloid and interface science* 249 (2017) 37–52. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cis.2017.07.033>
- Kumar, S. (2013). Mode of action of pesticides and the novel trends – A critical review. *International research journal of agricultural science and soil science* (ISSN: 2251-0044) Vol. 3(11) pp. 393–401, DOI: <http://dx.doi.org/10.14303/irjas.2013.118>
- Lohse, S. E.; Abadeer, N. S.; Zoloty, M.; White, J. C.; Newman, L. A.; Murphy, C. J. (2017). Nanomaterial probes in the environment: Gold nanoparticle soil retention and environmental stability as a function of surface chemistry. *ACS sustainable chemistry & engineering*, 5(12), 11451–11458.
- Li, Z. (2018). A health-based regulatory chain framework to evaluate international pesticide groundwater regulations integrating soil and drinking water standards. *Environment International*. doi:10.1016/j.envint.2018.10.047.
- MacWilliam, L., MacWilliam, A., & Gies, G. (2015). *Guía comparativa de suplementos nutricionales de Nutriserch™ para las Américas*. Vernon, B.C.: Northern Dimensions Publishing.
- Makarova, V.V., Love, A. J., Sinitsyna, O. V., Makarova, S. S., Yaminsky, I. V., Talliansky, M. E., Kalinina, N.

- O. [2014]. “Green” Nanotechnologies: Synthesis of metal nanoparticles using plants. *Acta Nature*. 6(1): p. 35–44.
- Malandrakis, A., Kavroulakis, N., & Chrysikopoulos, C. [2019]. Use of copper, silver and zinc nanoparticles against foliar and soil-borne plant pathogens. *Science of the total environment*, 670, 292–299. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.03.210
- Mensch, Arielle C., Rodrigo Tapia Hernandez, Joshua E. Kuether, Marco D. Torelli, Z. Vivian Feng, Robert J. Hamers, and Joel A. Pedersen. [2017]. Natural Organic Matter Concentration Impacts the Interaction of Functionalized Diamond Nanoparticles with Model and Actual Bacterial Membranes. *Environmental Science & Technology*, 51, 19: 11075–11084. doi: 10.1021/acs.est.7b02823
- Narendhran S. and Sivaraj, rajeshwari. [2016]. Biogenic ZnO nanoparticles synthesized using *L. aculeata* leaf extract and their antifungal activity against plant fungal pathogens. *Indian academy of sciences*. Vol. 39, No. 1, pp. 1–5.
- Navas, Isabel y García-Fernández, Antonio J. [2020]. *Plaguicidas y biocidas: generalidades, clasificación toxicológica y de riesgos, legislación europea aplicable*. <http://hdl.handle.net/10201/88181>
- Noshad, A., Iqbal, M., Hetherington, C., Wahab H. [2020]. Biogenic AgNPs—A Nano Weapon against Bacterial Canker of Tomato (BCT). *Advances in agriculture*, <https://doi.org/10.1155/2020/9630785>
- Paramo, L. A., Feregrino-Pérez, A. A., Guevara, R., Mendoza, S., & Esquivel, K. [2020]. Nanoparticles in agroindustry: Applications, toxicity, challenges, and trends. *Nanomaterials*, 10(9), 1654. doi:10.3390/nano10091654
- Raghunath, A., & Perumal, E. [2017]. Metal oxide nanoparticles as antimicrobial agents: a promise for the future. *International journal of antimicrobial agents*, 49(2), 137–152. doi:10.1016/j.ijantimicag.2016.11.011
- Rojas Avelizapa, N. G., Regalado Infante, P. E., Dávila Lezama, M. del R., Larena Hernández, R. C., & Rojas Avelizapa, L. I. [2020]. Actividad antimicrobiana de nanopartículas de plata contra bacterias fitopatógenas. *Revista biológico agropecuaria Tuxpan*, 8(2), 1–7. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v8i2.173>
- Sánchez, J., Pérez-sánchez, M., Gómez-olivares, J.L., López-durán, R.M., Montiel-González, J.M., Valencia-Sánchez, R.A., Muñoz-Nava, H., Pérez, G.A., Valencia-Quintana R. [2017]. Inducción de micronúcleos en células meristemáticas de la raíz de Vicia faba tratadas con diferentes concentraciones de marvel®. *Revista tnternacional de contaminación ambiental [especial sobre contaminación y toxicología por plaguicidas (CTP) 95–106*, 2018. DOI: 10.20937/RICA.2018.34.esp01.07
- Sánchez-Bayo, F., Goulson, D., Pennacchio, F., Nazzi, F., Goka, K., & Desneux, N. [2016]. Are bee diseases linked to pesticides? – A brief review. *Environment international*, 89–90, 7–11. doi:10.1016/j.envint.2016.01.009.
- Singh, A., Singh, N. B., Afzal, S., Singh, T., & Hussain, I. [2017]. Zinc oxide nanoparticles: a review of their biological synthesis, antimicrobial activity, uptake, translocation and biotransformation in plants. *Journal of materials science*, 53(1), 185–201. doi:10.1007/s10853-017-1544-1
- Sirelkhatim, A., Mahmud, S., Seeni, A., Kaus, N. H. M., Ann, L. C., Bakhori, S. K. M., ... Mohamad, D. [2015]. Review on zinc oxide nanoparticles: Antibacterial activity and toxicity mechanism. *Nano-Micro Letters*, 7(3), 219–242. doi:10.1007/s40820-015-0040-x
- Vecitis, C. [2021]. Antiviral-nanoparticle interactions and reactions. *Environmental science: nano*. DOI: 10.1039/D0EN00980F.
- Wang, Xiaoshuang; Xu, Jing; Wang, Xingmin; Qiu, Baoli; Cuthbertson, Andrew G S; Du, Cailian; Wu, Jianhui; Ali, Shaukat. [2019]. Isaria fumosorosea-based zero-valent iron nanoparticles affect the growth and survival of sweet potato whitefly, Bemisia tabaci (Gennadius). *Pest management science*, p. 2174–2181. <https://doi.org/10.1002/ps.5340>





## TERMOGRAFÍA INFRARROJA PASIVA APLICADA A SISTEMAS DE DETECCIÓN DE FALLAS: UNA REVISIÓN.

## PASSIVE INFRARED THERMOGRAPHY APPLIED TO FAULT DETECTION SYSTEMS: A REVISION

Espinoza-Del Angel Cinthia <sup>1</sup>, Femat-Díaz Aurora <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, Cerro de las Campanas S/N Col. Las Campanas. Querétaro, México

\* Autor de correspondencia, correo: : [afemat@uaq.mx](mailto:afemat@uaq.mx)

### Resumen

En este artículo se presenta una revisión de la metodología utilizada en termografía infrarroja pasiva como una herramienta de monitoreo de condición. El enfoque se establece a tres tipos de aplicaciones industriales, eléctrica, electrónica y mecánica. Se discuten conceptos básicos y los dispositivos en los que se ha aplicado, y se estudian los métodos más usados para mejorar la inspección utilizando análisis termográfico. El trabajo destaca los factores técnicos que afectan la calidad de la imagen, y el proceso de decisión del clasificador. También se presenta una comparación de los espacios de color, los métodos de reducción de características y los clasificadores más utilizados en los últimos años.

Palabras clave: *Análisis de fallas, imagen térmica, sistemas de fallas, termografía pasiva.*

### Abstract

*This article presents a review of the methodology used in passive infrared thermography as a condition monitoring tool. It focuses on three types of industrial applications, electrical, electronic, and mechanical. Basic concepts and the devices in which it has been applied are discussed, and the most used methods to improve inspection using thermographic analysis are studied. The work highlights the technical factors that affect image quality and the classifier's decision process. A comparison of color spaces, feature reduction methods, and classifiers most used in recent years is also presented.*

*Keywords:* : Failure analysis, thermal image, fault detection systems, passive thermography.

## 1. Introducción

Los sistemas de detección de fallas permiten la ubicación e identificación del mal funcionamiento de un dispositivo o componente (Sanchez-Londono, 2021); en la industria se utilizan principalmente en aplicaciones eléctricas, electrónicas y mecánicas (Osornio-Rios et al., 2019). Su objetivo es evitar tiempos de inactividad no planificados y pérdidas financieras, por lo que es vital contar con un sistema eficiente para garantizar la calidad de los productos (Choudhary et al., 2021; Zhang y Fjeld, 2020). Los métodos tradicionales utilizan medición de parámetros eléctricos o de vibración (Glowacz y Glowacz, 2017; Rauber et al., 2021; Suguna et al., 2016; Wronkowicz, 2016).

En los últimos años se ha popularizado el uso de termografía infrarroja (TI) para el diagnóstico y monitoreo sin contacto, ya sea de materiales, componentes o equipos; lo que permite observar la distribución de temperatura con el objetivo de identificar áreas en donde existen problemas potenciales (Muralidhar y Reddy, 2014; Olivatti et al., 2018). Su principal aplicación radica en dispositivos donde el factor térmico es crucial para su desempeño y confiabilidad, como en componentes electrónicos, motores o transformadores. Esto debido a que el calor producido por cada dispositivo depende de la energía que consume (Ahmed et al., 2015), y cuando se genera en exceso advierte sobre inconvenientes (Maciel et al., 2017; Olivatti et al., 2018).

La TI ha demostrado ser eficiente en la detección de fallas, pero la precisión de la técnica depende del conocimiento y la capacitación del usuario en la interpretación de los datos de la imagen. Este artículo reúne contribuciones recientes de la termografía infrarroja pasiva para diversas aplicaciones eléctricas, electrónicas y mecánicas. También analiza la diferencia

entre los métodos más utilizados para clasificación, extracción y reducción de características. Con esto, el lector podrá identificar tendencias, oportunidades y desafíos para el desarrollo de sistemas que utilizan termogramas.

## 2. Termografía infrarroja

La termografía infrarroja utiliza una cámara mediante la cual se detecta la radiación emitida por un cuerpo (Ahmed et al., 2015; Kurukuru et al., 2019b). Su espectro se puede dividir en tres regiones de infrarrojo, cercano ( $0,75 \mu\text{m}$  a  $1,5 \mu\text{m}$ ), medio ( $1,5 \mu\text{m}$  a  $20 \mu\text{m}$ ) y lejano ( $20 \mu\text{m}$  a  $1000 \mu\text{m}$ ) (Bagavathiappan et al., 2013; Vollmer y Möllmann, 2018). Las cámaras térmicas suelen alcanzar un rango de  $7,5 \mu\text{m}$  a  $14 \mu\text{m}$ , su función es convertir la cantidad de radiación en una aproximación a la temperatura del objeto que se muestra en una imagen llamada termograma (Gyorok y Beszedes, 2019; Liu y Jiang, 2013; Olivatti et al., 2018; Wronkowicz, 2016).

La TI se puede clasificar en activa y pasiva (Kimande et al., 2021; Sanati et al., 2018). La activa utiliza un estímulo externo para generar calor en un objeto que no puede producirlo, y se usa para conocer la degradación de un material (Aghaei et al., 2015; Salazar y Macabebe, 2016). Las técnicas más populares para producir este estímulo son inducción, vibración, fase pulsada y corriente parásita (Aghaei et al., 2015; Vollmer y Möllmann, 2018). El proceso para el uso de la termografía activa se muestra en la Figura 1, donde se puede ver que se aplica una fuente de calor externa sobre el objeto y se mide la radiación emitida por este con la cámara, para luego identificar los defectos en la pieza inspeccionada a través de técnicas de procesamiento de imágenes.

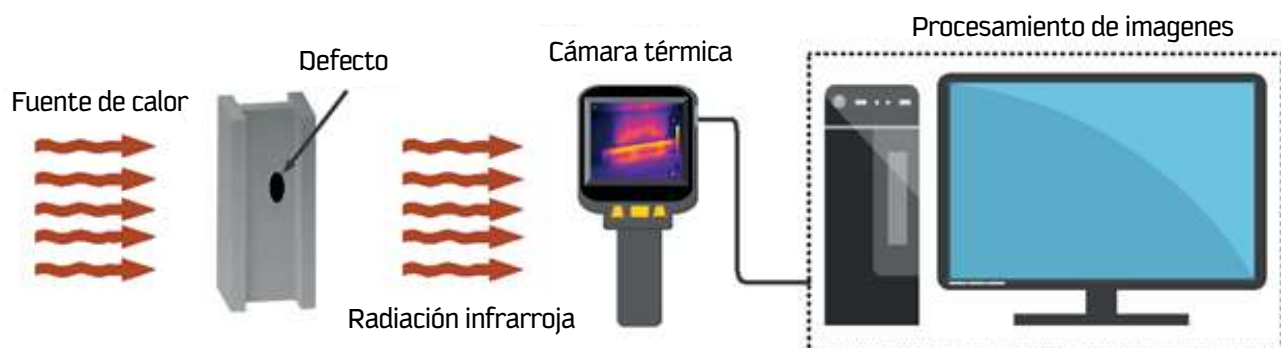


Figura 1. TI activa para la detección de degradación en materiales (Elaboración propia). Imagen térmica por Prc1333 (Prc1333, 2010).



En el modo pasivo, el dispositivo de investigación genera calor por conducción, convección o por radiación, y la termografía

se utiliza para monitorear su funcionamiento, como se observa en la Figura 2 (Alajmi et al., 2019; Olivatti et al., 2018).



**Figura 2.** TI pasiva para el monitoreo de condición de un dispositivo que funciona con corriente eléctrica (Elaboración propia). Imagen térmica por OzAdrian (OzAdrian, 2012).

En ambos tipos de termografía se puede realizar análisis cualitativo y cuantitativo. En el cualitativo se comparan dos imágenes para localizar anomalías; una pertenece al objeto con falla, y la otra al objeto en condiciones normales. En el cuantitativo, la medida de temperatura representada en la imagen se utiliza como criterio para determinar la gravedad de un problema y así establecer un diagnóstico (Jadin et al., 2014; Lopez-Perez y Antonino-Daviu, 2017; Redon et al., 2017).

### 3. Aplicaciones industriales de la TI pasiva para el diagnóstico y monitoreo de fallas

La TI pasiva se ha utilizado en aplicaciones eléctricas tales como instalaciones residenciales e industriales (Dutta et al., 2016; Kostic et al., 2021; Palimkar y Bhole, 2016), reóstatos (Dutta et al., 2019), transformadores (Kimande et al., 2021; Maciel et al., 2017; Wang y Zhao, 2019), subestaciones (Ullah et al., 2017), pararrayos (Novizon y Abdul-Malek, 2016) y líneas de transmisión (Hui y Fuzhen, 2015; Kim et al., 2021). En estos trabajos se han identificado pérdidas de energía por aislamiento inadecuado, puntos calientes, sobrecargas, conexiones defectuosas, entre otros. Otra aplicación es el uso de paneles solares, donde se ha utilizado para observar la degradación y ubicación de puntos calientes (Gallardo-saavedra et al., 2019; Kumar et al., 2017; Niazi et al., 2019). En el campo de las aplicaciones electrónicas se han

realizado pocos estudios, la principal aplicación ha sido en componentes montados en placas de circuito impreso (PCB, por sus siglas en inglés) (Al-Obaidy et al., 2017b; Laxmi, 2021; Petrosyants et al., 2016). En estas se ha medido la radiación emitida por circuitos integrados (Akole y Kulkarni, 2016; Al-Obaidy, 2016; Andonova et al., 2014), diodos (Stoynova et al., 2018), transistores (Chen et al., 2018), y condensadores (Mahfurdz et al., 2020; Sun et al., 2019). Se detectaron cortocircuitos, polaridad inversa, componentes faltantes, sobretensión y defectos de PCB (Alaoui et al., 2019; Sarawade y Charniya, 2019).

En las aplicaciones mecánicas sus usos más comunes son la identificación de fallas en motores de inducción, como desequilibrio, desalineación o lubricación inadecuada del rodamiento, sobrecarga o anillo de jaula de ardilla defectuoso (Choudhary et al., 2021; Glowacz et al., 2017; Khamisan et al., 2015; Resendiz-Ochoa et al., 2020; Sanchez-Londono, 2021). También se ha aplicado en radiadores para localizar condiciones como aletas obstruidas, conexión floja entre aletas y tubos, falla de la puerta del radiador y fugas de refrigerante (Taheri-Garavand et al., 2015). Otro componente que se ha analizado es el rotor, detectando defectos como desalineación del eje, desbalance del acoplamiento y aflojamiento de la base (Duan et al., 2016). Por último, se ha utilizado en motores de corriente continua (CC) para identificar cortocircuitos y desgaste de engranajes (Glowacz y Glowacz, 2016).

## 4. Metodología de los sistemas de detección de fallas basados en TI

En general, la metodología de un sistema de detección de fallas implica las siguientes etapas, adquisición de

imágenes, preprocesamiento, extracción y reducción de características, y un método de clasificación, como se muestra en la Figura 3.

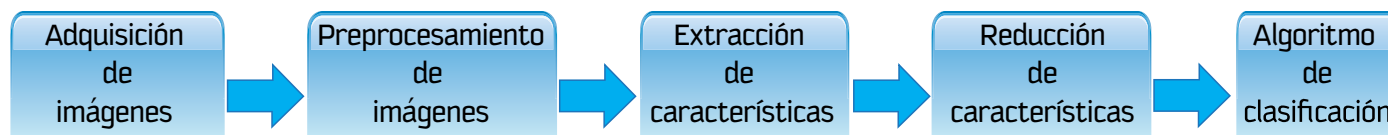


Figura 3. Diagrama de flujo del sistema de detección basado en TI (Elaboración propia).

### 4.1. Adquisición de imágenes

La calidad de las imágenes depende de diversos factores, los principales son la cámara, la distancia de captura y la emisividad. La elección de la cámara debe hacerse en función del rango de temperatura del dispositivo a monitorear (FLIR Systems Inc., 2018). La distancia entre el objeto y la cámara se relaciona con la resolución y la precisión de la medición (Nunak et al., 2015; Playà-Montmany y Tattersall, 2021). Para determinarla se calcula el campo de visión instantáneo

(IFOV, por sus siglas en inglés), con el objetivo de establecer el tamaño del objeto más pequeño que puede ser detectado. El IFOV se representa como una proyección angular de un único pixel, como se muestra en la Figura 4, y se calcula con la Ecuación 1, donde  $d$  es el tamaño del detector y  $f$  es el ángulo focal. Una vez que se ha especificado, se utiliza la Ecuación 2 para calcular el tamaño más pequeño que puede medirse (Dziarki et al., 2019; FLIR Systems Inc., 2016, 2018b; Gyorok y Beszedes, 2019).

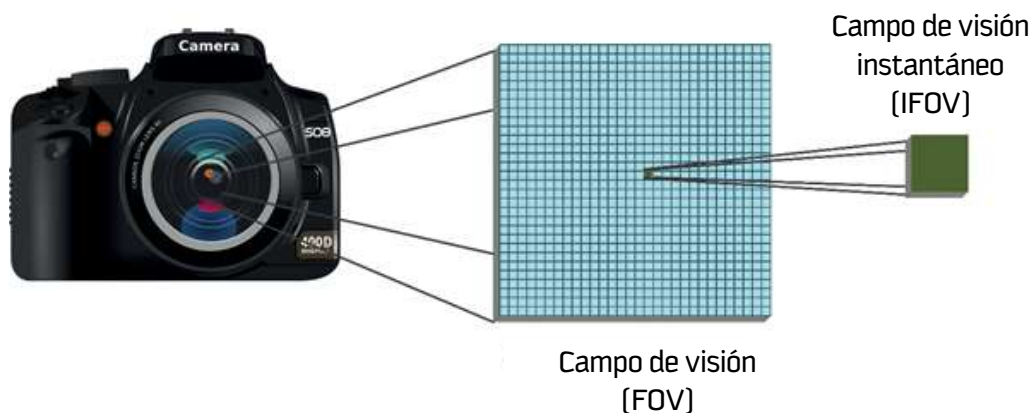


Figura 4. Representación del campo de visión instantáneo (Elaboración propia).

$$IFOV = 2 * \arctan \left( \frac{d}{2 * f} \right) \quad [1]$$

$$IFOV [mm] = \left( \frac{IFOV}{1000} \right) \text{ distancia al objetivo} \quad [2]$$

Un aspecto fundamental que hay que considerar es la emisividad ( $\epsilon$ ), esta define la relación entre dos radiaciones, una proveniente de la superficie ( $N_{\lambda T}$ ) y

la otra del objeto ( $E_b$ ). Se evalúa con la Ecuación 3 y su valor se establece en un rango de 0 a 1, depende del material, la longitud de onda, el ángulo y la dirección del campo de visión (Akole y Kulkarni, 2016; Rakrueangdet et al., 2016; Vollmer y Möllmann, 2018). Cuando se tiene una emisividad igual a 1, el objeto se considera un radiador perfecto o cuerpo negro. Para tener una medición de temperatura precisa la emisividad debe

compensarse [Resendiz-Ochoa et al., 2018], algunos métodos utilizados para reducirla son la aplicación de cinta, pintura o líquido corrector blanco [Mamchur et al., 2020; Wargulski et al., 2020]. En ningún caso el valor de emisividad debe tomarse como constante [Pavel et al., 2019].

$$\varepsilon = \left( \frac{N_{\lambda T}}{E_b} \right) \quad [3]$$

#### 4.2. Preprocesamiento de imágenes

Esta etapa tiene como objetivo preparar el contenido de la imagen para la extracción de características. Las técnicas más utilizadas en el análisis termográfico son la conversión entre espacios de color, filtros para reducir el ruido, métodos para mejorar el contraste y la nitidez de la imagen, y la segmentación de la región de interés (ROI, por sus siglas en inglés).

Tras la captura de las imágenes térmicas se puede presentar ruido que afecta la calidad y precisión de los datos cuantitativos [Aghaei et al., 2015]. Para suprimir estas frecuencias se utilizan técnicas de filtrado como gaussiano, conservación de bordes, mediana, Wiener y combinación de bloques. El filtro gaussiano es usado para eliminar efectos de ruido específicos, pero reduce la nitidez de la imagen. El filtro de conservación de bordes suaviza la apariencia de la imagen y reduce el desenfoque en los bordes [Alajmi et al., 2019]. El filtro de mediana se utiliza por su eficacia para eliminar ruido "sal y pimienta" [Al-Obaidy et al., 2017a; Pal et al., 2018]. El filtro Wiener se aplica para ruido aditivo y desenfoque de la imagen. Finalmente, la combinación de bloques y filtrado 3-D (BM3D, por sus siglas en inglés) elimina ruido sal y pimienta y efectos de desenfoque. [Al-Obaidy et al., 2017a,b].

Un estudio realizado por Al-Obaidy et al. evaluó el rendimiento de diferentes métodos de reducción de ruido. Se tomaron como referencia los factores de relación pico señal/ruido (PSNR, por sus siglas en inglés) y relación señal/ruido (SNR, por sus siglas en inglés), determinando que los filtros de mediana y BM3D son los que obtienen el mejor rendimiento [Al-Obaidy et al., 2017a]. La SNR se puede determinar usando la Ecuación 4, donde  $P_s$  es la potencia de la señal y  $P_n$  es la potencia del ruido [Sanati et al., 2018].

$$SNR = \left( \frac{P_s}{P_n} \right) \quad [4]$$

Una vez mejorada la calidad de la imagen hay que seleccionar un espacio de color. Estos son una especificación de un sistema de coordenadas en el que cada color está representado por un único punto contenido en su interior, como se aprecia en la Figura 5 [Gonzalez y Woods, 2008]. Su propósito es facilitar y estandarizar la forma en la que se representa el color en una aplicación específica. Hay varios espacios de color como RGB (Red, Green y Blue); HSI (Hue, Saturation y Intensity); HSV (Hue, Saturation y Value); CMY (Cian, Magenta y Yellow) y CIE L\*a\*b (Commission Internationale de l'Éclairage L\*a\*b). Las siglas de los cuatro primeros provienen del inglés y las del último en francés [Khamisan et al., 2015; Rhyne, 2017].

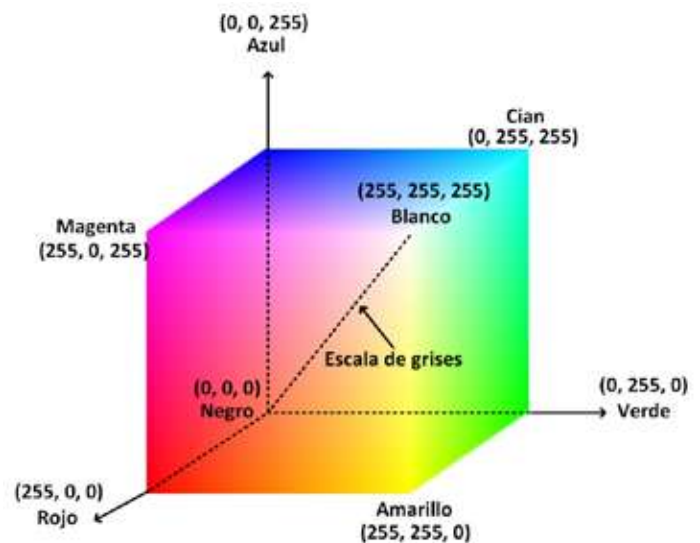


Figura 5. Representación matemática del espacio de color RGB [Elaboración propia].

Las cámaras termográficas obtienen imágenes RGB de forma predeterminada, algunos autores mantienen este formato porque lo consideran ideal para extraer características de una imagen termográfica [Akole y Kulkarni, 2016; Chellamuthu y Sekaran, 2019; Khamisan et al., 2015]. Otros justifican el uso de la escala de grises para crear algoritmos más rápidos, pero en esta transformación la pérdida de información debe ser considerada por la conversión de tres canales a uno [Kurukuru et al., 2019b; Resendiz-Ochoa et al., 2020]. También se ha empleado el espacio CMY, pero no se justificó su uso [Glowacz y



Glowacz, 2016, 2017). Los espacios HSI, HSV y CIE L\*a\*b se han utilizado porque aproximan los colores a los que la visión humana puede apreciar (Al-Musawi et al., 2020; Haider et al., 2018; Mahfurdz et al., 2020). De los modelos anteriores, el espacio RGB y la escala de grises son los más utilizados (Al-Musawi et al., 2020; Dutta et al., 2016; Huda y Taib, 2013a, b; Hui y Fuzhen, 2015; Kurukuru et al., 2019b).

Después de elegir un espacio de color, se procede a la extracción de la ROI para seleccionar el área con mayor distribución de temperatura. Esto se puede hacer separando el primer plano de la imagen del fondo, agrupando los píxeles de acuerdo a su similitud de color, o por la forma de los componentes (Palimkar y Bhole, 2016; Schuss et al., 2021). Las técnicas de segmentación más utilizadas son Otsu, Roberts, Prewitt, Canny y Sobel (Dutta et al., 2016; Haider et al., 2018; Kurukuru et al., 2019b). De estas, el método de Otsu calcula el umbral óptimo para separar los píxeles en dos clases, considerando la máxima desviación estándar entre las clases (Hinojosa et al., 2018) y los otros delimitan los bordes del objeto de interés para separarlo del resto (Kurukuru et al., 2019b). En 2016, Dutta et al. compararon los métodos de Otsu, Roberts, Prewitt y Sobel basándose en las métricas del error cuadrático medio (MSE, por sus siglas en inglés) y la PSNR, concluyeron que de los cuatro Sobel y Otsu son los que mejor se desempeñan (Dutta et al., 2016). Por otro lado, Duan y colaboradores demostraron que si no se considera la segmentación de la ROI se puede perder hasta un 6% de la precisión (Duan et al., 2016).

#### 4.3. Extracción de características

En el análisis térmico cuantitativo, a partir de la extracción de características se identifica el estado o condición del dispositivo. (Khamisan et al., 2015) Para esto se pueden utilizar métodos matemáticos de álgebra lineal, operaciones aritméticas, lógica binaria, geometría, ecuaciones diferenciales, probabilidad, estadística, etc. (Gonzalez y Woods, 2008).

Muchas investigaciones utilizan descriptores estadísticos de primer y segundo orden, como media, desviación estándar, asimetría, curtosis, entropía y energía (Dutta et al., 2019; Hui y Fuzhen, 2015; Novizon y Abdul-Malek, 2016; Resendiz-Ochoa et al., 2020).

Otra forma de extraer características es identificando relaciones espaciales entre los niveles de color de los píxeles de la imagen, a través de la matriz de co-ocurrencia. A partir de esta última se calculan parámetros como contraste, correlación, homogeneidad y entropía (Huda y Taib, 2013a; Kurukuru et al., 2019a,b; Liu et al., 2019).

#### 4.4. Reducción de características

En este proceso se seleccionan las características más relevantes relacionadas con la falla del dispositivo. Se recomienda utilizar tres como máximo porque un número mayor puede provocar un algoritmo lento y pérdida de precisión en el clasificador (Al-Obaidy et al., 2017; Dutta et al., 2019).

El método más utilizado para reducir la dimensión de las variables es el análisis de componentes principales (ACP). Es una técnica multivariante que permite transformar un conjunto de variables en componentes no correlacionados, los cuales son ordenadas en función de su varianza (Mehta et al., 2021; Ng, 2017; Shereena y David, 2015). Otro método comúnmente utilizado es el análisis discriminante lineal (LDA, por sus siglas en inglés) (Choudhary et al., 2021; Mehta et al., 2021; Resendiz-Ochoa et al., 2020). En este la selección se obtiene maximizando la varianza entre clases y minimizando la distancia dentro de ellas (Anaya-Isaza et al., 2016; Shereena y David, 2015; Tharwat et al., 2017). Estudios comparativos entre ambas técnicas han concluido que el ACP funciona mejor para reducir dimensiones y el LDA como clasificador (Anaya-Isaza et al., 2016; Shereena y David, 2015).

#### 4.5. Algoritmo de clasificación

Un algoritmo de clasificación asigna una clase a un objeto en función de la correlación de sus características, su patrón de reconocimiento puede ser supervisado o no supervisado (Aujeszky et al., 2017; Sharma y Kaur, 2013). En el aprendizaje supervisado las funciones se aprenden del historial de datos y se asigna una etiqueta por una relación entre las variables de entrada y salida. En el no supervisado sólo se dispone de datos de entrada y su objetivo es incrementar el conocimiento estructural (Batta, 2020; Saravanan y Sujatha, 2018). Los métodos de clasificación más usados se basan en estadística, redes neuronales, árboles de decisión y máquinas de vectores

de soporte [Lo et al., 2019; Paolanti y Frontoni, 2020].

En los últimos años se ha observado una tendencia creciente en el uso de algoritmos de inteligencia artificial, el más explorado en el reconocimiento de patrones térmicos es la red neuronal artificial perceptrón multicapa (MLP, por sus siglas en inglés). Su rango de precisión está entre el 74,25% y el 97,84% [Jadin et al., 2015; Olivatti et al., 2018; Taheri-Garavand et al., 2015; Ullah et al., 2020]. Este clasificador obtiene un máximo rendimiento cuando se utiliza en combinación con un algoritmo genético (AG) para la reducción de características [Huda y Taib, 2013a; Taheri-Garavand et al., 2015].

La máquina de vector de soporte (SVM, por sus siglas en inglés) es el segundo método de clasificación más utilizado y puede tener un rango de precisión del 85,67% al 98,90% [Duan et al., 2016; Hui y Fuzhen, 2015; Mehta et al., 2021; Ullah et al., 2020; Yang et al., 2016;]. Estudios comparativos entre MLP y SVM han concluido que este último se desempeña mejor al otorgar una condición de falla, también demostró mejor desempeño que los clasificadores estadísticos Naive Bayes (NB) y k vecinos más cercanos (K-NN, por sus siglas en inglés) [Duan et al., 2016; Jadin et al., 2014; Olivatti et al., 2018; Umair et al., 2020]. Otros estudios mostraron que el sistema adaptativo de inferencia neuro-difusa (ANFIS, por sus siglas en inglés) y el bosque de decisión aleatorio (RDF, por sus siglas en inglés) eran superiores al SVM [Al-Obaidy et al., 2017b; Ullah et al., 2020].

## Conclusiones

El uso de TI puede proporcionar información útil para garantizar la integridad y la confiabilidad de un dispositivo y evitar fallas prematuras en estos, pero es necesario que la técnica se aplique considerando diferentes características para ser eficaz y reproducible.

En la captura de la imagen, el análisis térmico puede ser influenciado por factores como el ángulo de visión instantáneo, el ajuste de la emisividad y la relación entre la selección de la cámara y los rangos de temperatura del objeto de estudio. Estos factores deben ser considerados antes de iniciar un proceso de identificación de fallas para evitar que la calidad de la imagen se vea afectada para su posterior análisis.

Para identificar patrones de comportamiento de fallas en imágenes térmicas, la elección del espacio debe estar justificada porque antecede a la extracción y selección de características en el proceso de identificación. Una vez determinado el modelo de color, se pueden utilizar métodos estadísticos para eliminar las variables irrelevantes del algoritmo de clasificación y así mejorar su precisión y rendimiento computacional.

El uso de técnicas de inteligencia artificial se ha convertido en un factor clave para el desarrollo de sistemas de detección de fallas, debido a su alta precisión de detección y aprendizaje autónomo. Sin embargo, para alcanzar su máximo rendimiento es importante considerar la reducción de variables de entrada y el uso de gran cantidad de datos para su implementación.

## Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por financiar este trabajo a través del "Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC)" con la beca escolar 1033981.

## Referencias bibliográficas

- Aghaei, M., Gandelli, A., Grimaccia, F., Leva, S., y Zich, R. E. (2015). IR real-time analyses for PV system monitoring by digital image processing techniques. *Proceedings of 1st International Conference on Event-Based Control, Communication and Signal Processing, EBCCSP 2015*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/EBCCSP.2015.7300708>
- Ahmed, M. M., Huda, A. S. N., y Mat Isa, N. A. (2015). Recursive construction of output-context fuzzy systems for the condition monitoring of electrical hotspots based on infrared thermography. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 39, 120-131. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2014.11.010>
- Akole, S. S., y Kulkarni, V. B. (2016). Thermal analysis of active electronic component with thermal imaging. *Association for Computing Machinery International Conference Proceeding Series*, 37, 1-6. <https://doi.org/10.1145/2905055.2905095>

- Al-Musawi, A. K., Anayi, F., y Packianather, M. [2020]. Three-phase induction motor fault detection based on thermal image segmentation. *Infrared Physics and Technology*, 104, 103140. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2019.103140>
- Al-Obaidy, F. [2016]. *IC Testing using thermal image Based on intelligent classification methods*. November 1999.
- Al-Obaidy, F., Yazdani, F., y Mohammadi, F. A. [2017]. Intelligent testing for Arduino UNO based on thermal image. *Computers and Electrical Engineering*, 58, 88-100.
- Al-Obaidy, F., Yazdani, F., y Mohammadi, F. A. [2017]. Fault detection using thermal image based on soft computing methods: Comparative study. *Microelectronics Reliability*, 2-10. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2017.02.013>
- Alajmi, M., Awedat, K., Aldeen, M. S., y Alwagdani, S. [2019]. IR thermal image analysis: An efficient algorithm for accurate hot-spot fault detection and localization in solar photovoltaic systems. *IEEE International Conference on Electro Information Technology*, 2019-May, 162-168. <https://doi.org/10.1109/EIT.2019.8833855>
- Alaoui, N. E. B., Cassou, A., Tounsi, P., Boyer, A., y Viard, A. [2019]. Using infrared thermal responses for PCBA production tests: Feasibility study. *Microelectronics Reliability*, 100-101(June), 113354. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2019.06.046>
- Anaya-Isaza, A. J., Peluffo-Ordoñez, D. H., Alvarado-Pérez, J. C., Ivan-Rios, J., Castro-Silva, J. A., Rosero-Montalvo, P. D., Peña-Unigarro, D. F., C., J. S.-C. A., y Umaquina-Criollo, A. C. [2016]. Estudio comparativo de métodos espectrales para reducción de la dimensionalidad: LDA versus PCA . Comparative study between spectral methods for dimension reduction LDA versus PCA. *INCISCOS 2016 International Conference on Information Systems and Computer Science, November*.
- Andonova, A., Angelov, G., y Chernev, P. [2014]. Diagnostics of packaged ICs By infrared thermography. *Proceedings of the 2014 37th International Spring Seminar on Electronics Technology*, ISSE 2014, 261-266. <https://doi.org/10.1109/ISSE.2014.6887605>
- Aujeszky, T., Korres, G., y Eid, M. [2017]. Thermography-based material classification using machine learning. *2017 IEEE International Symposium on Haptic, Audio and Visual Environments and Games (HAVE)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/HAVE.2017.8240344>
- Bagavathiappan, S., Lahiri, B. B., Saravanan, T., Philip, J., y Jayakumar, T. [2013]. Infrared thermography for condition monitoring - A review. *Infrared Physics and Technology*, 60, 35-55. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2013.03.006>
- Batta, M. [2020]. Machine Learning Algorithms: A Review. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 9(1), 1174-1179. <https://doi.org/10.21275/ART20203995>
- Chellamuthu, S., y Sekaran, E. C. [2019]. Fault detection in electrical equipment's images by using optimal features with deep learning classifier. *Multimedia Tools and Applications*, 78(19), 27333-27350. <https://doi.org/10.1007/s11042-019-07847-z>
- Chen, D., Liu, Y., Zhang, W., Zheng, M., y Zhang, S. [2018]. Detection of IGBT degradation in NPC inverter based on infrared thermography. *Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering*, 18(2), 459-468. <https://doi.org/10.3233/JCM-180801>
- Choudhary, A., Goyal, D., y Letha, S. S. [2021]. Infrared Thermography-Based Fault Diagnosis of Induction Motor Bearings Using Machine Learning. *IEEE Sensors Journal*, 21(2), 1727-1734. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.3015868>
- Duan, L., Yao, M., Wang, J., Bai, T., y Zhang, L. [2016]. Segmented infrared image analysis for rotating machinery fault diagnosis. *Infrared Physics and Technology*, 77, 267-276. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2016.06.011>
- Dutta, T., Santra, D., Peng-Lim, C., Sil, J., y Chottopadhyay, P. [2019]. Statistical Feature Analysis of Thermal Images from Electrical Equipment. *Springer Singapore*. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-0860-4>
- Dutta, T., Sil, J., y Chottopadhyay, P. [2016]. Condition Monitoring of Electrical Equipment using Thermal

- Image Processing. *IEEE First International Conference on Control, Measurement and Instrumentation (CMI)*, Cmi, 311-315. <https://doi.org/10.1109/CMI.2016.7413761>
- Dziarki, K., Hulewicz, A., y Krawiecki, Z. (2019). Selection of the size of field of view in thermal imaging observations of small areas. *ITM Web of Conferences*, 28, 01040. <https://doi.org/10.1051/itmconf/20192801040>
- FLIR Systems Inc. (2016). Temperature guns versus thermal imaging thecnology. *FLIR Systems Inc.* <https://www.flir.com/discover/rd-science/temperature-guns-versus-thermal-imaging-technology/>
- FLIR Systems Inc. (2018a). 7 Things to Know When Selecting an IR Camera; for research and development. *En FLIR Systems Inc.* <https://www.flir.com/discover/rd-science/7-things-to-know-when-selecting-an-ir-camera-for-research--development>
- FLIR Systems Inc. (2018b). How far can you go? *En FLIR Systems Inc.* (Vol. 1). <https://doi.org/https://doi.org/10.1108/eum000000004457>
- Gallardo-saavedra, S., Hernández-callejo, L., Duque-pérez, Ó., Gallardo, S., y Hernández, L. (2019). Analysis and characterization of PV module defects by thermographic inspection. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 93, 92-104. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20190517>
- Glowacz, A., Glowacz, A., y Glowacz, Z. (2017). Detection of short-circuits of dc motor using thermographic images, binarization and K-NN classifier. *Tehnicki vjesnik - Technical Gazette*, 24(4), 1013-1018. <https://doi.org/10.17559/tv-20150924194102>
- Glowacz, A., y Glowacz, Z. (2016). Diagnostics of stator faults of the single-phase induction motor using thermal images, MoASoS and selected classifiers. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 93, 86-93. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.07.008>
- Glowacz, A., y Glowacz, Z. (2017). Infrared Physics & Technology Diagnosis of the three-phase induction motor using thermal imaging. *Infrared Physics and Technology*, 81, 7-16. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2016.12.003>
- Gonzalez, R., y Woods, R. (2008). *Digital image processing, 2nd ed.* (Vol. 69, Número 9, pp. 1174-1175). <https://doi.org/10.1109/proc.1981.12153>
- Gyorok, G., y Beszedes, B. (2019). Using thermal imaging cameras to test electronical systems. *CANDO-EPE 2018 - Proceedings IEEE International Conference and Workshop in Obuda on Electrical and Power Engineering*, 147-151. <https://doi.org/10.1109/CANDO-EPE.2018.8601159>
- Haider, M., Doegar, A., y Verma, R. K. (2018). Fault Identification in Electrical Equipment using Thermal Image Processing. *2018 International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON)*, 853-858. <https://doi.org/10.1109/GUCON.2018.8675108>
- Huda, A. S.N., y Taib, S. (2013). Suitable features selection for monitoring thermal condition of electrical equipment using infrared thermography. *Infrared Physics and Technology*, 61, 184-191. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2013.04.012>
- Huda, A S Nazmul, y Taib, S. (2013). Application of infrared thermography for predictive / preventive maintenance of thermal defect in electrical equipment. *Applied Thermal Engineering*, 61(2), 220-227. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.07.028>
- Hui, Z., y Fuzhen, H. (2015). An intelligent fault diagnosis method for electrical equipment using infrared images. *Proceedings of the 34th Chinese Control Conference, 2015*, 6372-6376. <https://doi.org/10.1109/ChiCC.2015.7260642>
- Jadin, M. S., Taib, S., y Ghazali, K. H. (2014). Feature extraction and classification for detecting the thermal faults in electrical installations. *Measurement*, 57, 15-24. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.07.010>
- Jadin, M. S., Taib, S., y Ghazali, K. H. (2015). Finding region of interest in the infrared image of electrical installation. *Infrared Physics and Technology*, 71, 329-338. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2015.05.010>
- Khamisan, N., Ghazali, K. H., y Zin, A. H. M. (2015). A thermograph image extraction based on color



- features for induction motor bearing fault diagnosis monitoring. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10(22), 17095-17101.
- Kim, J. S., Choi, K. N., y Kang, S. W. [2021]. Infrared thermal image-based sustainable fault detection for electrical facilities. *Sustainability (Switzerland)*, 13(2), 1-16. <https://doi.org/10.3390/su13020557>
- Kimande, J., Mwangi, E., y Gatari, M. [2021]. Application of Infrared Thermography in Fault Detection and Preventive Maintenance in Three-Phase Distribution Transformers. *International Journal of Computer Applications*, 174(12), 7-12. <https://doi.org/10.5120/ijca2021920995>
- Kostic, N., Hadziefendic, N., Tasic, D., y Kostic, M. [2021]. Improved measurement accuracy of industrial-commercial thermal imagers when inspecting low-voltage electrical installations. *Measurement*, 185, 109934. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109934>
- Kumar, S., Jena, P., Sinha, A., y Gupta, R. [2017]. Application of infrared thermography for non-destructive inspection of solar photovoltaic module. *Journal of Non-Destructive Testing*, 15(9), 25-32.
- Kurukuru, V. S. B., y Khan, M. A. [2019]. Fault classification for Photovoltaic Modules Using Thermography and Machine Learning Techniques. *2019 International Conference on Computer and Information Sciences (ICCIS)*, 1-6.
- Kurukuru, V. S., Haque, A., y Khan, M. A. [2019]. Fault Classification for Photovoltaic modules using Thermography and Image Processing. *2019 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, IAS 2019*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/IAS.2019.8912356>
- Laxmi, M. R. [2021]. Thermal Imaging-Based Fault Diagnosis of Electronics Circuit Boards. En R. C. Bansal, A. Agarwal, y V. K. Jadoun (Eds.), *Advances in Energy Technology (pp. 111-121)*. Springer Singapore.
- Liu, H., Bao, C., Xie, T., Gao, S., Song, X., y Wang, W. [2019]. Research on the intelligent diagnosis method of the server based on thermal image technology. *Infrared Physics and Technology*, 96, 390-396. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2018.08.028>
- Liu, X. Q., y Jiang, J. G. [2013]. Study of circuits fault detection based on infrared technology. *Applied Mechanics and Materials*, 385-386, 618-621. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.385-386.618>
- Lo, N. G., Flaus, J. M., y Adrot, O. [2019]. Review of Machine Learning Approaches in Fault Diagnosis applied to IoT Systems. *2019 International Conference on Control, Automation and Diagnosis, ICCAD 2019 - Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/ICCAD46983.2019.9037949>
- Lopez-Perez, D., y Antonino-Daviu, J. [2017]. Application of Infrared Thermography to Failure Detection in Industrial Induction Motors: Case Stories. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 53 (3), 1901-1908. <https://doi.org/10.1109/TIA.2017.2655008>
- Maciel, G., Aquino, R., y Lira, M. [2017]. Thermography and artificial intelligence in transformer fault detection. *Electrical Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s00202-017-0595-2>
- Mahfurdz, A., Saher, R., Ghani, W., y Pi, W. [2020]. Electronic circuit failure detection using thermal image. *Open Access Library Journal*, 7, 1-7. <https://doi.org/10.4236/oalib.1106662>
- Mamchur, Y., Ivanova, V., Monastyrsky, G., Melnychenko, T., Zheng, G., y Voronov, S. [2020]. Thermography investigation of soldered joints for LED mounting. *2020 IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology, ELNANO 2020 - Proceedings*, 143-147. <https://doi.org/10.1109/ELNANO50318.2020.9088886>
- Mehta, A., Goyal, D., Choudhary, A., Pabla, B. S., y Belghith, S. [2021]. Machine Learning-Based Fault Diagnosis of Self-Aligning Bearings for Rotating Machinery Using Infrared Thermography. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/9947300>
- Muralidhar, C., y Reddy, M. V. [2014]. Infrared thermography: A versatile tool. *Asia Pacific Conference on Non-Destructive Testing*, 14, 1-6. <https://www.ndt.net/article/apcndt2013/papers/121.pdf>
- Research and, V5(04), 685-687. <https://doi.org/10.17577/ijertv5is041051>
- Ng, S. C. [2017]. Principal component analysis to reduce

- dimension on digital image. *Procedia Computer Science*, 111, 113-119. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.06.017>
- Niazi, K. A. K., Akhtar, W., Khan, H. A., Yang, Y., y Athar, S. (2019). Hotspot diagnosis for solar photovoltaic modules using a Naive Bayes classifier. *Solar Energy*, 190(February), 34-43. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.07.063>
- Novizon, y Abdul-Malek, Z. (2016). First Order Statistical Features Thermal Images for Surge Arrester Fault Classification. *Applied Mechanics and Materials*, 818, 91-95. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.818.91>
- Nunak, T., Rakrueangdet, K., Nunak, N., y Suesut, T. (2015). Thermal image resolution on angular emissivity measurements using infrared thermography. *Lecture Notes in Engineering and Computer Science*, 1(March 2015), 323-327.
- Olivatti, Y., Penteado, C., Aquino, P. T., y Filev, R. (2018). Analysis of artificial intelligence techniques applied to thermographic inspection for automatic detection of electrical problems. *2018 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2)*, 1-5.
- Osornio-Rios, A. R., Antonino-Daviu, J. A., y Romero-Troncoso, R. D. J. (2019). Recent industrial applications of infrared thermography: A review. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15, 615-625. <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2884738>
- Pal, D., Meyur, R., Menon, S., Reddy, M. J. B., y Mohanta, D. K. (2018). Real-time condition monitoring of substation equipment using thermal cameras. *IET Generation, Transmission and Distribution*, 12 (4), 895-902. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2017.0096>
- Palimkar, N., y Bhole, A. A. (2016). Fault prediction in electrical equipments using thermographic inspection. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 5, 685-687. <https://doi.org/10.17577/ijertv5is041051>
- Paolanti, M., y Frontoni, E. (2020). Multidisciplinary Pattern Recognition applications: A review. *Computer Science Review*, 37, 100276. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2020.100276>
- Pavel, S. M., Aiordachioaie, D., y Frangu, L. (2019). Automated Thermal Images Processing System for Change Detection and Diagnosis. *SIITME 2019 - 2019 IEEE 25th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging, Proceedings*, October, 316-321. <https://doi.org/10.1109/SIITME47687.2019.8990719>
- Petrosyants, K. O., Kharitonov, I. A., Ryabov, N. I., Kozyanko, P. A., y Lvov, B. G. (2016). Hardware-software subsystem for multilevel thermal fault detection and analysis of electronic components. *2016 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2016 - Proceedings*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/SIBCON.2016.7491809>
- Playà-Montmany, N., y Tattersall, G. J. (2021). Spot size, distance and emissivity errors in field applications of infrared thermography. *Methods in Ecology and Evolution*, 12 (5), 828-840. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/2041-210X.13563>
- Rakrueangdet, K., Nunak, N., Suesut, T., y Sritham, E. (2016). Emissivity measurements of reflective materials using infrared thermography. *Lecture Notes in Engineering and Computer Science*, 1, 372-375.
- Rauber, T. W., da Silva Loca, A. L., de Assis Boldt, F., Rodrigues, A. L., y Varejão, F. M. (2021). An experimental methodology to evaluate machine learning methods for fault diagnosis based on vibration signals. *Expert Systems with Applications*, 167, 114022. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.114022>
- Redon, P., Romero-Troncoso, R. J., Picazo-Rodenas, M. J., y Antonino-Daviu, J. (2017). Reliable methodology for online fault diagnosis in induction motors using passive infrared thermography. *Proceedings of the 2017 IEEE 11th International Symposium on Diagnostics for Electrical Machines, Power Electronics and Drives, SDEMPED 2017, 2017-Janua*, 600-607. <https://doi.org/10.1109/DEMPED.2017.8062416>
- Resendiz-choa, E., Osornio-rios, R. A., Benitez-rangel, J. P., Romero-troncoso, R. D. E. J., Member, S., y Morales-hernandez, L. A. (2018). Induction Motor Failure Analysis : An Automatic Methodology Based on Infrared Imaging. *IEEE Access*, 6, 76993-77003.

- <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2883988>  
Resendiz-Ochoa, E., Saucedo-Dorantes, J. J., Benitez-Rangel, J. P., Osornio-Rios, R. A., y Morales-Hernandez, L. A. [2020]. Novel methodology for condition monitoring of gear wear using supervised learning and infrared thermography. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(2), 1-18. <https://doi.org/10.3390/app10020506>
- Rhyne, T. M. [2017]. *Applying color theory to Digital Media and Visualization*. CRC Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9781315380384>
- Salazar, A. M., y Macabebe, E. Q. B. [2016]. Hotspots Detection in Photovoltaic Modules Using Infrared Thermography. *MATEC Web of Conferences*, 70. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20167010015>
- Sanati, H., Wood, D., y Sun, Q. [2018]. Condition monitoring of wind turbine blades using active and passive thermography. *Applied Sciences (Switzerland)*, 8(10). <https://doi.org/10.3390/app8102004>
- Sanchez-Londono, S. R. D. [2021]. Thermographic indicators for the state assessment of rolling bearings. *FAC-PapersOnLine*, 54, 1218-1223. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.208>
- Saravanan, R., y Sujatha, P. [2018]. Algorithms : A Perspective of Supervised Learning Approaches in Data Classification. *2018 Second International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)*, Iccics, 945-949.
- Sarawade, A. A., y Charniya, N. N. [2019]. Detection of Faulty Integrated Circuits in PCB With Thermal Image Processing. *2019 International Conference on Nascent Technologies in Engineering (ICNTE)*, Icn-te, 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICNTE44896.2019.8946061>
- Schuss, C., Remes, K., Leppänen, K., Eichberger, B., y Fabritius, T. [2021]. Thermography of Photovoltaic Panels and Defect Detection Under Outdoor Environmental Conditions. *2021 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/I2MTC50364.2021.9460099>
- Sharma, P., y Kaur, M. [2013]. Classification in Pattern Recognition: A Review. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 3(4), 2277-128.
- Shereena, V.B., y David, J. M. [2015]. Comparative Study of Dimensionality Reduction Techniques Using PCA and LDA for Content Based Image Retrieval. *Computer Science & Information Technology*, 41-55. <https://doi.org/10.5121/csit.2015.50905>
- Stoynova, A., Bonev, B., y Brayonov, N. [2018]. Thermographic Approach for Reliability Estimation of PCB. *Proceedings of the International Spring Seminar on Electronics Technology, 2018-May*, 1-7. <https://doi.org/10.1109/ISSE.2018.8443675>
- Suguna, M., Mohamed, S., y Sanofer, I. [2016]. Fault Localisation Of Electrical Equipments Using Thermal Imaging Technique. *2016 International Conference On Emerging Technological Trends [ICETT]*, 1-3. <https://doi.org/10.1109/ICETT.2016.7873778>
- Sun, J., Wang, Z., Xie, C., Duan, C., y Li, T. [2019]. Application of Infrared Non-destructive Defect Location in Components. *2019 IEEE 3rd International Conference on Circuits, Systems and Devices, ICCSD 2019*, 177-181. <https://doi.org/10.1109/ICCSD.2019.8842947>
- Taheri-garavand, A., Ahmadi, H., Omid, M., Saeid, S., Mollazade, K., John, A., Smith, R., y Maria, G. [2015]. An intelligent approach for cooling radiator fault diagnosis based on infrared thermal image processing technique. *Applied Thermal Engineering*, 87, 434-443. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.05.038>
- Tharwat, A., Gaber, T., Ibrahim, A., y Ella, A. [2017]. Linear discriminant analysis: A detailed tutorial. *AI Communications* 30, 30, 169-190. <https://doi.org/10.3233/AIC-170729>
- Ullah, I., Khan, R. U., Yang, F., y Wuttisittikulij, L. [2020]. Deep learning image-based defect detection in high voltage electrical equipment. *Energies*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/en13020392>
- Ullah, I., Yang, F., Khan, R., Liu, L., Yang, H., Gao, B., y Sun, K. [2017]. Predictive maintenance of power substation equipment by infrared thermography using a machine-learning approach. *Energies*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/en10121987>

- Umair, M., Farhaj, H., Masud, M., Dad, K., y Zafar, A. (2020). A machine learning framework to identify the hotspot in photovoltaic module using infrared thermography. *Solar Energy*, 208(July), 643-651. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.08.027>
- Vollmer, M., y Möllmann, K.-P. (2018). *Infrared Thermal Imaging - Fundamentals, Research and Applications*. Wiley-VCH. <https://doi.org/10.1002/9783527693306>
- Wang, J., y Zhao, C. (2019). Broad Learning System Based Visual Fault Diagnosis for Electrical Equipment Thermography Images. *Proceedings 2018 Chinese Automation Congress*, 1632-1637. <https://doi.org/10.1109/CAC.2018.8623741>
- Wargulski, D. R., May, D., Petrick, J., Schacht, R., Wunderle, B., y Abo Ras, M. (2020). Pulsed Infrared Thermography Failure Analysis of Low-emissivity Specimens Without Contaminations Caused by High-emissivity Coatings. *2020 26th International Workshop on Thermal Investigations of ICs and Systems*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/THERMINIC49743.2020.9420531>
- Wronkiewicz, A. (2016). Approach to automated hot spot detection using image processing for thermographic inspections of power transmission lines. *Diagnostyka*, 17 (2), 81-86.
- Yang, W., Zhang, X., y Ma, H. (2016). An inspection robot using infrared thermography for belt conveyor. *2016 13th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence, URAI 2016*, 400-404. <https://doi.org/10.1109/URAI.2016.7734069>
- Zhang, Y., y Fjeld, M. (2020). Condition Monitoring for Confined Industrial Process Based on Infrared Images by Using Deep Neural Network and Variants. . *Association for Computing Machinery International Conference Proceeding Series*, 99-106. <https://doi.org/10.1145/3388818.3388823>







## PROLIFERACIÓN Y ACTIVACIÓN DEL TEJIDO ADIPOSEO PARDO COMO POSIBLE HERRAMIENTA CONTRA LA OBESIDAD.

## BROWN ADIPOSE TISSUE PROLIFERATION AND ACTIVATION AS A POSSIBLE TOOL AGAINST OBESITY.

Juárez-Ramírez Alan M.<sup>1</sup>, García-Solís Pablo<sup>2</sup>, Hernández-Puga Ana G.<sup>2</sup>, Rodríguez-Morales Ángel L.<sup>3</sup>, Solís-Sáinz Juan C.<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Estudiante del Programa de Doctorado en Ciencias en Biomedicina, Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Querétaro, México.

<sup>2</sup> Departamento de Investigación Biomédica. Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.

<sup>3</sup> Departamento de Ingeniería Molecular de Materiales. Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada, Universidad Nacional Autónoma de México.

\* Autor de correspondencia, correo: [carlos.solis@uaq.mx](mailto:carlos.solis@uaq.mx)

### Resumen

En México, 7 de cada 10 adultos presentan obesidad y sobrepeso. La obesidad se asocia con la presencia de Enfermedades Crónicas No Transmisibles, las cuales incluyen a las principales causas de morbi-mortalidad. Lamentablemente el tratamiento convencional para la obesidad (dieta y ejercicio) no permite obtener en forma mantenida resultados totalmente satisfactorios. De esta forma, la búsqueda de factores adyuvantes que permitan incrementar el gasto energético es de gran relevancia para lograr una trascendencia significativa en el manejo de la obesidad. En este contexto emerge la proliferación y activación metabólica del tejido adiposo pardo (TAP) como posible terapia adyuvante en el manejo de la obesidad. Se conocen diversos factores que inducen tanto la proliferación como la activación del TAP, como son el frío, la dieta, la actividad física, el trasplante de TAP y por último la cirugía bariátrica. En este trabajo de revisión se abordan los mecanismos básicos relacionados con el funcionamiento del TAP, su regulación y su posible utilización como herramienta en contra de la obesidad.

Palabras clave: *Obesidad, tejido adiposo pardo, termogénesis*

### Abstract

*In Mexico, 7 out of 10 adults are obese and overweight. Obesity is associated with the presence of Chronic Non-Communicable Diseases, which include the main causes of morbidity and mortality. Unfortunately, the conventional treatment for obesity (diet and exercise) does not allow the obtention of fully satisfactory results in a sustained manner. In this way, the search for adjuvant factors that allow increasing energy expenditure is of great relevance to achieve a significant response in the management of obesity. In this context, the metabolic activation of brown adipose tissue (BAT) emerges as a possible adjuvant therapy in the management of obesity. Various stimulating factors for TAP are known, such as cold, diet, physical activity, BAT transplantation and finally bariatric surgery. In this review we address the basic concepts about the physiology of BAT, its regulation and its possible utilization as a therapeutic tool against obesity.*

*Keywords:* Obesity, brown adipose tissue, thermogenesis.

## 1. Introducción

Durante los últimos 50 años, la prevalencia de obesidad ha crecido preocupantemente, llegando a ser un problema de salud pública en el mundo (Blüher, 2019). En nuestro país, 4 de cada 10 adultos padecen obesidad, posicionando a México como el segundo país a nivel mundial con mayor prevalencia de esta enfermedad en adultos (OCDE, 2017; ENSANUT, 2018). La obesidad es el principal factor de riesgo para el desarrollo de enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT), como enfermedades cardiovasculares, diabetes mellitus tipo 2 (DM2), osteoartritis, o ciertos tipos de cáncer (Hruby y col. 2016). La obesidad es una enfermedad sistémica crónica e inflamatoria de bajo grado, con acumulación excesiva del depósito de grasa en el organismo (OMS, 2020). Esta acumulación excesiva de grasa se genera por un estado persistente de un balance energético positivo, donde la ingesta calórica excede el gasto energético (GE) (Piaggi y col. 2018).

La terapia convencional para la obesidad se basa en: 1) reducción del consumo de energía, mediante regímenes dietéticos hipocalóricos, fármacos o intervenciones quirúrgicas; o 2) incremento del GE, mediante actividad física. Sin embargo, y por razones diversas, el éxito de estos abordajes terapéuticos es limitado y variable, particularmente por la dificultad de bajar y mantener el peso a través del tiempo (Bray y col. 2016; Kushner, 2018). Debido a lo anterior es necesario buscar nuevas alternativas terapéuticas que en conjunto con el manejo tradicional y con la ayuda de un equipo multidisciplinario permitan combatir la obesidad con un mayor éxito. En este sentido recientemente se ha propuesto el aumento del GE mediante la proliferación y activación metabólica del tejido adiposo pardo (TAP). En el presente artículo de revisión se abordan conceptos básicos acerca de la proliferación y activación del TAP, su regulación y su posible utilización como herramienta contra la obesidad.

## 2. Tejido adiposo

El tejido adiposo (TA) es un órgano con alta actividad endocrina y metabólica, conformado por diferentes tipos celulares, como los adipocitos (principal tipo celular),

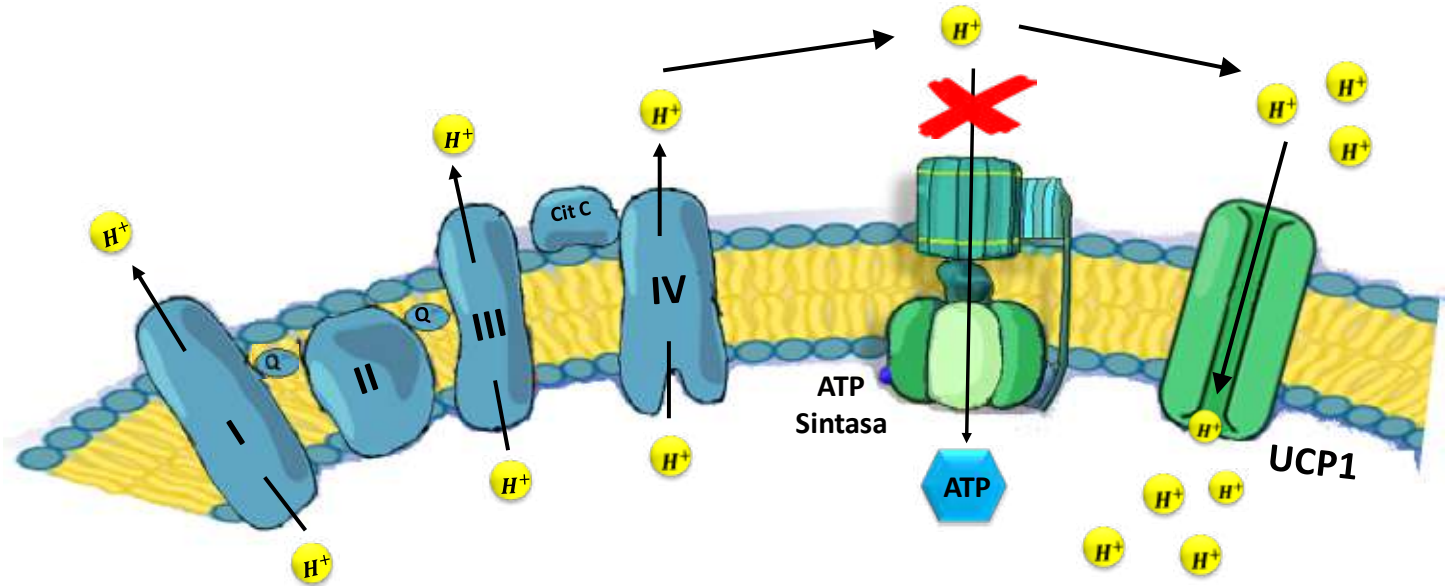
preadipocitos, células madre adiposas, fibroblastos, así como células endoteliales, nerviosas e inmunes. En los seres humanos se encuentran tres tipos de tejido adiposo, el blanco (TAB), el pardo (TAP), y el beige (TABe), que difieren dependiendo de su origen, función y morfología (Zwick y col. 2018). Los adipocitos del TAB son células especializadas en almacenar energía en forma de triglicéridos (TGL) en una gran gota intracelular, por lo que constituyen el principal regulador de la homeostasis energética, a través del almacenamiento y liberación de lípidos en respuesta a las demandas nutricionales y metabólicas del organismo. Este tejido se encuentra ampliamente distribuido en el espacio subcutáneo y alrededor de las vísceras abdominales, siendo este último comúnmente asociado con la presencia de ECNT (Rosen y Spiegelman, 2014).

Por otra parte, el TAP es responsable de la generación de calor para evitar una caída de la temperatura corporal en ambientes fríos, proceso llamado termogénesis no temblorosa (TNT). Estos adipocitos de igual manera contienen gotas de lípidos, pero con la diferencia de ser más pequeñas y en mayor cantidad (multiloculares). El TAP es un órgano altamente vascularizado y con una gran densidad de inervación simpática, la cual llega a ser aproximadamente 10 veces mayor que el TAB (Zingaretti y col. 2009). Su habilidad termogénica reside en la proteína desacoplante 1 (UCP1), localizada en la membrana interna mitocondrial, la cual permite que los protones vuelvan a entrar en la matriz mitocondrial; esto resulta en pérdida de energía en forma de calor, aumentando de esta manera el GE (Figura 1) (Cannon y Nedergaard, 2004).

En el humano recién nacido, el TAP desempeña un papel importante en el mantenimiento de la temperatura corporal, debido a su desfavorable alta relación área de superficie-volumen, evitando así el riesgo a sufrir hipotermia (Lidell, 2018). En el adulto el TAP se localiza principalmente en las regiones profundas cervical-supraclavicular, así como en las regiones peri-suprarrenal y paravertebral. Por medio de la técnica de tomografía por emisión de positrones computarizada (PET/TC), se encontró que el TAP presenta una mayor actividad (medida a través de la captura de glucosa) y masa en la población adulta femenina que en la masculina;

además de que ambos parámetros [actividad y masa] declinan conforme aumenta la edad [aprox. a partir de los 40 años] y el índice de masa corporal. De esta manera, existe una menor proporción y/o una reducida actividad

termogénica en sujetos masculinos, obesos, personas mayores de edad, además de pacientes que estén siendo tratados con beta-bloqueadores [Kuryłowicz & Puzianowska-Kuźnicka, 2020; Keuper & Jastroch, 2021].



**Figura 1.** Acción de la proteína desacoplante 1 [UCP1] sobre el gradiente de protones en la membrana mitocondrial interna. Se muestra como la UCP1 actúa permitiendo la entrada de protones desde el espacio intermembrana [arriba] hacia la matriz mitocondrial [abajo], lo cual se traduce en generación de calor. Donde: I, II, III y IV, complejos homónimos de la cadena de transporte de electrones; H<sup>+</sup>, hidrogeniones; Q, ubiquinona; Cit. C, citocromo C. Modificado de Cannon y Nedergaard, 2004.

### 3. Activación del TAP y TABE por exposición al frío

El ser humano al percibir la sensación de un descenso en la temperatura ambiental, aproximadamente <20°C [aunque esta sensación de temperatura puede variar entre individuos según la edad, el género, la composición corporal, el tipo de ropa o piel, o por la temperatura corporal central] [Kingma y col. 2014], comienza con la respuesta a esta sensación de frío, provocando la activación de receptores iónicos localizados en neuronas termorreceptoras de la piel [Vriens y col. 2014].

La información térmica asciende hasta llegar principalmente al núcleo preóptico medial, donde dicha información se integra y se generan señales de respuesta como la activación del sistema nervioso simpático [SNS] y del eje hipotálamo-hipófisis-tiroides [HPT]. Ambos mecanismos homeostáticos incrementan la temperatura corporal de manera autónoma [Tan & Knight, 2018].

La estimulación adrenérgica, principalmente por receptores β<sub>3</sub> adrenérgicos [ADRβ<sub>3</sub>] en el adipocito

pardo, provoca a través de una cascada de señalización por proteínas G<sub>s</sub>, la activación termogénica de la UCP1, y una lipólisis intracelular para obtener ácidos grasos libres [AGL] que son utilizados en la β-oxidación y en la generación de acetil coenzima A [acetil-CoA]. Dicha acetil-CoA se oxida, a través del ciclo del ácido tricarbóxico [ciclo de Krebs], para generar nicotin adenin dinucleótido reducido [NADH+H<sup>+</sup>] y flavín adenin dinucleótido reducido [FADH<sub>2</sub>]. Estos compuestos son utilizados en la cadena transportadora de electrones para producir un gradiente de protones, el cual es disipado por la UCP1, en lugar de generar ATP a través de la ATP sintetasa [Cannon y Nedergaard, 2004; Heeren y Scheja, 2018; Yau y Yen, 2020]. Por parte de la activación del eje HPT, mecanismo homeostático alterno en la termogénesis, las hormonas tiroideas [HT] tiroxina [T<sub>4</sub>] y su metabolito activo triyodotironina [T<sub>3</sub>] intervienen en la regulación de la termogénesis al incrementar el GE en ciertos tejidos. Así, la T<sub>3</sub> desempeña diversas funciones termogénicas como favorecer la movilización de TGL almacenados en el

TAB para generar AGL. Asimismo esta hormona induce la expresión de genes involucrados en la movilización de lípidos y oxidación de ácidos grasos, y en el TAP favorece la traducción y síntesis de UCP1. Lo anterior se acompaña de un aumento en la captación de glucosa, incrementando la biogénesis mitocondrial, lo cual permite aumentar la densidad en el número de mitocondrias. Esto permite incrementar el funcionamiento de la UCP1 y por ende inducir un aumento en la termogénesis y generar el fenómeno llamado “pardeamiento” en el TAB (Mullur y col. 2014; Obregón, 2014; Yau y Yen, 2020).

El pardeamiento en el TAB, favorecido por la exposición al frío, consiste en la generación del tercer tipo de adipocito, el tejido adiposo beige (TABe). Los adipocitos beige presentan una morfología multilocular, y a través de HT incrementan la biogénesis mitocondrial y la expresión de UCP1 en su interior. Este tipo celular es generado en respuesta a condiciones ambientales como la exposición al frío a largo plazo, ejercicio, agonistas  $ADR\beta_3$  o en enfermedades hipermetabólicas como ciertos tipos de cáncer o hipertiroidismo en modelos murinos; aunque falta aún más conocimiento en la explicación del fenómeno de pardeamiento en el TAB humano. De esta forma se adquiere una mayor capacidad termogénica que pudiera llegar a contribuir al GE total (GET), que es la cantidad total de energía utilizada por una persona durante un periodo de 24 horas; de esta forma el TABe también puede ser considerado como otro blanco para el tratamiento de alteraciones metabólicas (Cinti, 2009; Thyagarajan y Foster, 2017; Krause, 2020; Kurylowicz y Puzianowska-Kuznicka, 2020).

La exposición al frío en el TAP es capaz de modificar el GET, ya que se ha reportado que la exposición leve al frío induce el consumo de 15-25 kcal/día (a una temperatura de 15.5°C durante 2h), además de observarse un aumento marcado del consumo de oxígeno y del flujo sanguíneo hacia este tejido (Muzik y col. 2013). Por medio de la técnica de PET/TC, diversos estudios han estimado que, bajo condiciones de 17-19°C durante aprox. 2h, con una masa de 50-100 gramos del TAP por individuo, la activación del TAP inducida por frío puede llegar a contribuir desde un 5 hasta un 77% en el GET (Ouellet y col. 2012; Lee y col. 2013).

También se ha observado que la exposición al frío mejora el metabolismo de la glucosa, lípidos,

y la sensibilidad a la insulina. Por lo que la inducción metabólica del TAP además de tener efecto positivo en el GET, también podría tener efectos benéficos en el manejo de otras enfermedades metabólicas (Matsushita y col. 2014; Chondronikola y col. 2014). También se ha observado que la exposición al frío favorece modificaciones en el TAB, generando movilización y cambios en el contenido de lípidos (Xu y col. 2019).

Considerando lo anterior, y aunque la evidencia claramente indica que la exposición al frío puede ser una estrategia complementaria o adjunta efectiva para el manejo de la obesidad y progresión de la DM2, en realidad los estudios que han examinado la respuesta metabólica en la población son muy escasos (Ivanova y Blondin, 2021). De esta forma, el consenso actual apunta a que se requiere más información y evidencia acerca de los beneficios significativos y de la presencia de cualquier contraindicación en ciertos grupos de individuos, antes de recomendar la exposición controlada al frío como posible tratamiento contra la obesidad.

#### 4. TAP y dieta

El mecanismo nombrado como termogénesis inducida por la dieta (TID), además del proceso de TNT, es capaz de incidir en el GET y de activar al TAP (Hibi y col. 2016). La TID se refiere a la energía disipada en forma de calor después de la ingesta de los alimentos, y dependiendo de la composición y carga de los alimentos, la TID puede contribuir entre un 10-15% en el GET (Ho, 2018). Diversos estudios han sugerido que el mecanismo por el cual la TID es capaz de activar al TAP es por medio del SNS (Van Baak, 2008; Saito y col. 2020).

Algunos alimentos que se han reportado ser capaces de regular la actividad del TAP son:

- Capsaicina: La capsaicina y sus análogos se unen al receptor de potencial transitorio (TRP) de la subfamilia vaniloide 1 (TRPV1), expresado en las terminales nerviosas del tracto gastrointestinal y del TAP, esta unión induce la activación nerviosa simpática en el TAP (Kawabata y col. 2009; Ludy y col. 2012). Estudios en humanos muestran que la ingesta de estos compuestos provoca un aumento en la oxidación de lípidos, con un incremento en la termogénesis, incidiendo de esta manera en el GE

[Yoneshiro y col. 2011; Sun y col. 2018]. Además de encontrarse que estos compuestos son capaces de inducir el “pardeamiento” del TAB [Baskaran y col. 2016].

- Catequinas y cafeína: son compuestos que se encuentran presentes abundantemente en las hojas de té verde [*Camellia sinensis* L.], la cafeína, del grupo metilxantinas, representa del 3-5 % del peso seco del té verde. La administración del extracto de té verde ha mostrado un aumento en la densidad y actividad de captación de glucosa en el TAP, junto con la oxidación de lípidos; llegando a incidir en el aumento del GET (en promedio 4.7%), con una pérdida de peso en las personas, así como la inducción del TABe [Yoneshiro y col. 2017; Hibi y col. 2018]. El mecanismo que se ha sugerido causa los efectos termogénicos es a través de la inhibición de la enzima catecol-*O*-metiltransferasa (COMT), la cual degrada a la noradrenalina, por parte de las catequinas, y la inhibición de la fosfodiesterasa por medio de la cafeína, aumentando así el tiempo de vida del monofosfato de adenosina cíclico (AMPc) en la célula [Dulloo y col. 1999].

- Resveratrol (RSV): compuesto polifenólico presente en el hollejo de la uva, cacahuates, bayas y ciertos tés. Tanto en modelos *in vitro* como *in vivo*, se ha encontrado que el RSV es capaz de inducir la expresión de marcadores relacionados tanto con la termogénesis, el pardeamiento y biogénesis mitocondrial. Estos marcadores incluyen al receptor gamma activado por el proliferador de peroxisomas (PPAR- $\gamma$ ), el receptor gamma activado por el proliferador de peroxisoma coactivador-1 alfa (PGC-1 $\alpha$ ) y la UCP1 [Hui y col. 2020; Liu y col. 2020].

- Aceites de pescados, ricos en ácidos grasos poliinsaturados omega-3 (AGPI- $\omega$ 3): en específico el ácido eicosapentaenoico (AEP) y el ácido docosahexanoenoico (ADH) han mostrado tanto *in vivo* como *in vitro* un aumento en la expresión de genes relacionados con la TNT, la inducción en la biogénesis mitocondrial y el proceso de pardeamiento [Kim y col. 2016; Pahlavani y col. 2017]. Se han encontrado más compuestos relacionados con propiedades termogénicas, como berberina,

curcumina, ácido retinoico, pimienta blanca y negra, jengibre, semillas de “*grains of paradise*” [*Aframomum melegueta*], mentol, mostaza, wasabi y hasta el cinamaldehído [Kuryłowicz y Puzianowska-Kuźnicka, 2020; Saito y col. 2020]. Sin embargo, aún falta elucidar más los efectos de estos compuestos en humanos.

## 5. Actividad física

La actividad física, la cual incrementa el GE ha mostrado efectos benéficos en todo el cuerpo, como adaptaciones en el musculo esquelético y el sistema cardiovascular. En el TAB se ha observado una disminución en su tamaño y contenido lipídico, un incremento en su actividad mitocondrial, una reducción inflamatoria, así como la modificación en la liberación de componentes endocrinos como la leptina y adiponectina. Los estudios *in vitro* e *in vivo* en modelos murinos han mostrado que algunos de los factores liberados durante la actividad física o el ejercicio pueden incidir en la regulación termogénica, tal es el caso de la irisina, secretada por el músculo durante el ejercicio, la cual promueve la expresión de genes relacionados con la termogénesis y estimula el desarrollo del TAP. Asimismo, se ha encontrado que el factor de crecimiento de fibroblastos-21 (FGF-21) induce expresión de UCP1, biogénesis mitocondrial y pardeamiento de los adipocitos. Aunque existen estudios que mencionan que el incremento en la actividad física provoca la generación de adipocitos pardos esto solo se ha descrito en modelos murinos, y aún se continúa profundizando el tema en los humanos, donde actualmente se considera que el ejercicio disminuye la actividad mitocondrial y la termogénesis [Dewal y Stanford, 2019; Arhire y col. 2019; Martin y col. 2020; Vidal y Stanford, 2020].

## 6. Injerto de TAP

Diversos estudios han mencionado que el injerto de TAP en modelos murinos ha provocado una mejora en fenotipos metabólicos como el aumento de peso, en los niveles de glucosa, colesterol y TGL, en la inflamación del tejido adiposo, la sensibilidad a la insulina y la tolerancia a la glucosa, además de un incremento en el TAP endógeno



y desarrollo de pardeamiento; proporcionando resultados positivos futuros para el tratamiento de la obesidad (Hoppela y col. 2018; White y col. 2019; Xu y col. 2020).

## 7. Cirugía bariátrica

La cirugía bariátrica es un método, aunque invasivo, más efectivo para la disminución del peso corporal. El *bypass* gástrico en Y de Roux (BGRY) y la gastrectomía vertical en manga (GVM) son los dos procedimientos más comunes utilizados para este tratamiento, con una pérdida de peso marcadamente sostenible y la remisión de otras comorbilidades metabólicas. Sin embargo, estos procedimientos son tomados como último recurso debido a su irreversibilidad, su costo y sus probables complicaciones (Panteliou y Miras, 2017; Barros y col. 2019). Se ha encontrado que el BGRY puede inducir el proceso de pardeamiento, aunque existen resultados contradictorios. (Hankir y col. 2015; Piquer-García y col. 2020). En el caso de la GVM en humanos, se ha sugerido que pudiera inducir el pardeamiento, y un incremento en la actividad del TAP; sin embargo, se desconoce la aportación de estos mecanismos en relación al GET (Jahansouz y col. 2018; Tarabra y col. 2020).

## Conclusiones

La obesidad es actualmente una epidemia con implicaciones mayores en términos de morbi-mortalidad en nuestro país. En este sentido la búsqueda de terapias no convencionales, como la inducción en la activación metabólica del TAP con el consecuente incremento en el gasto energético, se vuelve necesaria. Actualmente se conocen varios factores que pueden inducir esta activación metabólica, como son el frío, dieta, actividad física, trasplante de TAP y por último la cirugía bariátrica. Sin embargo, todavía no existe información suficiente acerca de estos mecanismos y su utilización directa en los humanos, así como de sus posibles contraindicaciones en ciertos grupos de sujetos, por lo que es necesario llevar a cabo más investigación en este sentido. De esta forma, los mecanismos de inducción metabólica del TAP poseen el potencial para ser utilizados como terapias adyuvantes en el manejo multidisciplinario del paciente obeso y con mayor riesgo metabólico, en los cuales el tratamiento convencional ha arrojado pobres resultados.

## Agradecimientos

Agradecemos al Fondo para el Fortalecimiento de la Investigación de la Universidad Autónoma de Querétaro por el financiamiento otorgado al proyecto FME-2018-07, del cual deriva este artículo de revisión. Agradecemos también al CoNaCyT por la beca otorgada para estudios de doctorado a AMJR.

## Referencias bibliográficas

- Arhire, L. I., Mihalache, L., & Covasa, M. (2019). Irisin: A Hope in Understanding and Managing Obesity and Metabolic Syndrome. *Frontiers in Endocrinology*, 10, 524. <https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00524>
- Barros, F. de, Negrão, M. G., & Negrão, G. G. (2019). Weight loss comparison after sleeve and Roux-en-Y gastric bypass: Systematic review. *ABCD. Arquivos Brasileiros de Cirurgia Digestiva (São Paulo)*, 32(4), e1474. <https://doi.org/10.1590/0102-672020190001e1474>
- Baskaran, P., Krishnan, V., Ren, J., & Thyagarajan, B. (2016). Capsaicin induces browning of white adipose tissue and counters obesity by activating TRPV1 channel-dependent mechanisms: TRPV1 activates browning of WAT to counter obesity. *British Journal of Pharmacology*, 173(15), 2369-2389. <https://doi.org/10.1111/bph.13514>
- Blüher, M. (2019). Obesity: Global epidemiology and pathogenesis. *Nature Reviews Endocrinology*, 15(5), 288-298. <https://doi.org/10.1038/s41574-019-0176-8>
- Bray, G. A., Frühbeck, G., Ryan, D. H., & Wilding, J. P. H. (2016). Management of obesity. *The Lancet*, 387(10031), 1947-1956. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)00271-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)00271-3)
- Cannon, B., & Nedergaard, J. (2004). Brown Adipose Tissue: Function and Physiological Significance. *Physiological Reviews*, 84(1), 277-359. <https://doi.org/10.1152/physrev.00015.2003>
- Chondronikola, M., Volpi, E., Borsheim, E., Porter, C., Annamalai, P., Enerback, S., ... & Sidossis, L. S. (2014). Brown Adipose Tissue Improves Whole-Body Glucose Homeostasis and Insulin Sensitivity in Humans. *Diabetes*, 63(12), 4089-4099. <https://doi.org/10.2337/db14-0746>
- Cinti, S. (2009). Transdifferentiation properties of adipocytes in the adipose organ. *American Journal*

- of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 297(5), E977-E986. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00183.2009>
- Dewal, R. S., Stanford, K. I. (2019). Effects of exercise on brown and beige adipocytes. *BBA Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1864, 71-78. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2018.04.013>
- Dulloo, A. G., Duret, C., Rohrer, D., Girardier, L., Mensi, N., Fathi, M., ... & Vandermander, J. (1999). Efficacy of a green tea extract rich in catechin polyphenols and caffeine in increasing 24-h energy expenditure and fat oxidation in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 70(6), 1040-1045. <https://doi.org/10.1093/ajcn/70.6.1040>
- ENSANUT, Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018-2019 (2018). Resultados nacionales, 1-268.
- Hankir, M. K., Bronisch, F., Hintschich, C., Krügel, U., Seyfried, F., & Fenske, W. K. (2015). Differential effects of Roux-en-Y gastric bypass surgery on brown and beige adipose tissue thermogenesis. *Metabolism*, 64(10), 1240-1249. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2015.06.010>
- Heeren, J., & Scheja, L. (2018). Brown adipose tissue and lipid metabolism: Current Opinion in Lipidology, 29(3), 180-185. <https://doi.org/10.1097/MOL.0000000000000504>
- Hibi, M, Oishi, S., Matsushita, M., Yoneshiro, T., Yamaguchi, T., Usui, C., ... & Saito, M. (2016). Brown adipose tissue is involved in diet-induced thermogenesis and whole-body fat utilization in healthy humans. *International Journal of Obesity*, 40(11), 1655-1661. <https://doi.org/10.1038/ijo.2016.124>
- Hibi, Masanobu, Takase, H., Iwasaki, M., Osaki, N., & Katsuragi, Y. (2018). Efficacy of tea catechin-rich beverages to reduce abdominal adiposity and metabolic syndrome risks in obese and overweight subjects: A pooled analysis of 6 human trials. *Nutrition Research*, 55, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2018.03.012>
- Ho, K. K. Y. (2018). Diet-induced thermogenesis: Fake friend or foe? *Journal of Endocrinology*, 238(3), R185-R191. <https://doi.org/10.1530/JOE-18-0240>
- Hoppela, E., Grönroos, T. J., Saarikko, A. M., Tervala, T. V., Kauhanen, S., Nuutila, P., ... & Hartiala, P. (2018). Fat Grafting Can Induce Browning of White Adipose Tissue: Plastic and Reconstructive Surgery - Global Open, 6(6), e1804. <https://doi.org/10.1097/GOX.0000000000001804>
- Hruby, A., Manson, J. E., Qi, L., Malik, V. S., Rimm, E. B., Sun, Q., ... & Hu, F. B. (2016). Determinants and Consequences of Obesity. *American Journal of Public Health*, 106(9), 1656-1662. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2016.303326>
- Hui, S., Liu, Y., Huang, L., Zheng, L., Zhou, M., Lang, H., ... & Mi, M. (2020). Resveratrol enhances brown adipose tissue activity and white adipose tissue browning in part by regulating bile acid metabolism via gut microbiota remodeling. *International Journal of Obesity*, 44(8), 1678-1690. <https://doi.org/10.1038/s41366-020-0566-y>
- Ivanova, Y., Blondin, D. P. (2021). Examining the benefits of cold exposure as a therapeutic strategy for obesity and type 2 diabetes. *J Appl Physiol*, 130, 1448-1459. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00934.2020>
- Jahansouz, C., Xu, H., Hertzfel, A. V., Kizy, S., Steen, K. A., Foncea, R., ... & Bernlohr, D. A. (2018). Partitioning of adipose lipid metabolism by altered expression and function of PPAR isoforms after bariatric surgery. *International Journal of Obesity*, 42(2), 139-146. <https://doi.org/10.1038/ijo.2017.197>
- Kawabata, F., Inoue, N., Masamoto, Y., Matsumura, S., Kimura, W., Kadowaki, M., ... & Fushiki, T. (2009). Non-Pungent Capsaicin Analogs (Capsinoids) Increase Metabolic Rate and Enhance Thermogenesis via Gastrointestinal TRPV1 in Mice. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 73(12), 2690-2697. <https://doi.org/10.1271/bbb.90555>
- Keuper, M., Jastroch, M. (2021). The good and the BAT of metabolic sex differences in thermogenic human adipose tissue. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 533: 111337. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2021.111337>
- Kim, M., Goto, T., Yu, R., Uchida, K., Tominaga, M., Kano, Y., ... & Kawada, T. (2016). Fish oil intake induces UCP1 upregulation in brown and white adipose tissue via the sympathetic nervous system. *Scientific Reports*, 5(1), 18013. <https://doi.org/10.1038/srep18013>
- Kingma, B. R., Frijns, A. J., Schellen, L., & van Marken Lichtenbelt, W. D. (2014). Beyond the classic thermoneutral zone: Including thermal comfort. *Temperature*, 1(2), 142-149. <https://doi.org/10.4161/temp.29702>

- Krause, K. (2020). Novel Aspects of White Adipose Tissue Browning by Thyroid Hormones. *Experimental and Clinical Endocrinology & Diabetes*, 128(06/07), 446-449. <https://doi.org/10.1055/a-1020-5354>
- Kuryłowicz, A., & Puzianowska-Kuźnicka, M. (2020). Induction of Adipose Tissue Browning as a Strategy to Combat Obesity. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(17), 6241. <https://doi.org/10.3390/ijms21176241>
- Kushner, R. F. (2018). Weight Loss Strategies for Treatment of Obesity: Lifestyle Management and Pharmacotherapy. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 61(2), 246-252. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2018.06.001>
- Lee, P., Swarbrick, M. M., & Ho, K. K. Y. (2013). Brown Adipose Tissue in Adult Humans: A Metabolic Renaissance. *Endocrine Reviews*, 34(3), 413-438. <https://doi.org/10.1210/er.2012-1081>
- Lidell, M. E. (2018). Brown Adipose Tissue in Human Infants. En A. Pfeifer, M. Klingenspor, & S. Herzig (Eds.), *Brown Adipose Tissue* (Vol. 251, pp. 107-123). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/164\\_2018\\_118](https://doi.org/10.1007/164_2018_118)
- Liu, Z., Liao, W., Yin, X., Zheng, X., Li, Q., Zhang, H., ... & Feng, X. (2020). Resveratrol-induced brown fat-like phenotype in 3T3-L1 adipocytes partly via mTOR pathway. *Food & Nutrition Research*, 64(0). <https://doi.org/10.29219/fnr.v64.3656>
- Ludy, M.-J., Moore, G. E., & Mattes, R. D. (2012). The Effects of Capsaicin and Capsiate on Energy Balance: Critical Review and Meta-analyses of Studies in Humans. *Chemical Senses*, 37(2), 103-121. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjr100>
- Martin, A. R., Chung, S., & Koehler, K. (2020). Is Exercise a Match for Cold Exposure? Common Molecular Framework for Adipose Tissue Browning. *International Journal of Sports Medicine*, 41(07), 427-442. <https://doi.org/10.1055/a-1100-7118>
- Matsushita, M., Yoneshiro, T., Aita, S., Kameya, T., Sugie, H., & Saito, M. (2014). Impact of brown adipose tissue on body fatness and glucose metabolism in healthy humans. *International Journal of Obesity*, 38(6), 812-817. <https://doi.org/10.1038/ijo.2013.206>
- Mullur, R., Liu, Y.-Y., & Brent, G. A. (2014). Thyroid Hormone Regulation of Metabolism. *Physiological Reviews*, 94(2), 355-382. <https://doi.org/10.1152/physrev.00030.2013>
- Muzik, O., Mangner, T. J., Leonard, W. R., Kumar, A., Janisse, J., & Granneman, J. G. (2013). 150 PET Measurement of Blood Flow and Oxygen Consumption in Cold-Activated Human Brown Fat. *Journal of Nuclear Medicine*, 54(4), 523-531. <https://doi.org/10.2967/jnumed.112.111336>
- Obregon, M.-J. (2014). Adipose tissues and thyroid hormones. *Frontiers in Physiology*, 5. <https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00479>
- OCDE (2017), "Obesity Update", OECD Publishing, Paris. <http://www.oecd.org/els/health-systems/Obesity-Update-2017.pdf>.OMS, 2017. Nota descriptiva OMS, 2020. Nota descriptiva. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/es/>
- Ouellet, V., Labbé, S. M., Blondin, D. P., Phoenix, S., Guérin, B., Haman, F., ... & Carpentier, A. C. (2012). Brown adipose tissue oxidative metabolism contributes to energy expenditure during acute cold exposure in humans. *Journal of Clinical Investigation*, 122(2), 545-552. <https://doi.org/10.1172/JCI60433>
- Pahlavani, M., Razafimanjato, F., Ramalingam, L., Kalupahana, N. S., Moussa, H., Scoggin, S., & Moustaid-Moussa, N. (2017). Eicosapentaenoic acid regulates brown adipose tissue metabolism in high-fat-fed mice and in clonal brown adipocytes. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 39, 101-109. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2016.08.012>
- Panteliou, E., & Miras, A. D. (2017). What is the role of bariatric surgery in the management of obesity? *Climacteric*, 20(2), 97-102. <https://doi.org/10.1080/13697137.2017.1262638>
- Piaggi, P., Vinales, K. L., Basolo, A., Santini, F., & Krakoff, J. (2018). Energy expenditure in the etiology of human obesity: Spendthrift and thrifty metabolic phenotypes and energy-sensing mechanisms. *Journal of Endocrinol Investigation*, 41(1), 83-89. <https://doi.org/10.1007/s40618-017-0732-9>
- Piquer-Garcia, I., Cereijo, R., Corral-Pérez, J., Pellitero, S., Martínez, E., Taxerås, S. D., ... & Sánchez-Infantes, D. (2020). Use of Thermography to Estimate Brown Fat Activation After a Cooling Protocol in Patients with Severe Obesity That Underwent Bariatric Surgery. *Obesity Surgery*, 30(6), 2375-2381. <https://doi.org/10.1007/s40618-017-0732-9>

- doi.org/10.1007/s11695-020-04502-7
- Rosen, E. D., & Spiegelman, B. M. (2014). What We Talk About When We Talk About Fat. *Cell*, 156(1-2), 20-44. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2013.12.012>
- Saito, Masayuki, Matsushita, M., Yoneshiro, T., & Okamatsu-Ogura, Y. (2020). Brown Adipose Tissue, Diet-Induced Thermogenesis, and Thermogenic Food Ingredients: From Mice to Men. *Frontiers in Endocrinology*, 11, 222. <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.00222>
- Sun, L., Camps, S. G., Goh, H. J., Govindharajulu, P., Schaefferkoetter, J. D., Townsend, D. W., ... & Leow, M. K.-S. (2018). Capsinoids activate brown adipose tissue (BAT) with increased energy expenditure associated with subthreshold 18-fluorine fluorodeoxyglucose uptake in BAT-positive humans confirmed by positron emission tomography scan. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 107(1), 62-70. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqx025>
- Tan, C. L., & Knight, Z. A. (2018). Regulation of Body Temperature by the Nervous System. *Neuron*, 98(1), 31-48. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2018.02.022>
- Tarabra, E., Nouws, J., Vash-Margita, A., Nadzam, G. S., Goldberg, R., Van Name, M., ... & Caprio, S. (2020). The omentum of obese girls harbors small adipocytes and browning transcripts. *JCI Insight*, 5(6), e135448. <https://doi.org/10.1172/jci.insight.135448>
- Thyagarajan, B., & Foster, M. T. (2017). Being of white adipose tissue as a therapeutic strategy for weight loss in humans. *Hormone Molecular Biology and Clinical Investigation*, 31(2). <https://doi.org/10.1515/hmbci-2017-0016>
- van Baak, M. A. (2008). Meal-induced activation of the sympathetic nervous system and its cardiovascular and thermogenic effects in man. *Physiology & Behavior*, 94(2), 178-186. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2007.12.020>
- Vidal, P., & Stanford, K. I. (2020). Exercise-Induced Adaptations to Adipose Tissue Thermogenesis. *Frontiers in Endocrinology*, 11, 12.
- Vriens, J., Nilius, B., & Voets, T. (2014). Peripheral thermosensation in mammals. *Nature Reviews Neuroscience*, 15(9), 573-589. <https://doi.org/10.1038/nrn3784>
- White, J. D., Dewal, R. S., & Stanford, K. I. (2019). The beneficial effects of brown adipose tissue transplantation. *Molecular Aspects of Medicine*, 68, 74-81. <https://doi.org/10.1016/j.mam.2019.06.004>
- Xu, Z., You, W., Zhou, Y., Chen, W., Wang, Y., & Shan, T. (2019). Cold-induced lipid dynamics and transcriptional programs in white adipose tissue. *BMC Biology*, 17(1), 74. <https://doi.org/10.1186/s12915-019-0693-x>
- Xu, K., Xie, R., Lin, X., Jia, J., Zeng, N., Li, W., ... & Du, T. (2020). Brown Adipose Tissue: A Potential Site for Islet Transplantation. *Transplantation*, 104(10), 2059-2064. <https://doi.org/10.1097/TP.0000000000003322>
- Yau, W. W., & Yen, P. M. (2020). Thermogenesis in Adipose Tissue Activated by Thyroid Hormone. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(8), 3020. <https://doi.org/10.3390/ijms21083020>
- Yoneshiro, T., Aita, S., Matsushita, M., Okamatsu-Ogura, Y., Kameya, T., Kawai, Y., ... & Saito, M. (2011). Age-Related Decrease in Cold-Activated Brown Adipose Tissue and Accumulation of Body Fat in Healthy Humans. *Obesity*, 19(9), 1755-1760. <https://doi.org/10.1038/oby.2011.125>
- Yoneshiro, T., Matsushita, M., Hibi, M., Tone, H., Takeshita, M., Yasunaga, K., ... & Saito, M. (2017). Tea catechin and caffeine activate brown adipose tissue and increase cold-induced thermogenic capacity in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 105(4), 873-881. <https://doi.org/10.3945/ajcn.116.144972>
- Zingaretti, M. C., Crosta, F., Vitali, A., Guerrieri, M., Frontini, A., Cannon, B., ... & Cinti, S. (2009). The presence of UCP1 demonstrates that metabolically active adipose tissue in the neck of adult humans truly represents brown adipose tissue. *The FASEB Journal*, 23(9), 3113-3120. <https://doi.org/10.1096/fj.09-133546>
- Zwick, R. K., Guerrero-Juarez, C. F., Horsley, V., & Plikus, M. V. (2018). Anatomical, Physiological, and Functional Diversity of Adipose Tissue. *Cell Metabolism*, 27(1), 68-83. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2017.12.002>







## LA ALIMENTACIÓN CON INSECTOS ¿PUEDE REDUCIR EL ESTRÉS EN UN PEZ?

## INSECT FEEDING, CAN REDUCE STRESS IN A FISH?

Sánchez-Velazquez Julieta<sup>1</sup>, Peña-Herrejón Guillermo Abraham<sup>2</sup>, García-Trejo Juan Fernando<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Campus Amazcala, Universidad Autónoma de Querétaro, Carretera Chichimequillas, s/n km 1, C.P. 76265, Amazcala, El Marqués, Querétaro, México.

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería, Campus Concá, Universidad Autónoma de Querétaro, Valle Agrícola s/n, Concá y C.P. 76410, Arroyo Seco, Querétaro, México

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería, Campus Amazcala, Universidad Autónoma de Querétaro, Carretera Chichimequillas, s/n km 1, C.P. 76265, Amazcala, El Marqués, Querétaro, México

\* Autor de correspondencia, correo: [juanfernando77@gmail.com](mailto:juanfernando77@gmail.com)

### Resumen

La acuicultura se define como la cría de organismos acuáticos mediante la intervención del hombre, y es una actividad productiva que encuentra en expansión, ya que el humano ha incrementado el consumo de fuentes proteicas como el pescado. Por ello, los sistemas de producción intensiva se han convertido en la forma más eficiente y segura de generar dicho producto comercial. Sin embargo, a lo largo del ciclo productivo los peces son afectados por las prácticas acuícolas y generan en ellos estrés. Por ejemplo, se ha visto que las redes de pesca dañan la mucosa lo que vuelve más vulnerable al pez de ser afectado por infecciones bacterianas; además, al tratar de escapar se agotan físicamente y algunos peces llegan a morir. Por lo tanto, en la búsqueda de estrategias para manejar el estrés, los alimentos elaborados con insectos se han convertido en una opción con gran potencial. En este contexto, la composición química de algunos insectos les confiere a los peces la capacidad de soportar el daño causado por las prácticas acuícolas; algunos de los alimentos ya probados con efectos positivos en los peces son aquellos elaborados con grillo doméstico, mosca doméstica, mosca soldado negra, saltamontes y escarabajos.

Palabras clave: Cultivo de peces, manejo de estrés, alimentación alternativa, insectos

### Abstract

*Aquaculture is defined as the rearing of aquatic organisms through human intervention, and it is a productive activity that is expanding, since humans have increased the consumption of protein sources such as fish. For this reason, intensive production systems have become the most efficient and safe way to generate this commercial product. However, throughout the production cycle, fish are affected by aquaculture practices and generate stress in them. For example, it has been seen that fishing nets damage the mucosa which makes the fish more vulnerable to being affected by bacterial infections; in addition, when trying to escape they are physically exhausted and some fish die. Therefore, in the search for strategies to manage stress, foods made with insects have become an option with great potential. In this context, the chemical composition of some insects gives fish the ability to withstand the damage caused by aquaculture practices; Some of the foods that have already been tested with positive effects on fish are those made from house cricket, house fly, black soldier fly, grasshopper and beetle.*

*Keywords: Fish farming, stress management, alternative feeding, insects*



## 1. Introducción

La acuicultura ha sido el sector de producción de alimentos con mayor crecimiento a nivel mundial. Desde 1970, la acuicultura ha mostrado una tasa de crecimiento promedio anual del 7.5% (FAO, 2020) dejando atrás a la avicultura, la cual se ha considerado como el sector productor de alimento con mayor crecimiento en cantidad a nivel global (Edwards, Zhang, Belton, & Little, 2019), pero ha presentado una tasa de crecimiento promedio anual (5 %) más lenta en comparación con la acuicultura (Mottet & Tempio, 2017). Así, para atender la creciente demanda de productos acuícolas, ha sido necesaria la intensificación de los sistemas productivos (Yogev, Barnes, Giladi, & Gross, 2020),

Los producción acuícola intensiva requieren el uso sistemas de recirculación de agua en los que se utilizan densidades altas de peces (20 y 100 kg/m<sup>3</sup>), alimentación precisa, y el control de la calidad de la agua (Yogev et al., 2020), es decir, mantener en niveles específicos para la especie a cultivar la temperatura, salinidad, dureza, pH, sólidos disueltos, concentración de amonio, oxígeno disuelto (Ebeling & Timmons, 2012), por mencionar los más importantes. Otra de las prácticas en la producción intensiva es la adquisición y el uso de alevines, que son las crías de peces (Hong et al., 2019), y con ellos se dará inicio al ciclo del cultivo. Cabe mencionar que las unidades de producción de alevines generalmente se ubican lejos de las granjas de producción acuícola intensiva, por lo que deben ser transportados (Hong et al., 2019).

Woyrnarovich & Horváth, (1981) describen un método para el transporte de los alevines en el que son utilizadas bolsas de plástico con 5 a 7 L de agua de la llave, se colocan de 5 000 a 8 000 alevines y se introduce hasta el fondo de la bolsa la tubería que está conectada a un tanque de oxígeno para suministrar a presión de 15 a 20 L del gas. El traslado de los peces puede ser por automóvil, barco o avión y durar de horas a días (Hong et al., 2019). Este proceso parece simple para quien lo practica, pero no para el pez. De hecho, el estrés se relaciona con el transporte de peces (Harmon, 2009), pues los peces son expuestos a múltiples estresores. Vanderzwalmen et al., (2019) menciona que el transporte de peces presenta factores estresantes, tal como el manejo previo al traslado y la pérdida de la calidad del agua durante el traslado, así como el aumento de la susceptibilidad

a infecciones después del traslado. Así, diferentes estresores o factores estresantes, ya sea físicos, químicos, biológicos o procedurales existen en diferentes prácticas de la acuicultura (Kumar, Thirunavukkarasu, Subburaj, & Thiagarajan, 2015). De acuerdo con Francis-Floyd, (2002) el estrés es causado por colocar a un pez en una situación que está más allá del nivel que tolera, y en tal condición, el sistema nervioso y endócrino del pez interactúan mediante hormonas y metabolitos para hacer de él un organismo resiliente, es decir que pueda enfrentar el medio adverso (Herrera et al., 2020).

La alimentación es una de las estrategias aplicadas para el manejo de estrés en la acuicultura. Existe evidencia científica sobre el uso de aditivos como prebióticos (Hoseinifar, Esteban, Cuesta, & Sun, 2015), probióticos (Mohapatra, Chakraborty, Kumar, DeBoeck, & Mohanta, 2013), extractos naturales de plantas (Reverter, Bontemps, Lecchini, Banaigs, & Sasal, 2014) para mitigar el estrés en los peces. Sin embargo, no se han considerado a los insectos en la alimentación de los peces como una posible alternativa para el manejo del estrés en la acuicultura.

Los insectos poseen en su composición aminoácidos, minerales (Köhler, Kariuki, Lambert, & Biesalski, 2019), ácidos grasos y carbohidratos (Kuntadi, Adalina, & Maharani, 2018) que pueden promover resiliencia en los peces cuando son sometidos a estrés asociado a las prácticas realizadas durante el cultivo de peces. Por lo que, en el presente trabajo se revisa en primer lugar la relevancia de la bioseguridad acuícola y las prácticas durante el cultivo como factores estresantes, posteriormente se describen las estrategias empleadas para mitigar el estrés en la acuicultura, y finalmente se aborda el uso de insectos en la alimentación de los peces para manejar el estrés en la acuicultura.

## 2. La acuicultura y sus prácticas como factores estresantes

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación, “*la gente nunca había comido tanto pescado como ahora*” (FAO, 2018). Entre 1961 a 2017, el consumo de pescado per cápita se ha duplicado, en los países desarrollados el consumo aparente aumentó de 17.4 kg a 24.4 kg, mientras que los países en desarrollo

el consumo creció de 5.2 kg a 19.4 kg, y en los países menos desarrollados de 6.1 kg a 12 kg (FAO, 2020). Por ello en la búsqueda de nuevas opciones para satisfacer esta demanda surge la acuicultura; ésta se define como la crianza de organismos acuáticos en agua dulce, salobre, o marina bajo condiciones controladas y/o semi controladas, en donde interviene la mano del hombre (FAO, 2018).

Actualmente la acuicultura representa una estrategia que aporta significativamente a la seguridad alimentaria (Flores, 2019), pero también enfrenta retos y oportunidades establecidos en La agenda 2030 y las metas del desarrollo sostenible, uno de ellos retos es bioseguridad (Hambrey, 2017). La bioseguridad es el grupo de estrategias para prevenir, controlar y/o erradicar agentes causantes de enfermedades (Assefa & Abunna, 2018). El estrés en los peces es uno de los criterios que se establecen en la sanidad acuícola, por que representa un riesgo relacionado con enfermedades (García & Calvario, 2008)

Francis-Floyd, (2002) también explica la existencia de factores estresantes en la acuicultura y los clasifica como: 1. Químicos: baja nivel de oxígeno disuelto en el agua, dietas deficientes de nutrientes, acumulación de amonio o nitritos en el agua, 2. Biológicos: amontonamiento y microorganismos, 3. Físico: temperatura, luz y sonidos y 4: Manejo: transporte y tratamientos de enfermedades. En la Tabla 1 se muestran los trabajos dedicados al estudio del efecto de factores estresantes presentes en las diferentes etapas de un cultivo acuícola.

El estrés está directamente relacionado a la aparición de enfermedades y la necesidad de usar compuestos químicos en alguna de las etapas de un ciclo productivo, lo que pueden representar un peligro para la salud humana. Por lo que la mayor parte de las acciones en la acuicultura deben encaminarse a la prevención de enfermedades en los peces lo que tendrá un efecto positivo en las características de aptitud para el consumo del producto.

**Tabla 1.** Factores estresantes y su efecto sobre el estrés de los peces en las diferentes etapas de cultivo

Etapas de cultivo	Factores estresante	Respuesta al factor físico	Referencia
Reproducción	Extracción de huevecillos	Agotamiento físico y asfixia	Sneddon, Wolfende, y Thomson, 2016
Siembra	Transporte de alevines a los estanques para continuar con la etapa de engorda	Mueren por falta de oxígeno	Vanderzwalmen y col., 2018
Engorda	Cuando no se seleccionan por talla	Los peces forman jerarquías y los subordinados dejan de crecer	Herrero Ramón, 2007
	Vacunación	Agotamiento físico	Sharpe, 2007
	Dispositivos para tratamiento de agua (aireadores o extractores de agua)	Genera heridas externas	Bierschenk, Pander, Mueller, y Geist, 2019
	Alimentación	El alimento no ingerido contamina el agua	Shefat y Abdul, 2018
	Calidad de agua	Los peces nadan de forma agitada y aumenta el cortisol en su sangre	Cook y Herbert, 2012
Cosecha	Sacrificio	Los peces sienten dolor	Sigholt y col., 1997

La respuesta al estrés en los peces sucede en tres etapas (Mateus y col., 2017). La primera fase es de alarma o de “lucha/huida” y es regulada por el sistema nervioso quien promueve la liberación de cortisol en la sangre de los peces y en los primeros minutos después de que el pez percibió al agente estresante (Jerez-Cepa y col., 2019).

La segunda fase es el estado de resistencia, que comienza 48 horas después de que el pez tuvo contacto con el agente estresor; esta fase se caracteriza por la resolución de la respuesta a la “lucha o huida” (Mateus y col., 2017). Cuando los peces tienen una elevada concentración de cortisol en sangre se desencadena una serie de eventos en su cuerpo para tratar de ajustarlo, y hacer frente a la situación de supervivencia. En el hígado se promueven cambios en el metabolismo; es decir, ya se no usarán las proteínas para crecer, ahora a partir de ellas se obtendrá la energía para respirar y nadar más rápido. Incluso, la concentración de glucosa también aumentará en la sangre, porque es la forma más rápida de obtener energía para tratar de escapar; de la misma manera las grasas serán transformadas a compuestos más sencillos como glicerol y ácidos grasos libres, para usarlos también como fuente energética (Gabriel y Akinrotimi, 2011 y Jerez-Cepa et al., 2019).

La tercera fase es la de agotamiento, y es el resultado al estímulo o amenaza de forma continua; en esta etapa se hace referencia a todo el cuerpo del pez, porque surgen cambios en el crecimiento, metabolismo, supervivencia y reproducción (Gabriel y Akinrotimi, 2011). Mackett, Tam, & Fryer, (1992) evaluaron el efecto de un ambiente ácido (pH 4) sobre truchas (*Salvelinus fontinalis*) de 13 meses de edad. El peso inicial de los organismos fue de  $206 \pm 5$  g, pero después de 10 semanas su peso fue de aproximadamente 150 g, el cual disminuyó significativamente en comparación con los peces expuestos a un pH neutro (7) con peso final de 300 g. También se observó la reducción de osmolaridad plasmática 315 mOsm/L a 290 mOsm/L, el pH sanguíneo 7.5 a 7.1 de acuerdo con los valores obtenidos al inicio y al final del experimento respectivamente. Los organismos en pH ácido presentaron un valor final de glucosa en plasma de 500 mg/dL significativamente más altos que los mostrados por los peces a pH neutro ( $< 200$  mg/dL). También se ha observado que a un pH ácido hembras de truchas (*Salvelinus fontinalis*) no liberan los huevecillos y la fertilización de los huevecillos disminuye. Pickering, Pottinger, Carragher, & Sumpter, (1987) observaron la disminución de testosterona en machos maduros de trucha café (*Salmo trutta* L.) [ $326 \pm 25.2$  g]

al someterlos a estrés crónico por confinamiento. Los peces sometidos a estrés mostraron después de un mes de confinamiento un valor significativamente menor de  $4.9 \pm 0.2$  ng/mL de testosterona en comparación con el grupo control que no fue sometido al estrés ( $9.5 \pm 0.4$  ng/mL), pero la concentración de cortisol para el grupo bajo estrés se mantuvo mayor ( $14.1 \pm 4.5$  ng/mL) en comparación con el grupo control ( $2.1 \pm 0.2$  ng/mL). lo que sugiere la relación de supresión de funciones reproductoras inducida por estrés. Mazur & Iwama, (1993) revisaron el efecto de la densidad del cultivo sobre la supervivencia de salmón (*Oncorhynchus tshawytscha*) ( $5.7 \pm 1.5$  g), una densidad de 64 kg/m<sup>3</sup> mostró para el 3.9 un 50% de mortalidad, mientras que una densidad de 8 kg/m<sup>3</sup> mostró mortalidad (50%) hasta el día 9.3

Pickering & Pottinger, (1989) estudiaron el efecto inmunosupresor del cortisol en peces, y mencionan la concentración de cortisol en un salmón sin efecto de estrés 0-5 ng/mL, en estrés agudo (confinamiento por 1 hora) causa la elevación de plasma hasta 40 - 200 ng/mL con el regreso al nivel basal en 24 a 48 h, pero bajo estrés crónico (confinamiento continuo o hacinamiento) el cortisol en plasma se eleva hasta 10 ng/mL por un periodo de 4 semanas hasta que ocurre la aclimatación, en esta última condición la trucha es más susceptible a infecciones. Esto coincide con Maule, Schreck, & Kaattari, (1987) el incremento de cortisol a nivel crónico (0.5 ng/mL a 14 ng/L) provocó en salmón coho (*Oncorhynchus kisutch*) la disminución del número de células secretoras de anticuerpos en peces inmunizados con el antígeno para *Vibrio anguillarum*. Los peces infectados por muestran signos como hemorragia en las branquias, opacidad en la córnea e inflamación en los ojos (Gao et al., 2018).

En resumen, los peces pueden llegar a ser estresados por diferentes prácticas realizadas durante su cultivo, lo que llega a resultar en enfermedades, así como la disminución del crecimiento y supervivencia. Por lo que el manejo del estrés se convierte en un practica que debe considerarse para cumplir con los criterios de sanidad acuícola.

### 3.El manejo del estrés en los peces

Diferentes autores han descrito el manejo de estrés en los peces para la acuicultura. Gabriel & Akinrotimi, (2011) muestran una clasificación de prácticas que incluye: 1) mantener la calidad del agua en el cultivo al prevenir la acumulación de desechos orgánicos como heces fecales, alimento no consumido y amoníaco ( $< 0.01$  mg/L NH<sub>3</sub>),

controlar pH y temperatura en el nivel tolerante para la especie, así como el nivel de oxígeno disuelto en 5 mg/L, 2) densidad de población apropiada manteniendo el número de peces que el sistema de cultivo puede soportar sin exceder su capacidad de carga, 3) desinfección del sistema de cultivo, 4) manejo adecuado de los peces durante el transporte. Por su parte, Kumar, Thirunavukkarasu, Subburaj, & Thiagarajan, (2015) establecen para mitigar el estrés los métodos químicos (alimentación) y métodos no químicos (manejo ambiental). Cabe resaltar que los métodos no químicos involucran el manejo y control de parámetros físicos y químicos de la calidad de agua, y su relación es directamente con las condiciones ambientales del cultivo y no con el pez. Mientras que los métodos químicos sí se relacionan directamente con el pez por que el manejo es a través de la alimentación. Es importante mencionar que la adquisición, instalación y mantenimiento de los dispositivos, equipos o sistemas de filtración para mantener la calidad de agua se convierten en gastos que debe absorber el productor (Sneddon y col., 2016) Por otra parte, los métodos químicos comprenden la alimentación de los peces para conferirles resiliencia, es decir la capacidad de enfrentar el estrés (Herrera y col., 2020). Ciji & Akhtar, (2021) también mencionan que es posible a través la alimentación, y se clasifican el uso de compuestos nutritivos (aminoácidos, ácidos grasos, vitaminas, minerales, carotenoides y nucleótidos) y compuestos no nutritivos (derivados biológicos; prebióticos, probióticos, extractos de plantas, derivados de bacterias, levaduras, microalgas,

polisacáridos, o derivados sintéticos; propilenglicol, ácidos orgánicos y aditivos de arcilla).

La idea de usar la alimentación en el manejo del estrés es para fortalecer el sistema inmune (Fernández-Alacid y col., 2019), o al modular la actividad celular que les permita ajustar su medio interno a pesar del daño o afectación negativa causados por las prácticas acuícolas (Costas, Rêgo, Conceição, Dias, y Afonso, 2013). De hecho, está comprobado que la alimentación que le permite a los peces enfrentar fluctuaciones en su medio o algún tipo de daño es la alternativa al uso de especies genéticamente modificadas (Lim y Webster, 2001).

La alimentación natural de peces carnívoros y omnívoros incluye insectos (Henry, Gasco, Piccolo, & Fountoulaki, 2015), y se debe a la riqueza de nutrientes que contienen como proteína, grasas, vitaminas y minerales (Tran, Heuzé, & Makkar, 2015). Incluso, Józefiak y Engberg, (2017) mencionan que los insectos tienen componentes antimicrobianos. Por lo que, para la práctica acuícola, los insectos también resultan ser una estrategia preventiva en el manejo del estrés, para dejar a un lado las acciones correctivas como el uso de vacunas que pueden ser costosas y no siempre son efectivas contra la gran cantidad de importantes enfermedades comerciales (Nogales Mérida y col., 2019). En la Tabla 2 se encuentran ejemplos de cómo los insectos incluidos en la alimentación para peces han resultado en beneficio para su salud. Pero entonces ¿Qué hay de los insectos y por qué beneficiaría la salud de los peces?

**Tabla 2.** Efecto en la salud de los peces y su crecimiento, al ser alimentados con insectos

Insecto	Especie	Efecto en el pez	Referencia
Gusano de escarabajo [ <i>Tenebrio molitor</i> ]	Pez mandarín [ <i>Siniperca scherzeri</i> ]	Mejora su salud y activa respuesta antioxidante	Sankian, Khosravi, Kim, y Lee, 2018
Mosca soldado negra [ <i>Hermetia illucens</i> ]	Salmón atlántico [ <i>Salmo salar</i> ]	Baja la bioacumulación de especies de arsénico	Biancarosa y col., 2019
Mosca doméstica [ <i>Musca domestica</i> ]	Pargo japonés [ <i>Pragus major</i> ]	Promueve el crecimiento y mejora la respuesta inmune	Ido y col., 2015
Gusano de seda [ <i>Bombyx mori</i> L.]	Carpa [ <i>Cyprinus carpio</i> ]	Mejora la respuesta antioxidante	Xu y col., 2018
Grillo [ <i>Gryllus bimaculatus</i> ]	Pez gato africano [ <i>Clarias gariepinus</i> ]	Promueve crecimiento y mejora la respuesta antioxidante	Taufek y col., 2016
Saltamontes [ <i>Zonocerus variegatus</i> ]	Pez gato africano [ <i>Clarias gariepinus</i> ] Burchall. 1822	Promueve el crecimiento	Alegbeleye, Obasa, Olude, Otubu, y Jimoh, 2012

#### 4. Los insectos en la alimentación acuícola

Vale la pena mencionar antes que los insectos pertenecen a la clase Insecta o Hexapoda, miembros del filo Arthropoda, y presentan cuerpos divididos en tres segmentos; cabeza, tórax y abdomen con tres pares de extremidades articuladas vulgarmente conocidas como patas; cuando los insectos son adultos presentan uno o dos pares de alas, y están cubiertos por su esqueleto o exoesqueleto (Wigglesworth, 2020). Existen diferentes órdenes de insectos que se clasifican en Coleoptera [escarabajos], Lepidoptera [mariposas y polillas], Hymenoptera [hormigas, abejas y avispas] y Diptera [moscas verdaderas] (Wigglesworth, 2020). Los insectos que más se han utilizado en la alimentación de los peces son: mosca soldado negra (*Hermetia illucens*), mosca doméstica (*Musca domestica*), gusano de escarabajos (*Tenebrio molitor*), gusano de seda (*Antheraea sp*), grillos (*Acheta domestica*), y saltamontes (*Zonocerus variegatus*) (Makkar, Tran, Heuzé, y Ankers, 2014). En la Tabla 3 se muestra el insecto y el compuesto más abundante que podría favorecer el desarrollo de los peces, Henry y colaboradores en 2015 hizo una revisión del uso de insectos en la alimentación de los peces (Henry, Gasco, Piccolo, y Fountoulaki, 2015)

Los peces de interés comercial tienen diferentes requerimientos de ácidos grasos esenciales, pero en general los peces de agua salada son incapaces de sintetizar ácidos grasos de cadena muy larga (very long chain polyunsaturated fatty acids, VLCPUFAs por sus siglas en inglés), tal como el ácido araquidónico (20:4n-6, ARA), ácido eicosapentanoico (20:5n-3, EPA) y el ácido docosahexanoico (22:6n-3, DHA) (Tocher, 2010). En cambio, los peces de agua dulce generalmente son capaces de sintetizar VLCPUFAs, pero lo hacen a partir del ácido linoleico (18:2n-6, LA) o ácido linolénico (18:3n-3, LNA) para sintetizar los ácidos grasos de cadenas muy largas (Glencross y Rutherford, 2009). De la misma manera, son 10 los aminoácidos considerados indispensables en la alimentación de los peces, aquellos que no pueden formarse en el cuerpo y los organismos deben consumirlo a partir del alimento, entre ellos están: arginina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y

valina (Tran et al., 2015). La larva de *Musca domestica* ofrece altas concentraciones de arginina, seguido de la *Hermetia illucens* que ella aunque presente el valor bajo de histidina Nogales-Mérida y col., (2019) menciona que podría cubrir el requerimiento necesario para peces como *Heteropneustes fossilis* dicha especie utiliza a la histidina para aumentar la producción de células rojas sanguíneas (Khan y Abidi, 2014) lo que podría incrementar el transporte de oxígeno en todo su cuerpo y afrontar condiciones de baja concentración de oxígeno disuelto en el agua. También se ha demostrado la necesidad de dicho aminoácido en el salmón Atlántico al que le permite que no padezcan cataratas y sobrevivan a cambios bruscos de agua dulce a agua salada (Sambraus y col., 2017). Existe evidencia científica que al alimentar a la tilapia con la mosca doméstica (*Musca domestica*) crece igual que con la tradicional harina de pescado, y lo más sobresaliente del estudio es que disminuyó la concentración de nitrógeno y fósforo en el agua, provenientes de la excreción de los peces, lo que representa para la acuicultura una solución para el problema del tratamiento del agua durante la producción acuícola (Wang y col., 2017).

Las vitaminas como la C es uno de los nutrientes que confiere a los peces la capacidad de tolerar un ambiente con niveles tóxicos NO<sub>2</sub>, nitrito. Mientras que Al-Amoudi en 1987 demostró que si se alimentan con sales a los peces de agua dulce por un cierto lapso, se estimulan los mecanismos dedicados a excretar sales, algo que hacen con normalidad los peces que cambian de agua dulce a agua salada para completar el ciclo productivo como el salmón (Basulto, 1976).

Es justamente por la composición química que poseen algunos insectos es que se consideran una solución para la alimentación en la acuicultura ya que además de promover el desarrollo y crecimiento de los peces pueden brindar salud y bienestar para enfrentar el difícil manejo al que están sometidos en los sistemas de producción intensiva. En la Tabla 3 se muestra una lista de insectos con potencial para ser utilizados en la alimentación acuícola por el compuesto que contienen y es de interés para la resiliencia de los peces.



**Tabla 3.** Compuesto químico presente en los insectos que requieren los peces para su desarrollo

Insecto	Compuesto	Referencia
[ <i>Tenebrio molitor</i> ]	Ácido linoléico	Gutierrez y Gómez 2008
[ <i>Hermetia illucens</i> ]	Fenilalanina y tirosina	Henry y col., 2015
[ <i>Musca domestica</i> ]	Arginina	Nogales Mérida y col., (2019)
[ <i>Bombyx mori</i> L.]	Vitamina D	Oonincx y col., 2018
[ <i>Gryllus bimaculatus</i> ]	Ácido linoléico, ácido eicosapentanóico	Liland y col., 2017
[ <i>Zonocerus variegatus</i> ]	Ácido linoléico, ácido eicosapentanóico ácido docosahexanoico, arginina, histidina	Henry y col., 2015

## Conclusión

La sociedad se beneficia de los sistemas de producción intensiva, los cuales permiten que se disponga de proteína de alta de calidad, como es la de los peces. No obstante, en la operación de dichos sistemas los peces suelen sufrir daños que promueven la respuesta al estrés; como consecuencia, los peces se enferman o bien disminuyen su crecimiento. Por eso, se buscan estrategias para disminuir los efectos adversos provocados por el estrés, una de ellas es la formulación de alimentos considerando a los insectos como ingredientes; los insectos poseen en su composición sustancias que aumentan la capacidad de los peces para soportar el manejo al que están sometidos durante su cultivo. Dentro de los insectos, la larva de mosca soldado tiene un gran potencial para usarse en la elaboración de alimentos, debido a que en su composición posee los ácidos grasos, la proteína, vitaminas y minerales requeridos para la nutrición y salud de algunos peces con interés comercial. Los alimentos elaborados con insectos son una alternativa prometedora para promover el bienestar animal de los peces de granja, y contribuir al desarrollo sostenible de la acuicultura.

## Agradecimientos

Al CONACYT por financiar el trabajo doctoral bajo el acuerdo número: 632434, a las profesoras Dra. Claudia Gutiérrez Antonio y Dra. Hilda Romero Zepeda por sus recomendaciones y acompañamiento.

## Referencias bibliográficas

- Al-Amoudi, M. M. (1987). The effect of high salt diet on the direct transfer of *Oreochromis mossambicus*, *O. spilurus* and *O. aureus/O. niloticus* hybrids to sea water. *Aquaculture*, 64(4), 333-338. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(87\)90195-5](https://doi.org/10.1016/0044-8486(87)90195-5)
- Alegbeleye, W. O., Obasa, S. O., Olude, O. O., Otubu, K., & Jimoh, W. (2012). Preliminary evaluation of the nutritive value of the variegated grasshopper [*Zonocerus variegatus* L.] for African catfish *Clarias gariepinus* [Burchell. 1822] fingerlings. *Aquaculture Research*, 43(3), 412-420. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02844.x>
- Assefa, A., & Abunna, F. (2018). Maintenance of Fish Health in Aquaculture: Review of Epidemiological Approaches for Prevention and Control of Infectious Disease of Fish. *Veterinary Medicine International*, 2018, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2018/5432497>
- Basulto, S. (1976). Induced saltwater tolerance in connection with inorganic salts in the feeding of Atlantic salmon [*Salmo salar* L.]. *Aquaculture*, 8(1), 45-55. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(76\)90018-1](https://doi.org/10.1016/0044-8486(76)90018-1)
- Biancarosa, I., Sele, V., Belghit, I., Ømsrud, R., Lock, E.-J., & Amlund, H. (2019). Replacing fish meal with insect meal in the diet of Atlantic salmon [*Salmo salar*] does not impact the amount of contaminants in the feed and it lowers accumulation of arsenic in the fillet. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 36(8), 1191-1205. <https://doi.org/10.1080/19440049.2019.1619938>
- Bierschenk, B. M., Pander, J., Mueller, M., & Geist, J.

- [2019]. Fish injury and mortality at pumping stations: a comparison of conventional and fish-friendly pumps. *Marine and Freshwater Research*, 70(3), 449. <https://doi.org/10.1071/MF18116>
- Ciji, A., & Akhtar, M. S. [2021]. Stress management in aquaculture: a review of dietary interventions. *Reviews in Aquaculture*, 13(4), 2190–2247. <https://doi.org/10.1111/raq.12565>
- Cook, D. G., & Herbert, N. A. [2012]. The physiological and behavioural response of juvenile kingfish (*Seriola lalandi*) differs between escapable and inescapable progressive hypoxia. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 413, 138–144. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2011.12.006>
- Costas, B., Rêgo, P. C. N. P., Conceição, L. E. C., Dias, J., & Afonso, A. [2013]. Dietary arginine supplementation decreases plasma cortisol levels and modulates immune mechanisms in chronically stressed turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquaculture Nutrition*, 19(SUPL.1), 25–38. <https://doi.org/10.1111/anu.12086>
- Ebeling, J. M., & Timmons, M. B. [2012]. Recirculating Aquaculture Systems. In *Aquaculture Production Systems* (pp. 245–277). <https://doi.org/10.1002/9781118250105.ch11>
- Edwards, P., Zhang, W., Belton, B., & Little, D. C. [2019]. Misunderstandings, myths and mantras in aquaculture: Its contribution to world food supplies has been systematically over reported. *Marine Policy*, 106, 103547. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.103547>
- FAO. [2018]. Tilapia markets and producers diversifying as tradicional larg players lag. Retrieved from Market Reports website: <http://www.fao.org/in-action/globefish/market-reports/resource-detail/en/c/1156017/>
- FAO. [2020]. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020*. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>
- Fernández-Alacid, L., Sanahuja, I., Ordóñez-Grande, B., Sánchez-Nuño, S., Herrera, M., & Ibarz, A. [2019]. Skin mucus metabolites and cortisol in meagre fed acute stress-attenuating diets: Correlations between plasma and mucus. *Aquaculture*, 499, 185–194. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.09.039>
- Flores, A. [2019]. *Contexto, perspectivas y retos para incrementar la contribución de la pesca y la acuicultura a la seguridad alimentaria y nutricional y las economías territoriales en América Latina y el Caribe. - Alimentación, agricultura y desarrollo rural en América Latí*. Santiago de Chile.
- Francis-Floyd, R. [2002]. *Stress-Its Role in Fish Disease*. University of Florida, Gainesville: University of Florida IFAS Extension Circular 919.
- Gabriel, U. U., & Akinrotimi, O. [2011]. Management of stress in fish for sustainable aquaculture development. *Researcher*, 2(4), 28–38.
- Gao, X., Pi, D., Chen, N., Li, X., Liu, X., Yang, H., ... Zhang, X. [2018]. Survival, Virulent Characteristics, and Transcriptomic Analyses of the Pathogenic *Vibrio anguillarum* Under Starvation Stress. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2018.00389>
- García, A., & Calvario, O. [2008]. *Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola de Tilapia para la Inocuidad Alimentaria*. Mazatlán, Sinaloa, México.
- Glencross, B., & Rutherford, N. [2009]. Dietary strategies to improve the growth and feed utilization of barramundi, *Lates calcarifer* under high water temperature conditions. *Aquaculture Nutrition*, 16(4), 343–350. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00670.x>
- Hambrey, J. [2017]. *FAO Fisheries and Aquaculture Circular FIAA/C1141 (En) THE 2030 AGENDA AND THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS: THE CHALLENGE FOR AQUACULTURE DEVELOPMENT AND MANAGEMENT*.
- Harmon, T. S. [2009]. Methods for reducing stressors and maintaining water quality associated with live fish transport in tanks: a review of the basics. *Reviews in Aquaculture*, 1(1), 58–66. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2008.01003.x>
- Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G., & Fountoulaki, E. [2015]. Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future. *Animal Feed Science and Technology*, 203, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.03.001>
- Herrera, M., Fernández-alacid, L., Sanahuja, I., Ibarz, A., Salamanca, N., & Morales, E. [2020]. Physiological and metabolic effects of a tryptophan-enriched diet to face up chronic stress in meagre (*Argyrosomus regius*). *Aquaculture*, 522(February), 735102. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735102>
- Herrero Ramón, M. J. [2007]. Ritmos de actividad motora, comportamiento alimentario e influencia de la

- melatonina exógena en peces teleósteos. Universidad de Murcia.
- Hong, J., Chen, X., Liu, S., Fu, Z., Han, M., Wang, Y., ... Ma, Z. (2019). Impact of fish density on water quality and physiological response of golden pompano (*Trachinotus ovatus*) flingerlings during transportation. *Aquaculture*, 507, 260-265. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.04.040>
- Hoseinifar, S. H., Esteban, M. Á., Cuesta, A., & Sun, Y.-Z. (2015). Prebiotics and Fish Immune Response: A Review of Current Knowledge and Future Perspectives. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 23(4), 315-328. <https://doi.org/10.1080/23308249.2015.1052365>
- Ido, A., Iwai, T., Ito, K., Ohta, T., Mizushige, T., Kishida, T., ... Miura, T. (2015). Dietary effects of housefly (*Musca domestica*) (Diptera: Muscidae) pupae on the growth performance and the resistance against bacterial pathogen in red sea bream (*Pagrus major*) (Perciformes: Sparidae). *Applied Entomology and Zoology*, 50(2), 213-221. <https://doi.org/10.1007/s13355-015-0325-z>
- Jerez Cepa, I., Ruiz-Jarabo, I., & Mancera, J. M. (2019). Animal Welfare in Fish Aquaculture: Stress Attenuation through the Diet and the Use of Anesthetics during Transport. *Derecho Animal. Forum of Animal Law Studies*, 10(4), 85. <https://doi.org/10.5565/rev/da.463>
- Józefiak, A., & Engberg, R. (2017). Insect proteins as a potential source of antimicrobial peptides in livestock production. A review. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 26(2), 87-99. <https://doi.org/10.22358/jafs/69998/2017>
- Khan, M. A., & Abidi, S. F. (2014). Dietary histidine requirement of Singhi, *Heteropneustes fossilis* fry (Bloch). *Aquaculture Research*, 45(8), 1341-1354. <https://doi.org/10.1111/are.12081>
- Köhler, R., Kariuki, L., Lambert, C., & Biesalski, H. K. (2019). Protein, amino acid and mineral composition of some edible insects from Thailand. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 22(1), 372-378. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2019.02.002>
- Kumar, P., Thirunavukkarasu, A. R., Subburaj, R., & Thiagarajan, G. (2015). Concept of Stress and Its Mitigation in Aquaculture. In *Advances in Marine and Brackishwater Aquaculture* (pp. 95-100). [https://doi.org/10.1007/978-81-322-2271-2\\_10](https://doi.org/10.1007/978-81-322-2271-2_10)
- Kuntadi, K., Adalina, Y., & Maharani, K. E. (2018). NUTRITIONAL COMPOSITIONS OF SIX EDIBLE INSECTS IN JAVA. *Indonesian Journal of Forestry Research*, 5(1), 57-68. <https://doi.org/10.20886/ijfr.2018.5.1.57-68>
- Mackett, D. B., Tam, W. H., & Fryer, J. N. (1992). Histological changes in insulin-immunoreactive pancreatic  $\beta$ -cells, and suppression of insulin secretion and somatotrope activity in brook trout (*Salvelinus fontinalis*) maintained on reduced food intake or exposed to acidic environment. *Fish Physiology and Biochemistry*, 10(3), 229-243. <https://doi.org/10.1007/BF00004517>
- Makkar, H. P. S., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 1-33. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2014.07.008>
- Mateus, A. P., Power, D. M., & Canário, A. V. M. (2017). Stress and Disease in Fish. In *Fish Diseases: Prevention and Control Strategies*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804564-0.00008-9>
- Maule, A. G., Schreck, C. B., & Kaattari, S. L. (1987). Changes in the Immune System of Coho Salmon (*Oncorhynchus kisutch*) during the Parr-to-Smolt Transformation and after Implantation of Cortisol. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 44(1), 161-166. <https://doi.org/10.1139/f87-021>
- Mazur, C. F., & Iwama, G. K. (1993). Effect of handling and stocking density on hematocrit, plasma cortisol, and survival in wild and hatchery-reared chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Aquaculture*, 112(4), 291-299. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(93\)90390-K](https://doi.org/10.1016/0044-8486(93)90390-K)
- Mohapatra, S., Chakraborty, T., Kumar, V., DeBoeck, G., & Mohanta, K. N. (2013). Aquaculture and stress management: a review of probiotic intervention. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 97(3), 405-430. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2012.01301.x>
- Mottet, A., & Tempio, G. (2017). Global poultry production: current state and future outlook and challenges. *World's Poultry Science Journal*, 73(2), 245-256. <https://doi.org/10.1017/S0043933917000071>
- Nogales-Mérida, S., Gobbi, P., Józefiak, D., Mazurkiewicz, J., Dudek, K., Rawski, M., ... Józefiak, A. (2019). Insect meals in fish nutrition. *Reviews in Aquaculture*, 11(4), 1080-1103. <https://doi.org/10.1111/raq.12281>
- Pickering, A. D., & Pottinger, T. G. (1989). Stress responses and disease resistance in salmonid fish: Effects of chronic elevation of plasma cortisol. *Fish Physiology and Biochemistry*, 7(1-6), 253-258. <https://doi.org/10.1007/BF00004714>

- Pickering, A. D., Pottinger, T. G., Carragher, J., & Sumpter, J. P. (1987). The effects of acute and chronic stress on the levels of reproductive hormones in the plasma of mature male brown trout, *Salmo trutta* L. *General and Comparative Endocrinology*, 68(2), 249–259. [https://doi.org/10.1016/0016-6480\(87\)90036-0](https://doi.org/10.1016/0016-6480(87)90036-0)
- Reverter, M., Bontemps, N., Lecchini, D., Banaigs, B., & Sasal, P. (2014). Use of plant extracts in fish aquaculture as an alternative to chemotherapy: Current status and future perspectives. *Aquaculture*, 433, 50–61. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.05.048>
- Sambras, F., Fjellidal, P. G., Remø, S. C., Hevrøy, E. M., Nilsen, T. O., Thorsen, A., ... Waagbø, R. (2017). Water temperature and dietary histidine affect cataract formation in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) diploid and triploid yearling smolt. *Journal of Fish Diseases*, 40(9), 1195–1212. <https://doi.org/10.1111/jfd.12594>
- Sankian, Z., Khosravi, S., Kim, Y.-O., & Lee, S.-M. (2018). Effects of dietary inclusion of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) meal on growth performance, feed utilization, body composition, plasma biochemical indices, selected immune parameters and antioxidant enzyme activities of mandarin fish (*Siniperca scherzeri*). *Aquaculture*, 496, 79–87. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.07.012>
- Sharpe, C. S. (2007). Physiological Stress Responses to Automated and Hand Vaccine Injection Procedures in Yearling Coho Salmon. *North American Journal of Aquaculture*, 69(2), 180–184. <https://doi.org/10.1577/A06-004.1>
- Shefat, S. H. T., & Abdul, M. K. (2018). Nutritional Diseases of Fish in Aquaculture and Their Management : A Review *Acta Scientific Pharmaceutical Sciences* [ ISSN : 2581-5423 ] Nutritional Diseases of Fish in Aquaculture and Their Management : A Review. *Acta Scientific Pharmaceutical Sciences*, 2(December), 50–58
- Sigholt, T., Erikson, U., Rustad, T., Johansen, S., Nordtvedt, T. S., & Seland, A. (1997). Handling Stress and Storage Temperature Affect Meat Quality of Farmed-raised Atlantic Salmon (*Salmo Salar*). *Journal of Food Science*, 62(4), 898–905. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1997.tb15482.x>
- Sneddon, L. U., Wolfende, D. C. C., & Thomson, J. S. (2016). Stress management and welfare. In *Fish Physiology: Biology of stress in fish*. Elsevier, 2016.
- Taufek, N. M., Aspani, F., Muin, H., Raji, A. A., Razak, S. A., & Alias, Z. (2016). The effect of dietary cricket meal (*Gryllus bimaculatus*) on growth performance, antioxidant enzyme activities, and haematological response of African catfish (*Clarias gariepinus*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 42(4), 1143–1155. <https://doi.org/10.1007/s10695-016-0204-8>
- Tocher, D. R. (2010). Fatty acid requirements in ontogeny of marine and freshwater fish. *Aquaculture Research*, 41(5), 717–732. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.02150.x>
- Tran, G., Heuzé, V., & Makkar, H. P. S. (2015). Insects in fish diets. *Animal Frontiers*, 5(2), 37–44. <https://doi.org/10.2527/af.2015-0018>
- Vanderzwalmen, M., Eaton, L., Mullen, C., Henriquez, F., Carey, P., Snellgrove, D., & Sloman, K. A. (2018). The use of feed and water additives for live fish transport. *Reviews in Aquaculture*, 1–16. <https://doi.org/10.1111/raq.12239>
- Vanderzwalmen, M., Eaton, L., Mullen, C., Henriquez, F., Carey, P., Snellgrove, D., & Sloman, K. A. (2019). The use of feed and water additives for live fish transport. *Reviews in Aquaculture*, 11(1), 263–278. <https://doi.org/10.1111/raq.12239>
- Wang, L., Li, J., Jin, J. N., Zhu, F., Roffeis, M., & Zhang, X. Z. (2017). A comprehensive evaluation of replacing fishmeal with housefly (*Musca domestica*) maggot meal in the diet of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): growth performance, flesh quality, innate immunity and water environment. *Aquaculture Nutrition*, 23(5), 983–993. <https://doi.org/10.1111/anu.12466>
- Wigglesworth, V. B. (2020). Insects. Retrieved from Encyclopedia Britannica website: <https://www.britannica.com/animal/insect>
- Woynarovich, E., & Horváth, L. (1981). *Propagación artificial de peces de aguas templadas: manual para extensionistas*.
- Xu, X., Ji, H., Yu, H., & Zhou, J. (2018). Influence of replacing fish meal with enzymatic hydrolysates of defatted silkworm pupa (*Bombyx mori* L.) on growth performance, body composition and non-specific immunity of juvenile mirror carp (*Cyprinus carpio* var. *specularis*). *Aquaculture Research*, 49(4), 1480–1490. <https://doi.org/10.1111/are.13603>
- Yogev, U., Barnes, A., Giladi, I., & Gross, A. (2020). Potential environmental impact resulting from biased fish sampling in intensive aquaculture operations. *Science of The Total Environment*, 707, 135630. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135630>





## PERSPECTIVA ÉTICA SOBRE EL USO DE INSECTOS EN PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN.

## ETHICAL PERSPECTIVE ON THE USE OF INSECTS IN RESEARCH PROJECTS.

Caltzontzin-Rabell Valeria <sup>1</sup>, Romero-Zepeda Hilda <sup>1</sup>, Gutiérrez-Antonio Claudia <sup>1\*</sup>, García-Trejo Juan Fernando <sup>1</sup>, Feregrino-Pérez Ana Angélica <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Amazcala, Carreterra Chichimequillas s/n Km 1, 76265. El Marqués, Querétaro, México

\* Autor de correspondencia, correo: [claudia.gutierrez@uaq.mx](mailto:claudia.gutierrez@uaq.mx)

### Resumen

La humanidad tiene necesidades y retos que, para ser solventados, requieren la participación de organismos diversos, entre los que se encuentran los animales. En particular, la participación de los animales en los proyectos de investigación está regulada y legislada en la mayoría de los países; sin embargo, el uso de insectos en este sentido aún requiere atención. En el presente trabajo se revisó el uso de insectos como alimento, así como su participación en proyectos de investigación, describiendo el concepto de sintiencia, y discutiendo si los invertebrados lo tienen. Asimismo, se presentó un estudio de caso concreto, en el cual se utilizan larvas de mosca soldado y se revisaron los principios éticos y su relevancia en este tema. Se concluye que se requieren más estudios para confirmar si los insectos sienten o razonan. Además, se debe buscar también regular su muerte para que ésta sea digna, otorgarles el respeto y los cuidados que su manejo requiere.

Palabras clave: aspectos éticos, bienestar, entomofagia, experimentación, invertebrados, sintiencia.

### Abstract

*Humanity has needs and challenges that, in order to be solved, require the participation of diverse organisms, including animals. In particular, the participation of animals in research projects is regulated and legislated in most countries; however, the use of insects in this sense still requires attention. In this work, the use of insects as food was reviewed, as well as their participation in research projects, describing the concept of sentience, and discussing whether invertebrates have it. Likewise, a concrete case study was presented, in which black soldier fly larvae are used and ethical principles and their relevance in this topic were reviewed. It is concluded that more studies are needed to confirm whether insects feel or reason. In addition, it is also necessary to regulate their death so that it is dignified, and to give them the respect and care that their management requires.*

*Keywords: Ethical aspects, welfare, entomophagy, experimentation, invertebrates, sentience.*



## 1. Introducción

“Todos los animales son iguales, pero algunos animales son más iguales que otros”, frase del libro “Rebelión en la granja” por George Orwell (1945).

La humanidad enfrenta diversos retos, que se derivan de crisis energéticas, medioambientales, alimentarias y sanitarias; las posibles respuestas a estos retos dependen de la ciencia y la tecnología (FAO y col., 2021). La búsqueda de estas soluciones requiere, a veces, el uso de seres vivos que no cuentan con voz y decisión propia, por lo que la ética debe ver por ellos. Entre estos organismos se encuentran los animales y plantas, los cuales muchas veces son utilizados no sólo como alimentos o compañía para el ser humano, sino también como sujetos de experimentación (Baumans, 2004).

El uso de animales por humanos tiene sus inicios cuando éstos se convirtieron en cazadores; los humanos utilizaban a los lobos como armas, y ambos se unían para abatir presas grandes como mamuts (Shipman, 2014). A partir de esto, se dio la domesticación de los animales, la cual fue exitosa y continuó con la de otros animales como vacas, cabras, ovejas, cerdos, caballos y aves (Zeder, 2008). Posteriormente, su uso se generalizó no sólo como alimento sino como fuente para confeccionar vestimentas (uso de pieles y pelajes), medio de transporte, herramienta de trabajo, medio de diversión y recreación, y, recientemente, como sujetos de experimentación (Baumans, 2004). Esta domesticación se basa en un antiguo contrato donde existiría un “beneficio” para ambas partes entre el humano y los ancestros de dichas especies.

Así, el presente trabajo tiene como propósito discutir el uso de animales, enfocándose en los insectos, su uso

como alimento y como sujetos de experimentación en proyectos de investigación. Para ello se presentará un caso de estudio, la propuesta para su manejo, así como una perspectiva desde la ética.

## 2. Uso de animales como alimentos

Si se piensa en el uso que se les da a los animales, seguramente el primero que se le vendrá a la mente es el alimento. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO, 2020), el 34% de la proteína consumida proviene de animales. Actualmente, y en mayor proporción, la sociedad consume animales acuáticos, mamíferos y aves, los cuales son criados o cazados con este único fin. Aunque existen granjas en las cuales se busca un bienestar animal su manejo es usualmente inadecuado, ya que se tienen muchos individuos en espacios pequeños; lo anterior debido a que se busca minimizar el espacio requerido, así como los insumos para aumentar las ganancias. En este contexto, los insectos son un grupo poco estudiado que promete ser una alternativa sostenible a las proteínas animales convencionales.

La práctica de comer insectos se conoce como entomofagia, y se realiza en alrededor de 113 países con aproximadamente 2,000 especies comestibles conocidas. En la Tabla 1 se mencionan algunos de los insectos mayormente consumidos a nivel mundial. Si se compara con el ganado convencional, los insectos tienen una mayor tasa de conversión de alimento por lo que resultan más eficientes. Además, se sabe que los insectos tienen un alto valor nutricional, ya que están compuestos principalmente de proteínas y grasa (Rumpold y Schlüter 2013).

**Tabla 1.** Insectos más consumidos a nivel mundial (van Huis y col., 2013).

Insecto	Orden	Principales familias	% total de consumo	Lugar de consumo principal
Escarabajos	Coleoptera	Dytiscidae, Gyrinidae, Hydrophilidae y Tenebrionidae	31	África, Asia, Latinoamérica y Países Bajos
Orugas o gusanos	Lepidoptera	Noctuidae y Saturniidae	18	África y México

<b>Abejas, avispones y hormigas</b>	Hymenoptera	Vespidae y Formicidae, Bombycidae, Meliponidae y Apidae	14	Latinoamérica
<b>Saltamontes y grillos</b>	Orthoptera	Pyrgomorphidae y Gryllidae	13	México, África, Japón, Corea y Tailandia
<b>Chinches y cigarras</b>	Hemiptera	Dactylopiidae, Pentatomidae, Corixidae y Notonectidae	10	México, África y Asia
<b>Termitas</b>	Isoptera	Termitidae	3	África
<b>Libélulas</b>	Odonata	-	3	África, Asia y Latinoamérica
<b>Moscas</b>	Diptera	-	2	África, Asia y Latinoamérica
<b>Otros</b>	Dictyoptera y Megaloptera	-	6	África, Asia y Latinoamérica

Ahora bien, el uso de los insectos requiere cierta atención en algunos aspectos, los cuales se han abordado por diversos autores. Por ejemplo, respecto a la seguridad, se ha mencionado que algunos insectos no son seguros para ser usados como alimento humano; lo anterior debido a que pueden provocar reacciones alérgicas, infecciones por bacterias y virus, o bien contener moléculas tóxicas naturales o de pesticidas (Gjerris y col. 2016). Por ello, se ha buscado su inclusión en alimentos para animales; existen varios artículos en los que se aborda el uso de insectos como alimento para salmón y carpa, obteniendo buenos resultados, lo que abre una ventana para su uso en otras especies (Hu y col. 2020; Lock y col. 2016; Li y col. 2017). Además, su uso como alternativa a la proteína animal puede ayudar a disminuir problemas ambientales, tales como la generación de gases de efecto invernadero, ya que la cría de los insectos es una tecnología de conversión que puede disminuir los volúmenes de residuos orgánicos, además de generar biomásas que pueden emplearse para generar nuevos productos (Giroto y Cossu, 2019). El uso de insectos como alimento ofrece entonces una ventana de oportunidad para mejorar la nutrición humana y animal al mismo tiempo que disminuye residuos, la emisión de gases de efecto invernadero y, con ello, la contaminación

que éstos generan. En la siguiente sección se aborda otro de los usos de animales e insectos como modelos de experimentación.

### 3. Uso de animales como sujetos de experimentación

Como se mencionó previamente, los animales han sido empleados con diferentes fines; uno de ellos es justamente su empleo como sujeto de experimentación en proyectos de investigación, lo cual siempre ha generado un debate. Por ejemplo, las vacunas que se desarrollan, los medicamentos que se consumen, y hasta el maquillaje se deben probar en animales para asegurar el menor riesgo posible en humanos. Aproximadamente 834,453 animales fueron utilizados en los Estados Unidos en 2014 con este propósito (USDA, 2014). El uso de animales para los fines antes mencionados parece necesario, ya que ayuda a reducir los riesgos de efectos negativos en humanos; no obstante, se debe asegurar el buen manejo de los organismos. De acuerdo con la USDA, de los grupos utilizados el 70% son ratones, ratas, pájaros, peces, conejillos de indias, hámsteres y conejos. Cuando se sustituye al ser humano en un experimento

por otro ser vivo se le conoce a éste último como modelo animal, y su uso debe hacerse bajo diferentes principios los cuales incluyen a las 3 R's (Reemplazar, Reducir y Refinar) [APA, 2020; AMVA, 2020]:

- (1) Usar organismos poco complejos como bacterias, moscas, modelos de computación o plantas antes que mamíferos (Reemplazar)
- (2) Reducir el número de animales tanto como sea posible, buscando no repetir información ya obtenida de otros experimentos y haciendo una minuciosa planeación del mismo (Reducir)
- (3) Proveer a los animales de agua, alimento y buen manejo
- (4) Cuidar la salud y la higiene de los animales
- (5) Tratar de forma respetuosa a los animales, y, cuando sea necesario, brindarles una muerte responsable
- (6) Otorgar el mejor tratamiento posible a los animales utilizados, reduciendo el dolor y sufrimiento tanto como sea posible (Refinar)

Cabe mencionar que los insectos no figuran la lista de animales más utilizados; sin embargo, su uso cobra cada vez más relevancia, por lo que la reglamentación respecto a su uso es necesaria. Los insectos son

de importancia científica ya que usualmente son utilizados como modelos de comportamiento animal, genética, biología molecular e investigación sobre plaguicidas en desarrollo (Adamo, 2016). Esto se debe principalmente a que los insectos son fáciles de manipular, tienen recursos genéticos que permiten evaluar vías metabólicas e inmunitarias (Pernice y col., 2014), son ideales porque muchas especies tienen plasticidad fenotípica, es decir, se presentan en dos o más fenotipos morfológicamente distintos y definidos por el mismo genotipo (Mukherjee y col., 2015). También son más resistentes a cirugías y sus tejidos son más resistentes que los de los vertebrados y son fáciles de cultivar (Law y Wells, 1989); además, Simons y Tibbetts (2019) mencionan que pueden ser utilizados para estudiar la evolución de la cognición en animales (Simons y Tibbetts, 2019). Finalmente, al tener una importante relación con el ambiente, los efectos que algunos factores, como la contaminación, tienen en los insectos, los convierten en bioindicadores si su desarrollo se ve afectado (Azam y col., 2015).

En la Tabla 2, se mencionan los únicos datos reportados sobre algunos de los insectos que más se utilizan en la experimentación.

**Tabla 2.** Insectos que más se utilizan en la experimentación (Kerkut, 1985).

Insecto	Nombre científico	Uso principal
Mosca de la fruta	<i>Drosophila melanogaster</i>	Investigación genética, fisiológica, patogénesis de microorganismos y evolución de la vida.
Cucaracha americana o roja	<i>Periplaneta americana</i>	Pruebas de toxicidad, bases neuronales del aprendizaje y memoria.
Langosta o saltamontes	<i>Locusta migratoria</i>	Aislamiento de péptidos y hormonas.
Mosca	<i>Calliphora sp.</i>	Regulación hormonal.
Gusano del tabaco	<i>Manduca sexta</i>	Probar toxinas del tabaco, inmunología, patogénesis de microorganismos y mecánica de vuelo.
Gusano de la seda	<i>Bombyx mori</i>	Modelo genómico y genético.
Mosca común	<i>Musca domestica</i>	Resistencia a insecticidas, uso de larvas como alimento.
Gusano de la harina	<i>Tenebrio molitor</i>	Investigación fisiológica, aislamiento de péptidos y como alimento.
Mosquito	<i>Aedes aegypti</i>	Modelo genómico y genético.

Como se mencionó, el uso de insectos y animales resulta de interés gracias a las características que, específicamente, los insectos presentan. Es por ello que su uso y manejo requiere una regulación ética y legal.

#### 4. Regulación ética y legal respecto al manejo de animales

Diversos países tienen reglamentaciones respecto al uso de animales en la experimentación. En Reino Unido cuentan con varios instructivos; en Canadá, el “Canadian Council on Animal Care” tiene una guía con lineamientos sobre su uso, desde la responsabilidad de la persona que los manejará hasta la muerte y el manejo de dolor (CCAC, 2020). En Estados Unidos existen también diversos documentos que abordan este tema, entre ellos “Los principios del Bienestar Animal” editado por la Asociación Americana de Médicos Veterinarios (AMVA, 2020). En España se reconoce la capacidad de sentir de los animales; sin embargo, se les sigue catalogando como “bienes inmuebles” cuando éstos son mencionados en las leyes relacionadas (Ley de modificación del Código Civil, Ley Hipotecaria y Ley de Enjuiciamiento Civil sobre el régimen jurídico de los animales).

En México, en el año de 2009, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación publicó en el Diario Oficial del Gobierno Mexicano la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999 “Especificaciones técnicas para la Producción, Cuidado y Uso de los Animales de Laboratorio”; en esta norma se incluye el manejo de los organismos en experimentos. Sin embargo, y al igual que los otros documentos, no se mencionan los insectos salvo en que debe impedirse su entrada al bioterio para evitar la contaminación de los modelos animales.

En un trabajo de Pali-Schöll y col. (2019) se menciona que para la cría de insectos se requiere higiene, condiciones climáticas fáciles de controlar, alimentos baratos y de fácil disposición, así como que las especies elegidas sean de rápido crecimiento. Los insectos deben ser sociables entre ellos para evitar el canibalismo, provenir de climas tropicales, que puedan coexistir con humanos, que se usen como alimento para animales, o bien que se alimenten de desperdicios. Además, en dicho trabajo se menciona que, para prevenir el dolor, en caso

de que existiera, se debería anestésiar a los insectos previo a su manejo (Pali-Schöll y col. 2019).

Actualmente, aunque la mayoría de las normas no mencionan a los insectos, existen prácticas éticas utilizadas para el manejo y uso de insectos en la investigación que incorporan las previamente mencionadas tres R's (Reemplazar, Reducir y Refinar) (APA, 2020; AMVA, 2020); en 2019, Fisher y Larson propusieron su adaptación para los insectos. Por ejemplo, los entomólogos deben estudiar a los insectos evitando su muerte y, en caso de no poder evitarlo, se debe reducir el número de ellos y hacerlo por congelación. Además, deben perfeccionar sus métodos de captura de manera que se tome en cuenta su bienestar (Fisher y Larson, 2019). El bienestar de los organismos está relacionado con su sintiencia.

#### 5. Sintiencia

La sintiencia se refiere a la capacidad de un organismo de sentir algo, ya sea positivo o negativo (Broom, 2019). Un anexo al Tratado Constitutivo de la Unión Europea llamado “Protocolo sobre la protección y bienestar de los animales” fue de los primeros, en el año de 1977, en reconocer la sintiencia en los animales. En dicho protocolo se reconoce la sensibilidad de los animales, y que su bienestar deberá considerarse al momento de realizar cualquier manejo de ellos como alimento, sujetos de experimentación, entre otros (European Union, 1977). Posteriormente, la declaración de Cambridge de 2012 menciona que los humanos no son los únicos en poseer neuronas que dan lugar a la consciencia (Low y col. 2012). Se sabe que, entre los animales, el elefante, el humano y el gorila son los que más neuronas contienen (86, 33 y 25 mil millones de neuronas respectivamente), y a esto se le atribuyen capacidades de razonamiento y consciencia (Herculano-Houzel, 2009). Entre los insectos, se encuentra que la mosca de la fruta y la hormiga cuentan con 250,000 neuronas, la abeja con 960,000 y la cucaracha llega apenas al millón. Por ello, diversos reportes no consideran que los insectos cuentan con un sistema nervioso que tenga sintiencia; sin embargo, existen reportes de arañas que recuerdan los lugares de su red donde hay más insectos, así como cucarachas entrenadas y condicionadas en laboratorios (Oliveira y Goldim, 2014). Además, si se compara la relación entre peso y neuronas,

como se muestra en la Tabla 3, se observa que la hormiga, por ejemplo, tiene hasta cien veces más neuronas por kilogramo que los humanos. Sin embargo, la organización de su sistema nervioso central es una de las principales objeciones a que los insectos experimentan dolor y no algo llamado “nocicepción”, el cual es un proceso fisiológico relacionado únicamente con la actividad nerviosa sin necesariamente existir dolor.

El sistema de los insectos consiste en varios cerebros distribuidos y, aunque aún se investigan sus funciones, se ha observado que tienen áreas funcionalmente similares a las áreas de recompensa en los vertebrados. Se ha demostrado que los insectos pueden modificar su entrada nociceptiva, lo cual suele ser una prueba de que un animal experimenta dolor (Johnson y Carder, 2012; Giurfa, 2013). No obstante, se requieren más estudios que confirmen cómo las neuronas encontradas en los invertebrados puedan hacer que

éstos perciban dolor, o bien si tienen consciencia y uso de razón. Si no se comprende cómo está estructurado el sistema o el tamaño mínimo que éste requiere para apoyar el sentimiento de dolor, y no sólo la nocicepción, no se cuenta con ningún método para determinar si los insectos pueden sentir dolor (Adamo, 2016).

Existen algunas prácticas éticas relacionadas al muestreo de insectos, las cuales mencionan que se debe contar los permisos necesarios, no se deben tomar muestras que obstaculicen otras investigaciones y no alterar el ecosistema al momento de muestrear. Se debe limitar también el número de organismos, minimizar o evitar el muestreo de especies raras y estudiar siempre que sea posible organismos vivos (Fisher y Larson, 2019). A partir de lo anterior, si se confirma la sintiencia en los insectos, ésta pudiera ser utilizada como argumento ético regulatorio, el cual deberá basarse en futuros experimentos de comportamiento y su relación con el sistema nervioso.

**Tabla 3.** Relación entre peso y neuronas de algunos organismos.

Organismo	Peso [kg]	Número de neuronas	Neuronas/kg	Referencia
Elefante	5,000	86,000,000,000	17,200,000	Robertson-Bullock, 1961
Humano promedio	67	33,000,000,000	492,537,313	Walpole y col. 2012
Hormiga	0.000005	250,000	50,000,000,000	Moore, 2014

## 6. Caso de estudio en Campus Amazcala

El Campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro se ubica en el municipio de El Marqués, Querétaro; en este Campus se cuenta con una planta piloto para la producción de larvas de mosca soldado (*Hermetia illucens*). Las larvas son criadas en sustratos estandarizados para su uso en investigación para la extracción de productos de valor agregado como proteínas, o bien para la producción de biocombustibles y productos químicos. En este contexto, y bajo los reglamentos revisados, se utiliza el método de congelación como método de muerte, ya que así es como estos insectos mueren de manera natural (Ficher y Larson, 2019); además, este método no afecta algunas macromoléculas de interés, como las proteínas.

En el desarrollo de proyectos de investigación, es sumamente importante que los estudiantes reciban una capacitación sobre el manejo de estas larvas; esto incluye manipularlas lo menos posible para reducir estrés (Adamo, 2016), mantenerlas en su temperatura (24-30 °C) y humedad (60-90%) óptima (Dortmans y col., 2017), así como matarlas de la manera menos dolorosa posible. Asimismo, se les otorga un espacio adecuado a las condiciones seleccionadas para continuar con su ciclo de vida como moscas y puedan reproducirse y volar.

Actualmente, en el Campus Amazcala se cuenta con los espacios necesarios para el desarrollo y bienestar de las larvas y moscas, además de contar con un congelador para su muerte (Ficher y Larson, 2019). En dicho Campus se desarrollan diversos estudios para la biotransformación



de residuos, entre los que destaca un proyecto de investigación para la conversión de residuos lácteos (como suero de leche y natillas) en biocombustibles y productos de valor agregado; esto se realizará utilizando larvas de mosca soldado como proceso biológico de conversión, y los productos de interés se extraerán/generarán a partir de la biomasa de las larvas (Figura 1). En este proyecto, las larvas no sólo disminuirán el volumen de dichos residuos, cuya descomposición contamina el ambiente, sino que también generarán biomasa que podrá ser utilizada para extraer/producir biocombustibles y productos de valor agregado. Por lo anterior, se sugiere realizar un manual sobre el manejo de estos insectos para que las personas que desarrollen proyectos con estos organismos en dicha planta piloto, puedan darles el manejo que merecen, así como una muerte adecuada.



**Figura 1.** Moscas y larvas de mosca soldado utilizadas para convertir residuos lácteos.

## 7. Perspectiva ética

Los principios de la ética son beneficencia, autonomía, justicia y no maleficencia (Holm, 2002); con base en ellos se puede comenzar a plantear si el uso actual de los animales e insectos en la investigación es el adecuado o no. Dicho análisis se presenta a continuación.

El principio de beneficencia plantea que exista la mayor cantidad de beneficios posibles; en este sentido, el uso de animales e insectos como alimentos o sujetos de experimentación se justifica dado que beneficia a los seres humanos u otros animales. No obstante, al utilizarlos de esta manera usualmente se termina con la vida de los organismos, por lo que no se cumple con este principio. Ahora bien, desde un punto de vista antropocéntrico el uso de animales e insectos refiere un importante beneficio para la humanidad, por lo que podría realizarse siempre y cuando se les tenga respeto, se les dé una muerte responsable, y se tenga un manejo sustentable.

La autonomía es otro principio que si se analiza desde la perspectiva de los animales e insectos no se cumple; lo anterior se debe a que no se les puede pedir su autorización para su uso y muerte. Bajo este enunciado, la autonomía no debería considerarse en este grupo; no obstante, es importante mencionar que los insectos merecen ser respetados al igual que cualquier otro ser vivo. En este aspecto, se podría comparar la autonomía de los animales e insectos con la de las personas que han perdido capacidades de decisión o niños pequeños; en estos casos, en la práctica se tienen tutores, por lo que en este sentido la humanidad es tutora de los animales, plantas e insectos y su uso.

Respecto al principio de justicia, la regulación del manejo de insectos está muy poco avanzada en comparación del manejo de otros animales; por lo que este principio no se cumple, en definitiva, y es obligación de la sociedad buscar que se lleve a cabo. Por ejemplo, en las normas revisadas en la sección IV (Canadian Council on Animal Care de Canadá, Los principios del Bienestar Animal de Estados Unidos y la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999 “Especificaciones técnicas para la Producción, Cuidado y Uso de los Animales de Laboratorio”) se prefiere el uso de insectos sobre el de mamíferos, lo cual genera una jerarquía que puede ser cuestionable.

Finalmente, el principio de no maleficencia considera la obligación de no hacer daño; en el caso de los animales e insectos tampoco se cumple, ya que la mayoría de éstos mueren. Lo que si se podría realizar es un buen manejo y trato adecuado de estos seres, para que su muerte sea lo más digna posible según las normas preestablecidas para el manejo de animales. Por ello, es de suma importancia que las personas que tengan un manejo de organismos sean entrenados, sensibilizados o capacitados previamente; así, se podrá disminuir el estrés al que pudieran someterse los insectos durante la experimentación. Ante la duda de si tienen sintiencia o no se debe seguir el principio de precaución, por lo que es de suma importancia regular o restringir su uso.

Como se observa, algunos de los principios se contraponen entre ellos; no obstante, considerando la falta de estudios científicos al respecto, el principio que en este caso se debiera favorecer sería el de no maleficencia, buscando así causar el menor daño posible

o el menor sufrimiento en caso de muerte (Adamo, 2016). El uso ético de los insectos en la experimentación es de suma relevancia debido a la cantidad de beneficios que nos otorgan. Frente a los modelos vertebrados, sus genomas son más simples, sus rasgos característicos más definidos, su cría y manejo es más sencillo, sus tejidos son más sólidos y resistentes y tienen una estrecha relación con el ambiente lo cual permite su uso como bioindicadores en un ecosistema y otorgan datos sobre el mismo que difícilmente podrían obtenerse sin ellos (Adamo, 2016; (Pernice y col., 2014; Law y Wells, 1989; Simons y Tibbetts, 2019; Azam y col., 2015). Todas estas características los convierten en excelentes modelos de estudio para el desarrollo de nuevos alimentos, fármacos o pesticidas; su uso plantea beneficios no sólo para la humanidad sino también para otros animales.

Una legislación respecto a su uso ético no es viable aún debido a las pocas pruebas que hay respecto a su sistema nervioso central. Se requieren experimentos neuroetológicos y de comportamiento que permitan un mejor acercamiento y con ello definir las implicaciones respecto a su uso en la experimentación (Adamo, 2016). Al no poder reconocer con fundamento científico si los insectos sienten, se debe considerar que el manejo de los sujetos de experimentación en la ciencia debería ser el mismo en todos los países; por lo que una regulación general en torno a este tema es necesaria ya que, si se tiene una metodología deficiente para el manejo de animales entonces se obtendrá una experimentación inadecuada.

## Conclusiones y perspectivas.

En este trabajo se revisaron algunos temas respecto al uso de animales como alimento y sujeto de experimentación. Se observaron algunas regulaciones existentes en este sentido. También se realizó una crítica ética, y se revisó un caso de estudio en el Campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro. Asimismo, se mencionaron las razones por las cuales los insectos son utilizados como modelos de estudio, así como las ventajas que presentan frente a otros vertebrados.

El uso de insectos como alimentos y sujetos de experimentación se justifica por la cantidad de beneficios

que nos otorgan; sin embargo, aún faltan estudios que determinen si éstos son capaces de percibir o no dolor. De igual manera se requieren también más estudios respecto a una muerte digna en los insectos, dado que este tema no está regulado y actualmente, el método de muerte vela por la manera “natural” en la que la mayoría de los insectos muere, que es por congelación.

Según lo revisado en este trabajo, aún se desconoce si los insectos son capaces de sentir dolor. Es posible que nuevos estudios neurocientíficos puedan orientar sobre el tamaño mínimo o arquitectura neuronal necesaria para determinar la sentiencia. Mientras esto ocurre, al prometer un inmenso apoyo en la resolución de problemas que, como humanidad enfrentamos, los insectos utilizados deben de ser tratados con respecto y cuidado, independientemente de si experimentan dolor o no de manera que no se les genere estrés y tengan bienestar.

## Referencias bibliográficas.

- Adamo S. A. (2016). Do insects feel pain? A question at the intersection of animal behaviour, philosophy and robotics. *Animal Behaviour*, 118, (pp. 75-79).
- American Psychological Association. (2020). Ethics in research with animals. Obtenido de: <https://www.apa.org/monitor/jan03/animals>
- American Veterinary Medical Association. (2020). AVMA animal welfare principles. Obtenido de: <https://www.avma.org/resources-tools/avma-policies/avma-animal-welfare-principles>
- Azam I., Afsheen S., Zia A., Javed M., Saeed R., Sarwar M. K., Munir B. (2015). Evaluating Insects as Bioindicators of Heavy Metal Contamination and Accumulation near Industrial Area of Gujrat, Pakistan, *BioMed Research International*, (pp. 11).
- Baumans, V. (2004). Use of animals in experimental research: an ethical dilemma? *Gene Therapy*, 11, (pp. S64-S66).
- Broom, D.M. (2019). Sentience. En *Encyclopedia of Animal Behavior* [Segunda Edición] (pp. 131-133). Academic Press. ISBN 9780128132524. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.90147-X>
- CCAC. Canadian Council on Animal Care. (1993). Guide

- to the care and use of experimental animals. Vol. 1 and 2nd ed. Ottawa, Ontario. Obtenido de: [https://ccac.ca/Documents/Standards/Guidelines/Experimental\\_Animals\\_Vol1.pdf](https://ccac.ca/Documents/Standards/Guidelines/Experimental_Animals_Vol1.pdf)
- Dortmans B.M.A., Diener S., Verstappen B.M. y Zurbrügg C. (2017). Black Soldier Fly Biowaste Processing – A Step-by-Step Guide Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Dübendorf, Switzerland.
- European Union. (1977). Tratado Constitutivo de la Unión Europea. Obtenido de: [https://europa.eu/european-union/law/treaties\\_es](https://europa.eu/european-union/law/treaties_es)
- FAO. (2020). Obtenido de: <http://www.fao.org/animal-production/es/>
- FAO, FIDA, OMS, PMA y UNICEF. (2021). Versión resumida de: El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2021. Transformación de los sistemas alimentarios en aras de la seguridad alimentaria, una mejor nutrición y dietas asequibles y saludables para todos. Roma, FAO.
- Fischer, B. y Larson, B.M.H. (2019), Collecting insects to conserve them: a call for ethical caution. *Insect Conservation and Diversity*, 12, (pp. 173-182).
- Giroto F y Cossu R. (2019). Role of animals in waste management with a focus on invertebrates' biorefinery: An overview. *Environmental Reviews*, 32, (pp. 0-1).
- Giurfa, M. (2013). Cognition with few neurons: higher-order learning in insects. *Trends in Neurosciences*, 36, 285e294.
- Gjerris M., Gamborg C. y Röcklinsberg H. (2016). Ethical aspects of insect production for food and feed. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2:2, (pp. 101-110).
- Herculano-Houzel S. (2009). The human brain in numbers: a linearly scaled-up primate brain. *Frontiers in Human Neuroscience*, 3:31.
- Holm S. (2002). Principles of Biomedical Ethics, 5th edn. *Journal of Medical Ethics*; 28:332.
- Hu Y, Huang Y, Tang T, Zhong L, Chu W, Dai Z. (2020). Effect of partial black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal replacement of fish meal in practical diets on the growth, digestive enzyme and related gene expression for rice field eel (*Monopterus albus*). *Aquaculture Reports*, 17.
- Johnson, W. A. y Carder, J. W. (2012). Drosophila nociceptors mediate larval aversion to dry surface environments utilizing both the painless TRP channel and the DEG/ENaC subunit, PPK1. *PLoS One*, 7, e32878.
- Kerkut, G. (1985). Which insects are most used in physiological and biochemical research? *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 81:4 (pp. 705-706).
- Law, J. H. y Wells, M. A. (1989). Insects as biochemical models. *Journal of Biological Chemistry*, 264:28 (pp. 16335-16338).
- Li, S., Ji, H., Zhang, B., Zhou, J., y Yu, H. (2017). Defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal in diets for juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian): Growth performance, antioxidant enzyme activities, digestive enzyme activities, intestine and hepatopancreas histological structure. *Aquaculture*, 477 (62-70).
- Lock, E. R., Arsiwalla, T. y Waagbø, R. (2016). Insect larvae meal as an alternative source of nutrients in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolt. *Aquaculture Nutrition*, 22.
- Low P., Panksepp J., Reiss D., Edelman D., Van Swinderen B. y Koch C. (2012). The Cambridge Declaration on Consciousness. Frances Crick Memorial Conference on Consciousness in Human and non-Human Animals. Obtenido de: <http://fcmconference.org/img/CambridgeDeclarationOnConsciousness.pdf>
- Moore H. (2014). Are all the ants as heavy as all the humans? BBC News. Obtenido el 10 diciembre del 2020 de: <https://www.bbc.com/news/magazine-29281253>
- Mukherjee K., Tuyman R. M. y Vilcinskas A. (2015). Insects as models to study the epigenetic basis of disease. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 118:1-2 (pp. 69-78).
- Oliveira y Goldim. (2014). Animal protection legislation for scientific purposes and the non-inclusion of invertebrates – a bioethical analysis. *Revista Bioética*, 22:1 (pp. 45-55).
- Orwell G. (1945). Rebelión en la granja. Londres (pp. 187).

- Pali-Schöll I., Binder R., Moens Y., Polesny F. y Monsó S. (2019). Edible insects – defining knowledge gaps in biological and ethical considerations of entomophagy. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59:17, (pp. 2760–2771).
- Pernice M., Simpson S. J., Ponton F. (2014). Towards an integrated understanding of gut microbiota using insects as model systems. *Journal of Insect Physiology*, 69, (pp. 12–18).
- Proposición de Ley de modificación del Código Civil, la Ley Hipotecaria y la Ley de Enjuiciamiento Civil, sobre el régimen jurídico de los animales. (2021). Presentada por los Grupos Parlamentarios Socialista y Confederal de Unidas Podemos-En Comú Podem-Galicia en Común.
- Rumpold B.A., Schlüter O.K. (2013). Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 17 (pp. 1–11).
- Shipman P. (2014). How do you kill 86 mammoths? Taphonomic investigations of mammoth megasites. *Quaternary International* (pp.1-9).
- Simons M. y Tibbetts E. (2019). Insects as models for studying the evolution of animal cognition. *Current Opinion in Insect Science*, 34 (pp. 117–122).
- USDA. (2014). Annual Report Animal Usage by Fiscal Year: 2014. Obtenido de: [https://www.aphis.usda.gov/animal\\_welfare/downloads/7023/Animals%20Used%20In%20Research%202014.pdf](https://www.aphis.usda.gov/animal_welfare/downloads/7023/Animals%20Used%20In%20Research%202014.pdf)
- van Huis A., Van Itterbeeck J., Klunder H., Mertens E., Halloran A., Muir G. y Vantomme P. (2013). Edible insects Future prospects for food and feed security. *FAO Forestry, Paper 171*, (pp. 187). ISSN 0258–6150.
- Walpole S. C., Prieto-Merino D., Edwards P., Cleland J., Stevens G. y Roberts I. (2012). The weight of nations: an estimation of adult human biomass. *BioMed Central Public Health*, 12:439.
- Zeder M. A. (2008). Domestication and early agriculture in the Mediterranean Basin: Origins, diffusion, and impact. , 105: 33, (pp. 11597–11604).





## LAS ÁREAS VERDES URBANAS Y ARBOLADO URBANO COMO IMPULSORES DE CIUDADES SOSTENIBLES: CASO DE ESTUDIO PARQUE JARDINES DE LA HACIENDA

## URBAN GREEN SPACES AND URBAN FORESTS AS IMPULSORS OF SUSTAINABLE CITIES: CASE STUDY JARDINES DE LA HACIENDA PARK

López - Moyao César Ricardo<sup>1</sup>\*, Rosillo - Pantoja Izarely<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro, Av. de las ciencias S/N, Juriquilla, Qro. México

\* Autor de correspondencia, correo: [heycesarno@hotmail.com](mailto:heycesarno@hotmail.com)

### Resumen

El presente documento aborda la relación de los conceptos de ciudades sostenibles y servicios ambientales equiparándolos desde una perspectiva económica.

Esto se realizó a través una comparación del valor económico de los servicios ambientales que provee un área verde urbana y el gasto público en materias afines de la Ciudad de Querétaro, México, con el fin de analizar la idoneidad de las áreas verdes urbanas dentro del gasto público para encaminar a los espacios urbanos a la sostenibilidad.

El análisis fue elaborado a través de un estudio espacial y económico usando técnicas mixtas de ciencias forestales, de Sistemas de Información Geográfica del software iTree y estadística simple tomando como zona de estudio el Parque Jardines de la Hacienda, Querétaro.

Como resultado se obtuvo que el valor monetario del parque es alrededor de 12.7 millones de pesos, cifra que representa el 0.92% del Presupuesto Municipal Total en 2017, último año reportado durante la elaboración de este estudio.

Queda así demostrada la factibilidad de las áreas verdes urbanas para dirigir a las ciudades en desarrollo a un marco de sostenibilidad y mejorar la calidad de vida de la población.

Palabras clave: Áreas verdes urbanas, desarrollo urbano, servicios ambientales, sostenibilidad, SIG

### Abstract

*The current document addresses the relationship between the sustainable cities and ecosystem services from an economic perspective.*

*This was performed by comparing the economic value of the ecosystem services provided by an urban green space and the public expenditure in related subjects of the City of Querétaro, Mexico, in order to analyze the aptitude of the urban green spaces in public expenditure to direct the urban spaces to sustainability.*

*The analysis was elaborated through a spatial and economic study using mixed techniques of forestry, Geographic Information Systems of the iTree software and simple statistics taking the Jardines de la Hacienda Park, Querétaro as the study area.*

*As a result, it was obtained that the monetary value of the park 12.7 million of Mexican pesos, figure that represents the 0.92% of the Total Municipal Budget in 2017, last year reported during the preparation of the study.*

*This demonstrates the feasibility of urban green areas to route the developing cities to a framework of sustainability and improve the quality of life of the population.*

*Keywords: Green urban spaces, urban development, ecosystem services, sustainability, GIS*



## 1. Los objetivos de desarrollo sostenible:

### 11. Ciudades y comunidades sostenibles

El Desarrollo Sostenible es un modelo de desarrollo que busca el crecimiento socioeconómico, la satisfacción de las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer las propias (ONU, 2019). Para el logro de este objetivo global se deben tomar en cuenta los desafíos que enfrenta el mundo actualmente.

Desde la creación y el desarrollo del concepto de desarrollo sostenible, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha realizado iniciativas para orientar a los distintos países miembros hacia este paradigma de desarrollo. En el año 2000, se expidieron los Objetivos del Desarrollo del Milenio (ODM) para priorizar los problemas a resolver mundialmente.

En continuidad de los ODM, la ONU expidió, en 2015, 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible con metas específicas a cumplir concentrados en la Agenda 2030 para dicho año por los 193 países miembros, entre ellos México (ONU, 2015). A diferencia de los anteriores se incluyeron nuevos desafíos como el cambio climático, la desigualdad económica, entre otros, en atención de nuevas problemáticas mundiales.

En este caso de estudio se analizará el Objetivo 11. Ciudades y Comunidades Sostenibles. En este se mencionan metas enfocadas en materia ambiental las cuáles son buscar la reducción del impacto ambiental, la mejora de la calidad del aire, la mitigación del cambio climático y la proporción a la ciudadanía de zonas y espacios verdes para todos protegiendo y salvaguardando el patrimonio natural del lugar (ONU, 2015).

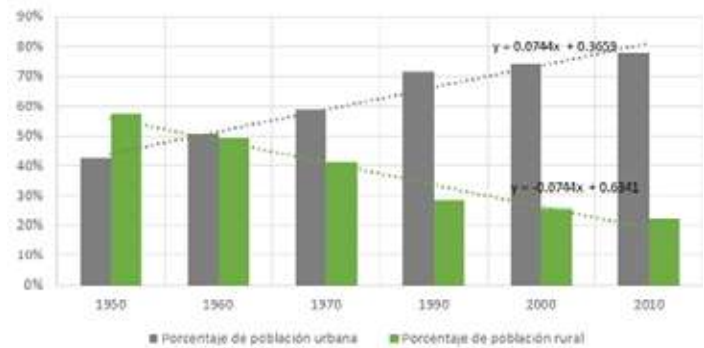
Al analizar la ciudad se le debe mirar como a un ente vivo ya que se encuentran en continuo crecimiento. El crecimiento de las ciudades es un fenómeno a abordar mediante el paradigma del desarrollo sostenible buscando opciones para el logro de las metas mencionadas.

Las ciudades tienen unidades gestoras, las metas propuestas por el Objetivo 11 tocan distintos sectores del gobierno local. Por lo cual las acciones a realizar en materia de desarrollo sostenible deben ser intersectoriales. El cambio de paradigma es menester en la búsqueda de ciudades sostenibles, de acuerdo a Rosillo-Pantoja y Gutiérrez-Yurrita (2010) la estructura de la administración pública debe adaptarse a los nuevos retos

sociales primordialmente en cara a la sustentabilidad con la creación de instancias especializadas en el tema.

Las ciudades y su crecimiento es un asunto de alta

**Gráfica 1.** Porcentaje de población urbana y rural en México.



**Fuente:** Elaboración con los datos de Población Rural y Urbana del Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (s.f.).

preocupación. De acuerdo a datos de la ONU (2018) en 2016, 91% de la población urbana respiraba aire fuera de los parámetros establecidos por la Organización Mundial de la Salud, por lo que el incumplimiento de las metas resulta vulnerar la salud pública.

La responsabilidad de migrar hacia el modelo de desarrollo sostenible debe ser compartida entre la autoridad y la sociedad, resulta indispensable el cambio cultural, la reforma de los modelos productivos y de desarrollo y finalmente el estilo de vida (Rosillo-Pantoja, 2016) de los habitantes de las urbes del mundo.

Desde el Siglo XX, en todo el mundo, la dinámica de los asentamientos humanos se ha orientado hacia el crecimiento de las ciudades. De acuerdo a Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2010), en México en la década de los 50 el 42.6% de la población vivía en las ciudades, para la década presente, 2010, el 77.8% de la población vive en las ciudades, por lo que el país obedece esta tendencia global. Al observar la Gráfica 1, se nota una clara tendencia de migración a las ciudades con un coeficiente de crecimiento ( $m=0.0744$ ) para las urbes y el mismo coeficiente en negativo para la población en localidades rurales.

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) define los cambios de uso de suelo como: “la transformación de la cubierta vegetal original

para convertirla a otros usos o degradar la calidad de la vegetación modificando la densidad y la composición de las especies presentes.” El crecimiento de las ciudades es uno de los principales promotores de estos cambios, por lo que el crecimiento urbano resulta ser responsable de la pérdida de biodiversidad y servicios ambientales (SIIAEC, 2017). Ya que al remover la vegetación originaria se pierden las funciones ecosistémicas que se llevaban a cabo en esa zona que realizan precisamente las tareas de las metas mencionadas anteriormente. Por lo que, al prescindir de ellas las ciudades deben adoptar herramientas de planeación, de gestión y de diseño que de igual forma orienten al cumplimiento del Objetivo 11.

A continuación, se hablará de las Áreas Verdes Urbanas (AVUs) y cómo pueden fungir como las herramientas para el acometimiento de estas metas ambientales.

## 2. Las áreas verdes urbanas y los servicios ambientales

Las funciones ecosistémicas, definidas por SEQ Ecosystem Framework como los “procesos y componentes biológicos, geoquímicos y físicos que ocurren dentro de un ecosistema” son el antecesor conceptual de los Servicios Ambientales.

El concepto empieza a gestarse a finales de los 60s e inicios de los 70s, diversas contribuciones como el de *capital natural* de Schumacher (1973) demostraron en conjunto que las funciones de un ecosistema pueden ser de provecho para el hombre y la sociedad (de Groot y col. 2002; Gómez-Baggethun y col. 2009). Comienza así y evoluciona la concepción de la idea de servicios que los ecosistemas pueden proveer al hombre más allá de la alimentación y el refugio. La definición más actual y más aceptada está redactada en la síntesis internacional Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005): “Las aportaciones directas e indirectas de los ecosistemas al bienestar.”

Los avances en investigación y tecnología del siglo XX se encargaron de demostrar científicamente esta noción de beneficios que provee la naturaleza al hombre. Tomemos por ejemplo la calidad de aire y la vegetación, el metabolismo de las plantas, descubierto por Melvin Calvin y col. en la Universidad de California en 1961, se

encarga de capturar el CO<sub>2</sub> presente en la atmósfera y a través de una ruta de procesos bioquímicos obtiene de este la energía necesaria para sus realizar sus funciones. Por lo que el simple desarrollo del árbol, en su conjunto, de masas forestales, secuestra el dióxido de carbono disuelto en la atmósfera. Este gas es considerando un Gas de Efecto Invernadero (GEI) por lo que queda demostrada la capacidad de la vegetación mejorar la calidad del aire, como servicio ambiental, y la capacidad para combatir el Cambio Climático. De forma similar, se demostraron otros servicios ambientales que dotan los árboles y la vegetación a las ciudades.

Los Servicios Ambientales fueron agrupados por Constanza y col. (1997), en 17 categorías, de estas 6 son las de mayor interés para las ciudades: filtración del aire, regulación climática, reducción del ruido, drenaje de agua de lluvia o escurrimiento evitado, tratamiento de agua de drenaje y valor recreacional y cultural; estos servicios resaltan en las ciudades debido a los ecosistemas que se pueden encontrar en las urbes como canales, arbolado urbano, parques y cuerpos de agua, por mencionar algunos, (Bolund y Hunhammar, 1999). Se toma por ejemplo las urbanizaciones masivas, se realizan con rapidez y excluyen de la planeación la incorporación de áreas verdes, por lo que es precisamente en estos lugares donde se pueden observar islas de calor y mala calidad del aire como efecto negativo de la remoción de la vegetación nativa.

Las AVUs las define el Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN) como:

“bosques urbanos, plazas arboladas y jardines, brindan diversos servicios ambientales a la población, entre los que destacan el mejoramiento de la calidad del aire, la recreación y el mantenimiento de la biodiversidad urbana.”

La ONU y la OMS recomiendan, 16 y 9 m<sup>2</sup> de áreas verdes por habitante respectivamente, de acuerdo al SNIARN, en México, únicamente la Ciudad de México cumple con lo estipulado por la OMS con 15.1 m<sup>2</sup> *per cápita* a continuación Monterrey y Guadalajara con 3.91 y 3.05 m<sup>2</sup> *per cápita*. Las AVUs pueden ser públicas o privadas (Falcón, 2007), considerando esto pueden disminuir más la superficie de AVU *per cápita*. En este sentido queda demostrado así la poca disponibilidad de AVUs y por ende menor número de

servicios ambientales para la población urbana del país. En otra definición por Pérez-Medina y López-Falfán (2015), se conocen a las AVUs como: “*las zonas con árboles, arbustos y otros tipos de vegetación*”. Dada a la simpleza de la definición absolutamente toda infraestructura urbana que tenga vegetación puede ser considerada AVU como jardineras y jardines, camellones, zonas de equipamiento, rotondas, macetones, plazas, sin embargo son los parques los

que tienen mayor importancia para las ciudades por su extensión y por las actividades que se pueden desempeñar en ellos.

Dada su relevancia existe más bibliografía respecto al manejo, planeación y diseño de parques. Para México, la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) publicó en 1999 una clasificación de parques para México de acuerdo a sus características, extensión y una meta social (ver Tabla 1).

**Tabla 1.** Clasificación de Parques de acuerdo a SEDESOL

Clasificación	Características	Extensión	Meta social
<b>Juegos Infantiles</b>	Áreas de juegos infantiles y de descanso	1,250 a 5,500 m <sup>2</sup>	Dirigido a niños. En localidades mayores de 2,500 habitantes
<b>Jardin vecinal</b>	Áreas de juegos infantiles y de descanso	2,500 a 10,000 m <sup>2</sup>	Dirigido a población en general. En localidades de 5,000 habitantes.
<b>Parque de barrio</b>	Áreas de juegos infantiles, recreación diversa	11,000 a 44,000 m <sup>2</sup>	Dirigido a población en general. En localidades de 10,000 habitantes.
<b>Parque urbano</b>	Actividades recreativas diversas estacionamiento y otros servicios	91,000 a 728,000 m <sup>2</sup>	Dirigido a población en general. En localidades de 50,000 habitantes.

Fuente: Elaboración con información de SEDESOL (1999).

Los espacios verdes son los promotores urbanos de servicios ambientales, de nuevo se resalta el protagonismo de los parques para las ciudades. Tomando en cuenta lo anterior, hay una relación directamente proporcional entre la disponibilidad de parques públicos en la ciudad con los servicios ambientales que benefician a la población local, así como la global.

En la línea de lo anterior, los Servicios Ambientales económicamente pertenecían al grupo de servicios de Valor No Comercial, es decir, que a pesar de su necesidad y demanda no tienen un valor de mercado (Brenner y col. 2010), por ejemplo la lluvia imprescindible para la agricultura pero que carece de algún pago por servicio debido perceptiblemente a su naturaleza. Así fue hasta que la popularidad del tema se volvió tendencia en investigaciones científicas de

distintas disciplinas, así surgieron varias propuestas metodológicas sobre cómo poder valorarlos, es decir, ponerle precio a estos servicios (Gómez-Baggethun y col. 2009).

En 2004, Davey Nowak, un miembro del Servicio Forestal de Estados Unidos (U. S. Forestry Service en inglés), lanza el software iTree, este programa permite calcular el valor, en dólares, de un árbol o una masa forestal utilizando como datos la especie y las medidas dendrométricas; con anterioridad, se estimaba el valor del árbol contemplando únicamente la masa de madera del árbol, el software permite incluir los servicios ambientales en el cálculo (Usborne, 2018).

Con iTree, se pueden estimar el valor de los siguientes servicios ambientales: filtración del aire, producción de oxígeno, fijación de carbono, infiltración de agua de lluvia y ahorro energético a la vivienda,

por mencionar algunos; la última actualización se incorporaron bases datos de todo Norteamérica, incluyendo a datos de población y meteorológicos de México haciendo la información más precisa (iTree, 2017a).

Es por esto que, el valor económico de un AVU se puede determinar utilizando este programa obteniendo un resultado más puntual.

La valoración de los servicios ambientales que provee un AVU sirve como una herramienta para fomentar la construcción, mejora y diseño de más ya que puede demostrar el beneficio económico de espacios verdes en la ciudad. Por lo que realizar ejercicios como este sirven para orientar a los gobiernos y autoridades locales y tomadores de decisiones hacia el desarrollo y crecimiento urbano hacia el desarrollo sostenible.

### 3. Área de estudio: zona metropolitana de Querétaro

El presente estudio se realizó en la ciudad de Querétaro, la mancha urbana de esta se encuentra distribuida entre los municipios de Querétaro, El Marqués, Corregidora y Huimilpan (ver Mapa 1). Del año 1970 al 2017 la mancha urbana creció 17.6 veces, pero el aumento de la población fue de 4.3, en cambio en densidad se pasó de 167.1 habitantes por hectárea a 46.9, esta evolución de la estructura urbana tiene características indeseables: dispersión, desconexión y segregación que se derivan de una tendencia prolongada a la baja densidad, debido a un modelo de expansión urbana ausente orientado por la presión antes que por la planeación (Q500, 2018). A su vez, en el mismo documento también se mencionan consecuencias sobre movilidad, funcionalidad, productividad, competitividad y sobre lo más relevante para este artículo: sostenibilidad y calidad de vida. Actualmente en la Zona Metropolitana de Querétaro (ZMQ) existen 1, 097, 025 habitantes, es la décima zona metropolitana más poblada en el país y considerándose lo más crucial para esta demostración el índice de crecimiento poblacional es de 1.84 colocando a la entidad federativa en el cuarto lugar del país, por encima del promedio nacional de 0.84 (CONAPO, 2010; INEGI 2015). Comúnmente estos datos se utilizan para medir la presión sobre el medio natural, visto de otra forma, también reflejan una ciudad en un proceso de crecimiento abrupto

y esta presión si bien es sobre el medio natural la principal afronta es el deterioro de calidad ambiental que recae directamente sobre la sostenibilidad de las ciudades y la calidad de vida de sus habitantes.

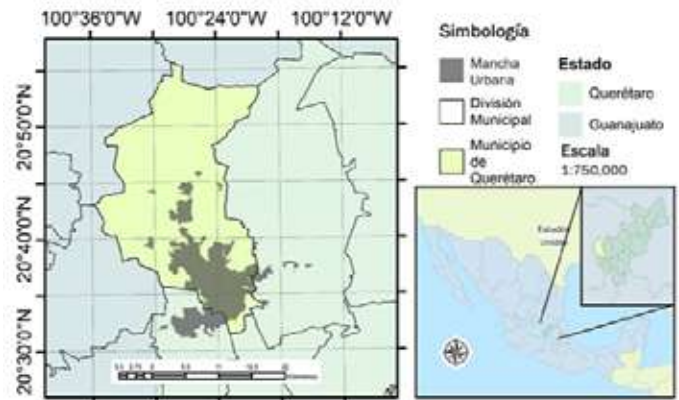


Figura 1: Localización de la Ciudad de Querétaro.

Fuente: Elaboración con los datos de Cartografía Urbana del Estado de Querétaro de INEGI (2015) y el Marcogeostadístico Nacional INEGI (2019).

Específicamente en el tema que nos ocupa el Municipio de Querétaro en 2018 realizó el programa público de arborización Pulmones Urbanos el cual tenía por objetivo subsanar un déficit de 130 mil árboles. Esta cifra fue obtenida a partir de la diferencia del resultado del censo arbóreo del municipio: 219 mil árboles (considerando los árboles muertos) y el cálculo de tres árboles por habitante de acuerdo a consideraciones de la OMS, se señala que en el documento no se manifiesta el número de pobladores no obstante se puede estimar aproximadamente con los datos ya mencionados. Dentro del documento se menciona el recuento de la superficie de áreas verdes, en específico públicas. Para el año 2015 se tienen contabilizaron 7, 919, 281.2 m<sup>2</sup> de áreas verdes públicas de distintos tipos: andadores, camellones, distribuidores, glorietas, jardines, panteones, parques, plazas, remanente y unidades deportivas. De todos estos tipos los parques son los que aportan más superficie a la cifra final con un total de 2, 916, 180.5 m<sup>2</sup> que representa el 36.8%, hecho en concurrence a lo mencionado en el segundo apartado donde se resalta a los parques para este estudio. A este dato habría que sumarle la cobertura de 20 nuevas AVUs que se establecieron con este programa, sin embargo, este dato final tampoco se menciona en el documento.



Es de suma importancia señalar que este dato está estimado solo para el municipio de Querétaro, la superficie de AVUs debe ser mayor a la señalada para la ZMQ, sin embargo, al considerar los otros municipios también aumenta y en mayor medida la extensión urbana y el número de habitantes disminuyendo la proporción per cápita. Esto es solo uno más de los retos que se enfrentan las ciudades de carácter metropolitano. Esta aclaración se realiza ya que se desconoce el dato de superficie total de AVUs para la ZMQ, únicamente se puede afirmar que el SNIARN menciona solo a la Ciudad de México cumpliendo con el parámetro de la OMS, como ya se mencionó en la sección 2.

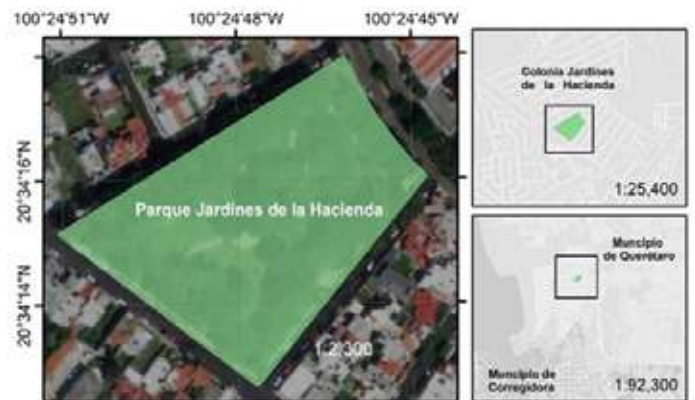
Ahora bien, a pesar de la escasez de la información completa existen otras fuentes de información periodística que mencionan otras cifras de superficie total de AVUs, la más actual únicamente menciona un déficit del 70% de áreas verdes en Querétaro y la única referencia es una ambientalista de renombre local (Redacción InformativoQ Noticias, 2021), la segunda más actual indica una superficie de 55.4 hectáreas pero este número se obtuvo de la multiplicación del promedio de área de copa de árbol por 220 mil árboles reportados en el inventario de arbolado urbano de 2016 (documento que se encontró en el sitio oficial del Municipio como Inventario Municipal Forestal y de Suelos del Municipio de Querétaro pero que carece de información sobre el arbolado en el suelo urbano) (Astudillo-Suárez, 2017) y por último la fuente más antigua menciona que existen 447 mil m<sup>2</sup> de AVUs pero en el municipio de Corregidora (El Universal Querétaro, 2013). Como se puede observar las cifras no coinciden debido a la temporalidad, el territorio considerado e incluso por un tema de método de cálculo, pero donde coinciden incluyendo el reporte de Pulmones Urbanos es en el déficit de AVUs para la población de Querétaro desde cualquier unidad espacial de análisis y con el marco teórico y método que sea.

Con esta información recopilada, más robusta para los parámetros del crecimiento de la ciudad y su población que para la existencia de AVUs queda demostrada el escenario tendencial de la ZMQ: una ciudad que va en aumento y que requiere de estrategias, medidas y acciones para encausar este desarrollo como sostenible. El problema que manifiesta esta ciudad se puede observar de igual forma en otras ciudades del país, de Latinoamérica y el mundo por lo que es de suma relevancia este estudio.

#### 4. Caso de Estudio: Parque Jardines de la Hacienda

En la línea del párrafo anterior, se optó por un analizar una AVU que sea un caso de éxito multidimensional, donde se aprecie la aportación al bienestar del sistema urbano derivada de la incorporación de elementos naturales. Siendo así, el estudio de estimación de valor del arbolado se realizó para el Parque Jardines de la Hacienda.

Este parque es un referente para la Ciudad de Querétaro, localizado al Sur y cercano al límite con el municipio de Corregidora (ver Mapa 2), es concurrido, su aforo está compuesto principalmente de grupos de corredores, deportistas y animalistas, familias y para la comunidad religiosa local. La extensión de este es de 1.44 hectáreas por lo de acuerdo a la clasificación de SEDESOL se debe considerar como un Parque de Barrio. Tomando en cuenta el público del parque se pueden corroborar los servicios ambientales por clasificación mencionadas anteriormente en la sección 1 de Constanza y col. (1997), en este caso se resalta el beneficio espiritual-religioso dentro del grupo de servicios ambientales culturales ya que debido a sus características resulta poco evidente.



**Figura 2:** Localización del Parque Jardines de la Hacienda y la Colonia Jardines de la Hacienda dentro del Municipio de Querétaro

**Fuente:** Elaboración con los datos de Cartografía Urbana del Estado de Querétaro de INEGI (2015) y el Marcogeostadístico Nacional INEGI (2019).

bibliografía un indicador de la salud de la vegetación del parque, sin embargo, a través de una evaluación visual se puede notar que la vegetación se encuentra en buen estado. Como se observa en la Imagen 1 se aprecian los tres estratos de vegetación: arbóreo, arbustivo



y herbáceo, esta característica favorece el flujo de nutrientes por lo que se puede afirmar que la comunidad vegetal está completa. Por otro lado, carece de otras referencias visuales de salud vegetal como plantas epífitas, pero también carece de buenas señales como ausencia de plagas. Si bien existen más métodos para evaluar la salud de la vegetación, como en el estudio de Arboit (2017) donde se utilizó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada con el uso de imágenes satelitales, en este caso de Landsat 5 TM, estos presentan diversas complicaciones. Continuando con el mismo ejemplo, la resolución espacial de este sensor es de 30 m por pixel. De acuerdo al área del parque y la resolución espacial ya mencionada se establece que este método no es apto.

Ya que el alcance del estudio no va de lleno por el tema de salud vegetal se consideran la evaluación visual como suficiente. Queda así demostrado, como el Parque Jardines de la Hacienda cumple satisfactoriamente con los parámetros buscados para considerarse un caso de éxito de sostenibilidad en la ciudad.



**Figura 3:** Parque Jardines de la Hacienda.

**Fuente:** Reporte Querétaro (2021).

Por último, cabe volver a mencionar que el marco para este trabajo son los servicios ambientales cuyo goce no está limitado espacialmente. Las aportaciones de los ecosistemas al bienestar se aprecian más conforme aumenta la presencia antrópica (Bolund y Hunhammar, 1999). Además, de que el bienestar es un concepto de carácter social. La unidad social de análisis que plantea

este artículo es la ciudad. Es por esto, que se considera desde un marco geográfico, que la ciudad contiene a los parques por lo que para el estudio considera a la ZMQ como el beneficiario del parque.

## 5. Métodos y herramientas

Primero, se pasó por una fase de planeación donde considerando el problema planteado se definió la zona de estudio y se escogió trabajar con iTree Eco en la modalidad de Inventario Completo y se definieron como resultados deseables las estimaciones de Remoción de la Contaminación de Aire, Almacenamiento de Carbono, Secuestro de Carbono, Producción de Oxígeno, Ecurrimiento de Agua Evitado y Valor Estructural. La zona de estudio se cartografió con ArcMap 10.3 utilizando el conjunto de datos vectoriales de Manzanas de Cartografía Urbana de INEGI (2015) para estimar el material, el tiempo y el personal requerido para el levantamiento. Las fichas de campo se elaboraron de acuerdo a las variables que define el programa.

Segundo, se procedió a la fase operativa visitando el parque en dos sesiones durante el mes de Junio de 2019 para la toma de las medidas dendrométricas de los árboles. Las medidas fueron capturadas por equipos de 5 personas: compuestos por un anotador y cuatro medidores (más adelante se describen las variables). Se utilizó equipo dasométrico para la toma de medidas por equipo un clinómetro, cintas métricas de: 20, 10 y 5 metros, fichas de campo y un GPS Garmick eTrack 10 para la georreferenciación del árbol. Al final se obtuvieron 15 fichas de campo donde se inventariaba la totalidad de los árboles del parque.

Tercero, se realizó la fase de procesamiento de datos. Se recopilaban las fichas de campo obtenidas en una base de datos en Excel 2010. Después se procedió al ingreso de datos a ArcMap 10.3 para obtener el mapa de ubicación de los árboles (durante el proceso se removieron 28 árboles del mapa que se observaban fuera del parque debido a un error de captura durante el proceso de georreferenciación) y se preparó el ingreso a iTree Eco v6.0.

De acuerdo al Resumen de Programas de Métodos de iTree de Nowak (2020), el proceso consta de cuatro pasos: la recopilación de datos en campo de medidas dendrométricas o variables primarias (ver Tabla 2). Esta es la única parte que se elabora en campo.

**Tabla 2:** Variables Primarias de *iTree*.

Campo	Descripción
<b>ID</b>	Campo identificador. Número mayor a 0 con un máximo de 9 dígitos sin ninguna duplicación.
<b>Especie</b>	Género y especie del árbol.
<b>DAP</b>	El diametro del fuste a la altura del pecho (DAP), que se estima a 4,5 pies o 1,37 metros sobre el suelo. -1 para árbol removido
<b>Altura total del árbol</b>	La altura del suelo a la parte superior del árbol. -1 para árbol removido
<b>Altura copa viva</b>	La altura del suelo a la cima viva del árbol. Esta altura será igual que la altura total del árbol al menos que el árbol esté vivo pero la copa de la cima está muerta. -1 para árbol removido
<b>Altura a la base de la copa</b>	La altura del suelo a la base de la copa del árbol. La base de la copa viva es el punto sobre el fuste perpendicular al follaje vivo más bajo en la última rama que se incluye dentro de la copa. Note que la base de la copa viva se determina por medio del follaje vivo y no por el punto donde la rama converge con el fuste principal. Por lo tanto, si la base de la copa toca el suelo, cero sería un valor aceptable. -1 para árbol removido
<b>Ancho de la copa 1 y 2</b>	El ancho de la copa en dos direcciones: Norte-sur y este- oeste -1 para árbol removido
<b>Porcentaje de copa faltante</b>	Porcentaje de volumen de la copa que no está ocupado por ramas y hojas. -1 para árbol removido
<b>Salud de la copa</b>	La condición de la copa es un indicio de la salud del árbol. Condición = 100 -porcentaje de muerte -1 para árbol removido
<b>Exposición de luz en copa</b>	Enumere los lados del árbol que reciben luz solar desde arriba (máximo cinco).
<b>Coordenadas x,y</b>	Longitud y latitud de la ubicación del árbol.

Fuente: Elaboración con información de *iTree* (2016).

Las siguientes tres son automatizadas por el programa: el cálculo de las Variables Secundarias (ver Tabla 3), a través

de esta se calculan los Servicios Ambientales (ver Tabla 4) y por último se les asigna un valor económico (ver Tabla 5).

**Tabla 3:** Variables Secundarias de *iTree*.

Variable	Descripción
Área Foliar	Área de superficie (unilateral) de las hojas de un árbol.
Índice de Área Foliar	Cantidad acumulada del área foliar por unidad de superficie proyectada del suelo
Biomasa Total del Árbol	Es la suma del cálculo alométrico de la biomasa por encima del suelo y su complemento calculando con una tasa de 0.26 para la biomasa por debajo del suelo.

Fuente: Elaboración con información de Nowak (2020).

**Tabla 4:** Relación de las Variables Primarias, Variables Secundarias y estimación de Servicios Ambientales de *iTree*.

Variables Primarias	Variables Secundarias		Servicios Ambientales				
	Área Foliar	Biomasa Foliar	Almacenamiento de Carbono	Secuestro de Carbono Bruto	Secuestro de Carbono Neto	Remoción de Contaminación del Aire	Escurrimiento de Agua Evitado
Especie	D	D	D	D	D	D	I
DAP			D	D	D		
Altura Total del Árbol	D	D	C	C	C	I	I
Altura de la Base a la Copa	D	D	C			I	I
Ancho de Copa	D	D	C			I	I
Exposición de Luz en la Copa			C	D	D		
Porcentaje de Copa Faltante	D	D	C	C	C	I	I
Salud de la Copa				D	D		
Uso de Suelo				D			
<b>C</b> Condicional							
<b>D</b> Variable Directa							
<b>I</b> Variable Indirecta							

Fuente: Elaboración con información de Nowak (2020).

**Tabla 5:** Servicios Ambientales y su Valor Económico

Servicio Ambiental	Descripción	Valor Económico
Remoción de Contaminación del Aire	Es la estimación del intercambio gaseoso y de partículas suspendidas interceptados por árboles, arbustos y hierbas para Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> ), Ozono (O <sub>3</sub> ) y Partículas Suspendidas Menores a 10 y 2.5 micrómetros (PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> ) y Dióxido de Sulfuro (SO <sub>2</sub> ).	1. Valor de Externalidad 1,599 USD/ton <sup>1</sup>  2. Valor de Salud 1 USD/ton <sup>2</sup>
Almacenamiento y secuestro de carbono	Es la estimación de la remoción del Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ) de la atmósfera como insumo para los procesos biológicos de la foresta.	51.23 USD/ton <sup>3</sup>
Producción de Oxígeno	Es la estimación de la generación de Oxígeno (O <sub>2</sub> ) como producto de los procesos biológicos de la foresta.	0 USD/ton <sup>4</sup>
Escurrimiento de Agua Evitado	Es la estimación de la cantidad de agua pluvial interceptada, almacenada, transpirada y evaporada ligada a la existencia de la foresta.	0.008936 USD/galón <sup>5</sup>

**Notas :**

<sup>1</sup> Este es el costo estimado de la contaminación para la sociedad que no se contabiliza en el precio de mercado de los bienes o servicios. [Oficina de Estadísticas Laborales. EE.UU., 2017 en Nowak, 2020]

2 Es el ahorro estimado por incidentes de salud evitados causados por los contaminantes de aire ya enlistados. (Nowak et al. 2014; U.S. EPA, 2012 como se citó en Nowak, 2020).

Fuente: Elaborado con datos de:

3 Grupo de Trabajo Interagencial en el Costo Social del Carbono [2016] como se citó en Nowak (2020)

4 Nowak et al. (2007) como se citó en Nowak (2020)

5 McPherson et al. (1999, 2000, 2001, 2002,2003, 2004, 2006a, 2006b, 2006c, 2007, 2010); Peper et al. (2009, 2010); Vargas et al. (2007a, 2007b, 2008) como se citó en Nowak (2020)

Por último, se consultó el Presupuesto de Egresos 2017 del Municipio de Querétaro (último disponible) y se calculó el porcentaje que representa el valor del parque contra los conceptos relacionados del documento con desarrollo sostenible como el presupuesto asignado para la Secretaría de Servicios Públicos y la Secretaría de Desarrollo Urbano, considerando que son los sectores municipales encargados de las AVUs y la Imagen Urbana y con los conceptos de las Inversiones Municipales por Tipo de Obra y de Desarrollo Económico considerando su injerencia en el desarrollo urbano de la ciudad.

### 6. Valor del Parque Jardines de la Hacienda (Resultados)

El Parque Jardines de la Hacienda posee 208 individuos, de las cuales el 11% son considerados arbustos y los demás árboles, tiene una cobertura arbórea de 1.34 hectáreas, es decir, el 93.05% del parque está cubierto por copa vegetal. Los árboles más comúnmente encontrados son fresno, laurel llorón y eucalipto (ver figura 4).

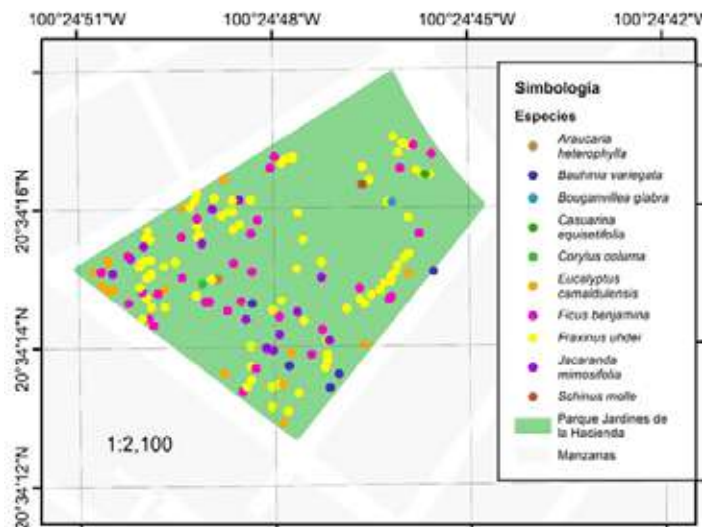


Figura 4: Especies e individuos encontrados en el Parque Jardines de la Hacienda. Datos: Cartografía Urbana INEGI (2015). Elaboración propia.

De acuerdo al reporte obtenido, el Parque Jardines de la Hacienda provee servicios en calidad del aire con un valor de \$ 522,300, (\$ 463,000 son fijos y \$59,300 son al año), el parque evita que 111.2569 m3 de agua escurran por la superficie de la ciudad auxiliando en la prevención de inundaciones y por último, el valor estructural del arbolado que suma a la imagen de la ciudad es de 12.2 MDP (ver Tabla 6).

Tabla 6: Valor de los servicios ambientales provistos por el Parque Jardines de la Hacienda

Materia	Servicio ambiental	Cantidad	Precio
Calidad del aire	Eliminación de la contaminación	125.8 libras / año	\$ 48,000
	Almacenamiento de carbono	130.3 toneladas	\$ 463,000
	Secuestro de carbono	3,379 toneladas / año	\$ 11,300
	Producción de oxígeno	9,011 toneladas / año	N/A
<b>Subtotal</b>			\$ 522,300
Protección civil	Escurrimiento evitado	111,256.85 litros / año	\$ 262
Imagen de la ciudad	Valor estructural	208 árboles y arbustos	\$ 12,200,000
<b>Total</b>			\$ 12,722,562

Fuente: Elaboración con iTree Eco v6.0 y datos propios.

En el aspecto biológico, se analizará con más detenimiento las tres especies de mayor importancia, se señala que las tres están incluidas en la Guía de Árboles y Arbustos Urbanos del Estado de Querétaro y en documentos similares, pero para las ciudades de México, Monterrey y Guadalajara, por lo que se declara que son especies extremadamente comunes en el arbolado urbano de las ciudades en México. El primero es el Fresno, *Fraxinus uhdei*, este es un árbol nativo de la región si bien la región se caracteriza por ser de climas semiáridos donde imperan los ensamblajes vegetales como selvas bajas, matorrales y nopaleras el Fresno está presente en el ecosistema de Bosque de Galería (Martínez y González-Mendoza, 2001). Un estudio de 2018 realizado por López-López et al., para el Parque Chapultepec, Ciudad de México coincidió con el resultado del presente: el Fresno es la especie de mayor importancia, esto de acuerdo a tres consideraciones: a) la dominancia, es decir, fueron los árboles de mayores dimensiones y mayor número de individuos (Nowak, et al. 2001), b) tienen la mayor capacidad de secuestro de carbono corroborando los ensayos hechos por Liu y Lin (2012) y Nowak, Greenfield, Hoehn y Lapoint (2018) para la ciudad de Shanghái y para 28 metrópolis de Estados Unidos y c) tienen una gran capacidad de adaptación y tolerancia al ambiente urbano (Harris et al. 2004; Scharenbroch, 2012).

Retomando el tema de la remoción de la vegetación nativa mediante cambios de uso de suelo, en el estudio anteriormente mencionado se obtuvieron valores inferiores de secuestro de carbono por parte de los fresnos contrastándolos con los datos obtenidos por Velasco et al. (2014) de fresnos establecidos naturalmente en la periurbanidad de la ciudad. Hecho que evidencia el tamaño del reto que se enfrenta para lograr el desarrollo de Ciudades Sostenibles sobre todo en materia de aire.

Para el caso del Laurel llorón, *Ficus benjamina*, esta es una especie exótica originario del sudeste asiático-Norte de Australia, existe un estudio realizado en la Zona Metropolitana de Guadalajara realizado por Ramírez Hernández, García de Alba-Verduzco, Pérez-Soto y Rosas-Martínez (2018), donde se determinó que esta especie tiene una mayor capacidad de captación de CO<sub>2</sub> en ambientes con mayor carbono y otros contaminantes atmosféricos, esto considerando otras

variables: irradiación solar y disponibilidad de agua.

Por último, se menciona el caso del Eucalipto, *Eucalyptus camaldulensis*, árbol exótico y originario de Australia, se encontró un estudio por Seppänen (2002) donde se promueve la plantación de eucaliptos en el sureste de México como sumideros de carbono no obstante, actualmente los eucaliptos gozan de mala reputación. En la página de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO en inglés), se abordan críticas hacia esta especie siendo las principales su alto consumo de agua, promoción de la erosión del suelo, poca provisión de sombra y poco hábitat brindado para vida silvestre local, en cada una de ellas se confirma, pero se hace énfasis en que los procesos de gestión como ordenamiento y administración pueden evitarlos y gozarse de su mayor beneficio. En este sentido, se puede entender que se promueva la reforestación mediante eucaliptos debido a su rápido desarrollo, sin embargo debido a las afirmaciones con peros no se promueve el uso de eucaliptos para reforestaciones urbanas.

Los estudios que existen sobre la valoración de servicios ambientales en ambientes urbanos, como parques, en México son pocos, es de suma importancia promoverlos ya que estos sirven para sustentar políticas públicas de mantenimiento, mejoramiento y apertura de nuevos espacios verdes en las ciudades (López-López et al., 2018). Considerando lo anterior, sirva el resultado obtenido por especie de este estudio con ese objetivo: mantener, mejorar y promover las AVUs de la ciudad de Querétaro.

En total, el valor del Parque Jardines de la Hacienda durante el año 2019 será de \$ 12, 722, 562. Además deben contemplarse los beneficios recreativos y culturales del parque que pueden tener injerencia en otras esferas como salud y seguridad pública, cultura y deporte para la ciudadanía.

En la comparación realizada el valor estimado del parque representa el 0.92% del Presupuesto Municipal Total. Se destacaron los mayores gastos públicos por Categoría (ver Tabla 7). En orden de mayor a menor de porcentaje: 34.42% el presupuesto de la Secretaría de Desarrollo Sostenible, 21,07% el presupuesto para Deporte y Recreación Social y 13.83% el presupuesto de Protección Ambiental.



**Tabla 7:** Comparación del gasto público municipal y el valor del parque Jardines de la Hacienda en porcentaje

Categoría	Gasto público	Costo	Porcentaje
<b>Sector público municipal</b>	Secretaría de desarrollo sostenible	\$ 36,963,321.36	34.42 %
	Secretaría de servicios públicos municipales	\$ 246,882,326.19	5.15 %
<b>Inversión por tipo de obra</b>	Urbanización, pavimentación e imagen urbana y ciclovías	\$ 798,560,042.77	2 %
	Prevención y desarrollo social	\$ 186,997,760.10	6.80 %
	Infraestructura municipal, pluvial, drenaje y agua potable	\$ 195,058,875.58	6.52 %
	Deporte y recreación social	\$ 60,388,179.11	21.07 %
<b>Desarrollo social</b>	Protección ambiental	\$ 91,992, 841.13	13.83 %
	Vivienda y servicios a la comunidad	\$ 514,018,697.84	2.48 %
	<b>Presupuesto municipal total</b>	\$ 1,379,829,994.60	0.92 %
	<b>Parque Jardines de la Hacienda</b>	\$ 12,722,562.00	

**Fuente:** Elaboración con datos del Presupuesto de Egresos del Municipio de Querétaro (2017).

## Conclusiones

El valor del Parque Jardines de la Hacienda representa el 0.92% de todo el Presupuesto Municipal del año 2017. A simple vista puede parecer una cifra pequeña sin embargo debe considerarse que se evaluó únicamente un parque de toda la ciudad. El valor de este único parque representa el 34.42% del presupuesto para la Secretaría de Desarrollo Sostenible, la encargada entre otras funciones, de la Imagen Urbana categoría de mayor valor en la estimación económica del parque.

Para el Deporte y Recreación Social el valor del parque representa el 21.07% del presupuesto destinado. Este concepto está íntimamente relacionado con el parque ya que es asiduamente visitado por grupos deportivos y por corredores individuales.

Los cálculos fueron realizados con estas generalidades debido al desglose ofrecido para consulta ciudadana del Presupuesto Municipal, sin embargo con este ejercicio queda demostrado el aporte económico de los parques a la ciudad encaminado hacia el desarrollo de Querétaro como una Ciudad Sostenible. Como se mencionó con anterioridad los beneficios son interdisciplinarios, en este caso únicamente se valoraron los Servicios Ambientales considerados de mayor importancia para la ciudad y disponibles para calcular con las herramientas y el equipo disponible. Por lo cual se asume que el valor del parque puede ser incluso mayor.

El impulso de proyectos así como el desarrollo de ordenamientos jurídico de elaboración y diseño de

parques debe ser prioridad para las autoridades de las ciudades de todo el mundo. Con este caso demuestra como la correcta inserción de un parque en la ciudad es una apuesta segura en vías del desarrollo sostenible.

Finalmente, queda este como un ejercicio parcial. Los estudios de diferentes disciplinas deben servir para puntualizar aún más el valor de este caso de estudio, o de otros, pero que a final de cuentas demuestra una herramienta para la persecución del desarrollo sostenible así como la mitigación del cambio climático y la mejora de la calidad de vida de los habitantes de las ciudades, siendo de mayor prioridad las zonas urbanas con altas tasas de crecimiento

## Referencias bibliográficas

- Arboit, M. E. (2017). Estimación del índice de vegetación en entornos urbanos forestados consolidados de baja densidad del área Metropolitana de Mendoza, Argentina. *Cuaderno Urbano: Espacio, Cultura y Sociedad*, 23(23), 033-060. <https://doi.org/10.30972/crn>
- Astudillo-Suárez, R. (4 de Junio de 2017). *Déficit de áreas verdes en las zonas urbanas. Recuperado de El Universal Querétaro*:[http://www.eluniversalqueretaro.mx/content/deficit-de-areas-verdes-en-las-zonas-urbanas?\\_\\_cf\\_chl\\_managed\\_tk\\_\\_=pmd\\_6uY5g6Ea\\_.yTfgao.pX\\_HHhDL8kJPWxxvqnoih3Hbg-1632263464-0-gqNtZGzNAyWjcnBszQWl](http://www.eluniversalqueretaro.mx/content/deficit-de-areas-verdes-en-las-zonas-urbanas?__cf_chl_managed_tk__=pmd_6uY5g6Ea_.yTfgao.pX_HHhDL8kJPWxxvqnoih3Hbg-1632263464-0-gqNtZGzNAyWjcnBszQWl)

- Ayuntamiento del Municipio de Querétaro. [2018]. *Pulmones Urbanos*. Querétaro, México: Municipio de Querétaro. Recuperado el 26 de septiembre del 2021 de: [https://municipiodequeretaro.gob.mx/wp-content/uploads/2019/08/23\\_lb-pulmones-urbanos-comprimido\\_compressed.pdf](https://municipiodequeretaro.gob.mx/wp-content/uploads/2019/08/23_lb-pulmones-urbanos-comprimido_compressed.pdf)
- Brenner, J., Jiménez, J. A., Sardá, R., y Garola, A. [2010]. An assessment of the non-market value of the ecosystem services provided by the Catalan coastal zone, Spain. *Ocean & Coastal Management*, 53(1), 27-38. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2009.10.008>
- Bolund, P., y Hunhammar, S. [1999]. Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 29(2), 293-301. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00013-0](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00013-0)
- Comisión Nacional de Población. [CONAPO]. [2012]. *Proyecciones de la población de México. 2010-2050*. Ciudad de México: Subdirección de Desarrollo Editorial CONAPO.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & van den Belt, M. [1997]. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253-260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- De Groot, R.S., Wilson, M., Boumans, R., [2002]. A typology for the description, classification and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41 (3), 393-408.
- El Universal Querétaro. [22 de Enero de 2013]. *Reconocen déficit de áreas verdes*. Recuperado de El Universal Querétaro: <https://www.eluniversalqueretaro.mx/portada/22-01-2013/reconocen-deficit-de-areas-verdes>
- Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. [2005]. *Ecosystems and Human Well-being. A Framework for Assessment*. Washington DC: Island Press.
- Falcón, A. 2007. Espacios verdes para una ciudad sostenible. Editorial Gustavo Gilli. Barcelona, España. 176 p.
- Gómez-Baggethun, E., de Groot, R., Lomas, P. L., y Montes, C. [2010]. The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes. *Ecological Economics*, 69(6), 1209-1218. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.007>
- Harris W. R., Clark, R. J., y Matheny, P. N. [2004]. *Arboriculture: integrated management of landscape trees, shrubs, and vines* (4a ed.). EE. UU.: Prentice Hall.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. [INEGI]. [s. f.]. Población. Rural y urbana. Cuéntame de México. Recuperado de: [http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur\\_urb.aspx?tema=P](http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur_urb.aspx?tema=P)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. [INEGI]. [2015a]. Encuesta Intercensal [Censo]. México: INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. [INEGI]. [2015b]. Cartografía Urbana del Estado de Querétaro [Conjunto de datos vectoriales].
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. [INEGI]. [2019]. Marcogeostadístico Nacional [Conjunto de datos vectoriales].
- iTree. [2016]. *iTree Eco v6.0. Manual de toma de datos. Traducción del i-Tree Eco Field Guide V6.0 del 4.26.2016*. Recuperado de: [https://www.itreetools.org/documents/190/03\\_Manual\\_de\\_campo\\_para\\_toma\\_de\\_datos\\_i-Tree\\_ECO.pdf](https://www.itreetools.org/documents/190/03_Manual_de_campo_para_toma_de_datos_i-Tree_ECO.pdf)
- iTree. [2017a]. *iTree: versión 2017: Fortalecimiento de la administración de los recursos naturales en el mundo*. Recuperado de: [https://www.itreetools.org/documents/211/i-TreeSummary2017\\_Spanish.pdf](https://www.itreetools.org/documents/211/i-TreeSummary2017_Spanish.pdf)
- iTree. [2017b]. *iTree Eco v6.0. Manual de Usuario*. Recuperado el 27 de septiembre de 2021 de: [https://www.itreetools.org/documents/196/EcoV6\\_UsersManual.es.pdf](https://www.itreetools.org/documents/196/EcoV6_UsersManual.es.pdf)
- Liu, C., & Li, X. [2012]. Carbon storage and sequestration by urban forests in Shenyang, China. *Urban Forestry & Urban Greening*, 11(2), 121-128. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2011.03.002>
- López-López, S. F., Martínez-Trinidad, T., Benavides-Meza, H. M., García-Nieto, M., y Ángeles-Pérez, G. [2018]. Reservorios de biomasa y carbono en el arbolado de la primera sección del Bosque de Chapultepec, Ciudad de México. *Madera y Bosques*, 24(3). <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431620>
- Martínez, M., y García-Mendoza, A. [2001]. Flora y vegetación acuáticas de localidades selectas del estado de Querétaro. *Acta Botánica Mexicana*, [54], 1-23.

- Municipio de Querétaro. (2017). *Presupuesto de Egresos 2017. Versión Ciudadana*. Recuperado el 27 de septiembre de 2021 de: <https://municipiodequeretaro.gob.mx/wp-content/uploads/2019/07/Presupuesto-Ciudadano.-Enero-Junio2017.pdf>
- Nowak, D. J. Noble, M. H., Sisinni, S. M. y Dwyer, J. F. (2001). People and Trees: Assessing the US Urban Forest Resource. *Journal of Forestry*, 99(3), 37-42, doi: <https://doi.org/10.1093/jof/99.3.37>
- Nowak, D. J. (2020). *Understanding iTree: summary of programas and methods*. Wisconsin, Estados Unidos: USDA Forest Service. Recuperado el 26 de septiembre de 2021 de: [https://www.fs.fed.us/nrs/pubs/gtr/gtr\\_nrs200.pdf](https://www.fs.fed.us/nrs/pubs/gtr/gtr_nrs200.pdf) doi: 10.2737/NRS-GTR-200.
- Nowak, D. J., Greenfield, E. J., Hoehn, R. E., & Lapoint, E. (2013). Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. *Environmental Pollution*, 178, 229-236. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.019>
- ONU. (2019a). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2019*. [ebook] Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. Recuperado de: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2019-Spanish.pdf>
- ONU. (2019b). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Objetivos, metas e indicadores mundiales*. CEPAL (Enero, 2019). Recuperado de: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/40155-la-agenda-2030-objetivos-desarrollo-sostenible-oportunidad-america-latina-caribe>
- Pérez-Medina, S., y López-Falfán, I. (2015). Áreas verdes y arbolado en Mérida, Yucatán. Hacia una sostenibilidad urbana. *Economía, sociedad y territorio*, XV (47), 1-33.
- Redacción InformativoQ Noticias. (27 de Julio de 2021). *Existe un déficit del 70% de áreas verdes en Querétaro*. Recuperado de: <https://informativoq.com.mx/2021/07/existe-un-deficit-del-70-de-areas-verdes-en-queretaro/>
- Rosillo-Pantoja, I. y Gutiérrez-Yurrita, Pedro. (2010). Una Secretaría de Estado con futuro: La Secretaría de la Conservación del Patrimonio Paisajístico para la Sustentabilidad. *Derecho Ambiental y Ecología*. 7. 65-67.
- Rosillo-Pantoja, I. (2016). National Encounters of Citizen Organizations Involved in Comprehensive Waste Management. *Journal of US-China Public Administration*, 13(1). <https://doi.org/10.17265/1548-6591/2016.01.003>
- Schumacher, E. F., 1973. *Small is Beautiful: Economics as if People Mattered*. Blond and Briggs, London. 288 pp.
- SEDESOL. (1999). *Sistema Normativo de Equipamiento Urbano. Tomo V. Recreación y deporte*.
- Scharenbroch, B. C. (2012). Urban trees for carbon sequestration. En Rattan, L. y Bruce, A. (Eds.). *Carbon sequestration in urban ecosystems* (pp. 121-138). Estados Unidos: Springer.
- Seppänen, Petteri. (2002). Secuestro de carbono a través de plantaciones de eucalipto en el trópico húmedo. *Foresta Veracruzana*, 4(2), 51-58.
- SIIAEC. (2017). *Sistema Integral de Información Ambiental de Coahuila. Uso de Suelo y Vegetación. Cambio de uso de suelo*. Recuperado el 27 de septiembre de 2021 de: <https://www.sema.gob.mx/SRN-SIIAECC-USO-CAMBIO.php>
- Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales. [SNIARN]. (S.F.). Superficie de áreas verdes urbanas per cápita. Recuperado el 27 de septiembre de 2021 de: [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores\\_ilac16/ilac16/04\\_sociales/4.1.3.1.html](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores_ilac16/ilac16/04_sociales/4.1.3.1.html)
- Spangenberg, J. H., Görg, C., Truong, D. T., Tekken, V., Bustamante, J. V., y Settele, J. (2014). Provision of ecosystem services is determined by human agency, not ecosystem functions. Four case studies. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 10(1), 40-53. <https://doi.org/10.1080/21513732.2014.884166>
- Usborne, S. (2018). Treeconomics. *New Scientist*, 238(3177), 32-36. [https://doi.org/10.1016/s02624079\(18\)30845-5](https://doi.org/10.1016/s02624079(18)30845-5)
- Velasco, E., Perrusquia, R., Jiménez, E., Hernández, F., Camacho, P., Rodríguez, S., Retama, A., y Molina, L. T. (2014). Sources and sinks of carbon dioxide in a neighborhood of Mexico City. *Atmospheric Environment*, 97, 226-238. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.08.018>



# EL DERECHO DE ACCESO A LA JUSTICIA SOBRE EL DERECHO DE ACCESO A LA INFORMACIÓN EN EL MARCO DEL CONCEPTO "VIOLACIONES GRAVES DE DERECHOS HUMANOS".

# THE RIGHT OF ACCESS TO JUSTICE OVER THE RIGHT OF ACCESS TO INFORMATION UNDER THE CONCEPT OF "GROSS VIOLATIONS OF HUMAN RIGHTS".

Otero-Medina Brenda Monserrat <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Posgrado en Ciencias Jurídicas Facultad de Derecho, UAQ. Centro Universitario, Cerro de las Campanas s/n. Santiago de Querétaro, México.

\* Autor de correspondencia, correo: [bmonserrat.otm@gmail.com](mailto:bmonserrat.otm@gmail.com)

## Resumen

El derecho a la información está íntimamente relacionado con el derecho de acceso a la justicia, especialmente cuando hablamos de las personas que inician procesos legales por violaciones graves de derechos humanos ante las instituciones encargadas de impartir justicia. Pero, ¿qué sucede cuando estas instituciones violentan los derechos humanos, y resultan omisas ante los requerimientos de información de las víctimas?

En el marco de transparencia y acceso a la información existen varios problemas relacionados con la omisión de las autoridades en emitir solicitudes de información cuando existe un caso relacionado con violaciones graves de derechos humanos, uno de los problemas principales derivan de la falta de lineamientos o referencias para interpretar el término 'violaciones graves de derechos humanos' que resulta indispensable para clasificar esta información que es accesible bajo esta categoría, pareciera que no hay mayor problema, sin embargo esta situación se agrava cuando la autoridad incurre en actos discrecionales e interpreta este término dependiendo del caso en concreto afectando los derechos de acceso a la justicia y a la información optando por omitir información. Por esta razón el presente trabajo se centrará en analizar la problemática existente.

Palabras clave: *Acceso a la información, acceso a la justicia, derechos humanos neoconstitucionalismo, violaciones graves de derechos humanos*

## Abstract

*In the framework of transparency and access to information there are several problems related to the omission of the authorities to issue information requests when there is a case related to serious human rights violations, one of the main problems derives from the lack of guidelines or references to interpret the term 'serious human rights violations' which is essential to classify this information that is accessible under this category, However, this situation is aggravated when the authority incurs in discretionary acts and interprets this term depending on the specific case, affecting the rights of access to justice and to information by choosing to omit information. For this reason, this paper will focus on analyzing the existing problem.*

*Keywords: Conflict, justice, Learning, mediation, peace.*

## 1. Introducción

El artículo 1º de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, establece el respeto a los derechos humanos de todas las personas, por lo que las autoridades, principalmente, son quienes deben asegurar el ejercicio efectivo de los derechos. Así mismo, el artículo anteriormente citado estipula que los derechos humanos se tienen que garantizar mediante principios, por ejemplo, el principio de interdependencia.

En este sentido, el derecho a la información y el derecho de acceso a la justicia se deben de garantizar por todas las autoridades bajo el principio de interdependencia. Sin embargo, cuando hablamos de un proceso que tiene como eje central violaciones graves de derechos humanos y la información necesaria está en manos de las autoridades, el derecho de acceso a la información resulta afectado en el desarrollo del proceso.

La Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública (Ley General de Transparencia y Acceso a la Información), podría ser uno de los problemas principales, debido a que no establece en términos claros cómo debe ser la actuación de las autoridades para otorgar información cuando se investiga una situación de violaciones graves a los derechos humanos. El problema radica en el uso que se le da al término, porque la Ley no da una definición concreta.

El control de convencionalidad en el sistema jurídico mexicano podría subsanar este problema de interpretación, porque a través de algunas sentencias del sistema interamericano de derechos humanos, que se describirán en el presente artículo, se da las herramientas principales para la interpretación del término.

Pero la falta de claridad en el término antes citado, provoca que las autoridades no den garantía al derecho de información y acceso a la justicia, por las actuaciones discrecionales que se podrían presentar cuando sea requerida información.

¿Estamos frente a una falta de garantía al derecho a la información por parte de las autoridades, al no proporcionar información cuando se trate de violaciones graves a derechos humanos?, o en su caso ¿esta situación es un reflejo más de la impunidad que caracteriza al sistema de justicia mexicano?, ¿podría relacionarse con intereses que tiene el Estado para que no se divulgue información que le podría perjudicar?, y ¿cuál sería la propuesta?

El presente trabajo deriva de la hipótesis de que las autoridades han fracasado en la protección de los derechos humanos, desde el inadecuado diseño de instrumentos legislativos, el nulo esfuerzo por modificar y esclarecer instrumentos que guíen la actuación de los actores involucrados, y se refleja en la ineficaz actuación de las

autoridades para resolver situaciones de vulnerabilidad de derechos humanos.

Por esta razón es necesario analizar la importancia de las leyes que garantizan el acceso a la información, el uso que las autoridades hacen de estos instrumentos, y cómo repercute en sentido negativo el derecho de acceso a la justicia.

En Ley General de Transparencia y Acceso a la Información encontramos que en los artículos 5º, 74º, 113º, y 155º hace referencia al término ‘violaciones graves de derechos humanos’, en este sentido rescatamos el artículo 5º que menciona expresamente la relación de este término con el acceso a la información:

Artículo 5. No podrá clasificarse como reservada aquella información que esté relacionada con violaciones graves a derechos humanos o delitos de lesa humanidad, de conformidad con el derecho nacional o los tratados internacionales de los que el Estado mexicano sea parte. [...]

Ante esta situación se expidió en el 2016 el “Acuerdo del Consejo Nacional del Sistema Nacional de Transparencia y Acceso a la Información Pública y Protección de Datos Personales, por el que se aprueban los Lineamientos generales en materia de clasificación y desclasificación de la información, así como para la elaboración de versiones públicas”. Sin embargo, se hace mención del término ‘violaciones graves de derechos humanos’ en el mismo sentido en que se menciona en la ley general.

“Trigésimo séptimo. No podrá invocarse el carácter de reservado de la información cuando:

I. Se trate de violaciones graves de derechos humanos; [...]

Lo que nos indicó que, a pesar del marco normativo, existía una deficiente atención de las autoridades para atender situaciones de violaciones graves de derechos humanos, de esta manera lo indicó la I Relator Especial de la ONU sobre la libertad de expresión y el Relator Especial sobre libertad de expresión de la CIDH después de su visita conjunta en México, 27 de noviembre - 4 de diciembre 2017 en las observaciones preliminares.



“58. En nuestras conversaciones con las organizaciones de la sociedad civil, encontramos importantes preocupaciones acerca de cómo el acceso a la información opera en el contexto de las alegaciones de violaciones graves de los derechos humanos. Los investigadores parecen tener dificultades para obtener la información completa, con cantidades significativas de datos redactados y un fallo general de proporcionar razones de la no divulgación. La falta de datos proporcionados por el Gobierno accesibles en relación con delitos como desapariciones o información en los idiomas de las comunidades indígenas agrava esta situación.”

Los trabajos realizados en favor de las leyes que garantizan el acceso a la información, carecen de una deficiente atención relacionada con el concepto de violaciones graves de derechos humanos.

Al respecto el Doctor en Derecho Carlos María Pelayo Morales (2017), concluyó lo siguiente respecto a su trabajo: *Los términos del concepto violaciones graves de derechos humanos, en el marco del Acceso a la Información Pública en casos de graves violaciones a los Derechos Humanos en México*

“[...] conceptualmente la noción de lo que es una grave violación a los derechos humanos es amplia y aun indeterminada; aun así (o precisamente por ello), la Corte IDH ha preferido navegar en la vaguedad de la idea de lo que constituye una grave violación a los derechos humanos, aun cuando pudiera ser factible alcanzar un concepto sobre lo mismo.

En tercer lugar, las diversas disposiciones en materia de transparencia alcanzan una mayor profundidad si las analizamos a la luz de los estándares internacionales. En especial, resulta por demás importante la influencia que ejerce la jurisprudencia de la Corte IDH en México, a partir del peso que la Suprema Corte de Justicia de la Nación le ha dado aun por encima de otros organismos y tribunales internacionales. [...]”

El presente trabajo es de carácter teórico, y será desarrollado en la teoría del neoconstitucionalismo que considera a la Constitución no solo como una norma, sino como la norma suprema, y ello significa que condiciona la validez de todos los demás componentes del orden

jurídico y que representa frente a ellos un criterio de interpretación prioritario (Gil Rendon, 2011), esto debido a que la Constitución menciona en términos claros como se debe de garantizar los derechos humanos, por lo que el problema no debería de recaer en la falta de claridad de una Ley. Así mismo también utilizaré un enfoque metodológico inductivo que permitirá tener percepción analítica para la comprensión del tema.

En primer término, se desarrollarán las concepciones existentes del acceso a la información en casos de violaciones graves de derechos humanos en el sistema jurídico nacional e interamericano. En segundo lugar, se hará el análisis de cómo repercute la falta de claridad de lineamientos para otorgar información por violaciones graves de derechos humanos en el derecho de acceso a la justicia. Y en tercer lugar, abordará el tema de la discrecionalidad como posible factor de obstrucción de la justicia cuando se utiliza el término ‘violaciones graves de derechos humanos’ en perjuicio de la o las personas afectadas, lo que provoca que no se garantice el acceso a la justicia.

## 2. Marco teórico

Existen diversas concepciones del neoconstitucionalismo que le atribuyen los estudiosos de esta corriente, pero, la gran mayoría coincide en que no resulta viable dar una definición de lo que es el neoconstitucionalismo, ya que, sería limitar, o encasillar su significado. Sin embargo, es interesante tomar algunas de las características que se enuncian para entender de manera general y amplia, lo que es el neoconstitucionalismo.

Puede ser entendido como aquel esquema teórico que explica el proceso de transformación de la tradición formalista del derecho, derivado de la aceptación y comprensión de la norma fundamental como norma jurídica que integra un sistema de principios y valores que respaldan todo el derecho y, por consiguiente, al Estado y sus actividades. Se centra en gran medida en explicar la forma de operar de las Constituciones materiales, las cuales comportan un efecto expansivo que permea todo el sistema jurídico (Romero Martínez, El Neoconstitucionalismo y los principios del derecho, 2016). Promueve la aplicación directa de la Constitución, y se preocupa por la creciente multiplicación de sus

significados. [Enciclopedia de Filosofía y teoría del derecho, volumen uno / México: UNAM, Instituto de Investigaciones Jurídicas, 2015]

El neoconstitucionalismo, se presenta como una ideología concurrente de positivismo, y se instruye la clasificación análoga entre diversas formas de neoconstitucionalismo - teórico, ideológico, metodológico-, distinción formulada por Bobbio en el positivismo jurídico [Comanducci Paolo & Carnonell, 2002]. Sin la intención de realizar un estudio y análisis de esta clasificación, y continuando con el tema que nos ocupa, utilizaré el concepto de neoconstitucionalismo ideológico para la justificación de este análisis.

El neoconstitucionalismo ideológico, según Paolo Comanducci, tiene como objetivo principal garantizar los derechos fundamentales, promulgando una defensa y ampliación de estos. En particular, subraya la importancia de los mecanismos institucionales de tutela de los derechos fundamentales - podríamos en este sentido hablar de "neoconstitucionalismo de los contrapoderes"- pero más todavía destaca la exigencia de que las actividades del legislativo y del judicial estén directamente encaminadas a la concretización, la actuación y la garantía de los derechos fundamentales previstos en la Constitución [Comanducci, 2002]. Particularmente se subraya la relevancia de los mecanismos jurisdiccionales de tutela de los derechos fundamentales, a fin de que los poderes públicos sujeten sus actividades a la concretización de estos [Texto rescatado del libro El neoconstitucionalismo y los principios en el derecho. Universidad Nacional Autónoma de México.].

Con la finalidad de brindar una amplia tutela al derecho a la justicia, en relación con el derecho de información, es que resulta necesario conceptualizar el término "violaciones graves de derechos humanos", si bien la Constitución menciona de forma dispersa, lo ideal sería la integración en los instrumentos normativos de un concepto que recoja actos graves violatorios de los derechos humanos.

### 3. Situación del término "violaciones graves de derechos humanos".

#### *α. Sistema Nacional*

Establecer un sistema de transparencia y acceso a la información pública nacional constituye una parte fundamental para consolidar un Estado democrático. En México, establecer este sistema ha tomado más de 40 años, sin embargo, fue a partir del año 2002 cuando se obtuvo el mayor avance cuando se aprobó la ley federal de transparencia y acceso a la información. Años después, con motivo de seguir fortaleciendo el derecho al acceso a la información, así como las instituciones protectoras, fue que en el año 2015 se aprobó la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública, y a la par se reformó nuestra Constitución en este sentido.

Desde la reforma de derechos humanos del año 2011, se mantiene la expectativa de que todas las autoridades velen por el respeto y la garantía de los derechos fundamentales de todas las personas de conformidad con los principios de universalidad, interdependencia, indivisibilidad y progresividad, que enuncia nuestra Constitución. En este sentido, el principio de interdisciplinariedad es el que interesa destacar para comenzar a abordar el tema de acceso a la justicia en el marco del derecho a la información, entendiendo la relación que hay entre estos dos derechos, y que, sin la garantía del principal, los derechos accesorios se ven perjudicados.

El derecho de acceso a la Información se encuentra consagrado en el artículo 6º de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, que a la letra establece:

"La manifestación de las ideas no será objeto de ninguna inquisición judicial o administrativa, sino en el caso de que ataque a la moral, la vida privada o los derechos de terceros, provoque algún delito, o perturbe el orden público; el derecho de réplica será ejercido en los términos dispuestos por la ley. El derecho a la información será garantizado por el Estado.

Toda persona tiene derecho al libre acceso a información plural y oportuna, así como a buscar, recibir y difundir información e ideas de toda índole por cualquier medio de expresión. El Estado garantizará el derecho de acceso a las tecnologías de la información y comunicación, así como a los servicios de radiodifusión y telecomunicaciones, incluido el de banda ancha e internet. Para tales efectos, el Estado establecerá condiciones de competencia efectiva en la prestación de dichos servicios.”

Este derecho se rige por 8 principios que tienen que ser considerados para garantizar un acceso a la información eficaz, en los que se puede destacar que existe una visión clara de lo que el derecho al acceso a la información implica, procurando la máxima accesibilidad, así como exponiendo las obligaciones que las autoridades deben de cumplir. Específicamente el primer principio por el que se rige el ejercicio de derecho a la información menciona que la información es pública y solo podrá ser reservada temporalmente por razones de interés público y seguridad nacional, en los términos que fijen las leyes. En la interpretación de este derecho deberá prevalecer el principio de máxima publicidad (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos).

En términos constitucionales es clara la obligación de que la información sea de carácter reservado por razones de interés público y seguridad nacional, constitucionalmente de manera única se mencionan estos dos supuestos.

### *b. Situación Interamericana*

El derecho de acceso a la información es un derecho humano fundamental protegido en el artículo 13 de la Convención Americana sobre Derechos Humanos, la obligación de que los derechos humanos tienen que ser interpretados a la luz de los tratados internacionales, nos hace ver hacia estos instrumentos, que garantizan aún el acceso efectivo de los ciudadanos,

Es importante mencionar, que la Convención, como eje de estudio del derecho de acceso a la información no menciona explícitamente una forma para su protección, sin embargo, se entiende que es una obligación positiva que el Estado debe de garantizar, para la protección de este derecho. Bajo esta tesis, la Corte Interamericana de Derechos Humanos emitió una sentencia (Claudia

Reyes y otros, vs. Chile), en donde se enuncian criterios para interpretar el cumplimiento del derecho de acceso a la información cuando se habla de violaciones graves de derechos humanos, y que de esta manera sirva este instrumento para que el Estado garantice el acceso a los ciudadanos a sus derechos.

La sentencia menciona especialmente aspectos importantes que tendríamos que analizar, es importante mencionar que las sentencias de la Corte Interamericana son de observancia obligatoria, y de acuerdo a la Corte otros países que podrían encontrarse en situaciones similares, y con el antecedente pueden resolver en un sentido similar dependiendo del caso concreto (Rodríguez Rescia, 2009).

Ante la situación de garantizar el derecho de acceso a la información, en el año 2006 en la Corte Interamericana de Derechos Humanos surge uno de los principales precedentes que pretenden hacer efectiva la garantía del derecho a la información, y los aspectos que comprende este derecho, como, por ejemplo, recibir y buscar información, por lo que se pronunció en el caso Claudia Reyes y Otros vs. Chile.

“77. (...) [L]a Corte estima que el artículo 13 de la Convención, al estipular expresamente los derechos a “buscar” y a “recibir” “informaciones”, protege el derecho que tiene toda persona a solicitar el acceso a la información bajo el control del Estado, con las salvedades permitidas bajo el régimen de restricciones de la Convención (...). Dicha información debe ser entregada sin necesidad de acreditar un interés directo para su obtención o una afectación personal, salvo en los casos en que se aplique una legítima restricción. Su entrega a una persona puede permitir a su vez que ésta circule en la sociedad de manera que pueda conocerla, acceder a ella y valorarla. (...)”

86. (...) [E]l actuar del Estado debe encontrarse regido por los principios de publicidad y transparencia en la gestión pública, lo que hace posible que las personas que se encuentran bajo su jurisdicción ejerzan el control democrático de las gestiones estatales, de forma tal que puedan cuestionar, indagar y considerar si se está dando un adecuado cumplimiento de las funciones públicas (...).

87. El control democrático, por parte de la sociedad a través de la opinión pública, fomenta la transparencia de las actividades estatales y promueve la responsabilidad

de los funcionarios sobre su gestión pública. Por ello, para que las personas puedan ejercer el control democrático es esencial que el Estado garantice el acceso a la información de interés público bajo su control. Al permitir el ejercicio de ese control democrático se fomenta una mayor participación de las personas en los intereses de la sociedad. [...]” (caso Claudia Reyes y Otros vs. Chile.)

Se han desarrollado, en la sentencia, específicamente dos sentidos que interesa señalar en el presente trabajo, en primer lugar no se refiere únicamente a la terminología y obligación de proporcionar información, sino incentiva al Estado a realizar un esfuerzo de más, es decir, que la información que emite no sea una cuestión de trámite y cumplimiento, sino que funcione para desarrollar investigación, para evitar que la información se quede sobre documentos, y en segundo lugar la importancia que tiene la materia de transparencia de acceso a la información para que se consolide un estado de derecho democrático.

Continuando con las ideas que fueron emitidas en la sentencia antes citada, se desarrolla la siguiente idea.

“Como derivación del derecho a la información, en su carácter de herramienta necesaria para garantizar el conocimiento de graves violaciones a los derechos humanos, los Estados tienen también el deber de crear y preservar archivos públicos destinados a recopilar y sistematizar la información referida a graves violaciones de derechos humanos padecidas en sus países. La recopilación de esta información, la creación de archivos y su preservación son, precisamente, obligaciones estatales que derivan del derecho de acceso a la información como instrumento para garantizar los derechos de las víctimas de graves violaciones de derechos humanos.

Así, los Estados tienen “el deber de recolectar información relativa a violaciones de los derechos humanos de fuentes que incluyen: (a) organismos gubernamentales nacionales, en particular los que hayan desempeñado una función importante en relación con las violaciones de los derechos humanos; (b) organismos locales, tales como comisarías de policía, que hayan participado en violaciones de los derechos humanos; (c) organismos estatales, incluida la oficina del fiscal y el poder judicial, que participan en

la protección de los derechos humanos; y (d) materiales reunidos por las comisiones de la verdad u otros órganos de investigación”.

La obligación de investigar y de informar, impuesta a los Estados por el artículo 1.1 de la Convención Americana, no se satisface con el mero hecho de facilitar a los familiares el acceso a documentación que se encuentra bajo control oficial. El Estado está obligado a desarrollar una tarea de investigación y corroboración de los hechos, estén o no consignados en documentos oficiales, con el fin de esclarecer la verdad de lo ocurrido e informar a los familiares y a la opinión pública en general. Se trata de una obligación afirmativa y activa enderezada a obtener y procesar información que permita un amplio conocimiento de los hechos que no están hoy debidamente documentados. (Relatoría Especial para la Libertad de Expresión de la Comisión Interamericana de Derechos Humanos. (2010) El derecho de acceso a la información en el marco jurídico interamericano. Organización de los Estados Americanos.)”

Cuando hablamos de información que contiene elementos importantes en cuestiones de violaciones graves de derechos humanos, el ejercicio de la transparencia y las obligaciones del Estado para otorgar el acceso a la información se rigen por principios esenciales en el sistema interamericano, como lo descrito anteriormente.

La construcción de un catálogo de violaciones graves a derechos humanos se ha venido construyendo a través de la jurisprudencia interamericana (*Barrios Altos vs. Perú*), por lo que está vagamente mencionada. Un ejemplo de esta construcción es el caso que a continuación se menciona:

“**Barrios Altos Vs. Perú**, los hechos suscitados tuvieron lugar en 1991, cuando un grupo armado irrumpió en una fiesta que se desarrollaba con motivo de recaudar fondos cuando los individuos irrumpieron en la fiesta obligando a las presuntas víctimas a arrojar al suelo, y una vez que éstas estaban en el suelo, los atacantes les dispararon indiscriminadamente por un período aproximado de dos minutos, matando a quince personas e hiriendo gravemente a otras cuatro, quedando una de estas últimas permanentemente incapacitada. Posteriormente, los

atacantes huyeron en dos vehículos. Las investigaciones judiciales y los informes periodísticos revelaron que los involucrados trabajaban para inteligencia militar; eran miembros del Ejército peruano que actuaban en el “escuadrón de eliminación” llamado “Grupo Colina”, que llevaba a cabo su propio programa antisubversivo, a quienes las leyes peruanas les confió una amnistía.

Después de las investigaciones y la condena al Estado Peruano, el Tribunal Interamericano mencionó como violaciones graves a derechos humanos: la tortura, las ejecuciones sumarias, extralegales o arbitrarias, y las desapariciones forzadas. Así mismo, refiriéndose a las leyes de amnistía como conducentes a la indefensión de las víctimas y a la perpetuación de garantías establecidas, se enunciaron nuevamente términos que hacían referencias a las violaciones graves de derechos humanos como [ejecuciones extrajudiciales, masacres, tortura, desaparición forzada, crímenes de guerra, crímenes de lesa humanidad, etc.] (Ferrer, Mac - Gregor, 2014).”

En estos términos se atribuye como una violación grave de derechos humanos a los actos realizados por el Estado, además los lineamientos que se tendrían que seguir para saber si se trata o no de una grave violación de derechos dependerá de realizar el análisis a la luz de los tratados internacionales correspondientes, como, por ejemplo, la Convención Interamericana para Prevenir y Sancionar la Tortura, en donde se establecen los actos que constituyen la tortura. (Barrios Altos vs. Perú)

Es importante señalar esta concepción interamericana, ya que la Suprema Corte de Justicia de la Nación, remite a este marco normativo para referirse a las violaciones graves a derechos humanos, en la siguiente tesis aislada.

*Tesis: 1a. XI/2012 (10a.), Semanario Judicial de la Fedal, Libro V, Febrero de 2012, Tomo 1, p. 667, Reg. digital: 2000296*

**VIOLACIONES GRAVES A DERECHOS HUMANOS. SU CONCEPTO PARA EFECTOS DEL DERECHO DE ACCESO A LA INFORMACIÓN DE LA AVERIGUACIÓN PREVIA QUE LAS INVESTIGA.**

Con esta percepción nacional mexicana e interamericana, acerca de elementos que dan un poco de claridad al

término “violaciones graves de derechos humanos” no debería de existir dificultad para que las personas con interés acceden a esta información, o en su defecto no deberían de existir dudas sobre si clasificar la información como reservada o no, ya que las autoridades competentes tendrían que realizar este ejercicio.

Cuando hablamos del derecho a la información en el marco del derecho de acceso a la justicia, se entiende que la información en manos autoridades representa un documento fundamental para esclarecer algún hecho relevante, y más tratándose de información que represente un avance en la investigación de un hecho de violaciones graves de derechos humanos por lo que es importante dar la información que se solicita. De acuerdo a la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública no debe ser clasificada como reservada o confidencial; si bien, la misma ley señala expresamente esta situación, es importante mencionar que no existe mayor referencia que ayude a definir el tratamiento de información de esta naturaleza.

Aunado en lo anterior la problemática también se manifiesta no solo en el sentido de como un término ayuda a tener un panorama de lo que sí es una violación grave de derechos humanos, sino también cómo es que esta información una vez que sea otorgada tenga que cumplir con aspectos de claridad, de veracidad, y que además se otorgue de manera completa.

#### **4. Cómo repercute la falta de lineamientos para otorgar información cuando se trata violaciones graves de derechos humanos.**

Como se menciona en el apartado anterior, el problema es lidiar con los términos con los que se trata la información.

Esta situación provoca una constante violación de los derechos humanos de los mexicanos, que se materializa en las recomendaciones emitidas por la Comisión Nacional de los Derechos Humanos, quienes mediante el uso de sus facultades solicitan al Estado otorgar la información y abstenerse de actuar en un marco de corrupción y discrecionalidad. El objetivo de estas recomendaciones es procurar garantizar el acceso a la justicia de las víctimas o en su defecto el derecho a la verdad de las personas que resultan afectadas y a su vez una reparación del daño.



A continuación, se enumeran en la recomendación no. 38 vg/2020 con la finalidad de brindar ejemplos que ayuden a la justificación del problema:

*Recomendación no. 38 vg/2020 sobre el caso de violaciones graves a los derechos humanos por detención arbitraria, retención ilegal y actos de tortura en agravio de v1, v2 y v3, así como privación de la vida de v2 y violencia sexual en agravio de v1; aunado a la violación al derecho al acceso a la justicia; por hechos ocurridos, en ciudad Juárez, chihuahua. Ciudad de México, a 25 de septiembre de 2020. En esta recomendación se emitió en el sentido de que la información que se otorgara para el desarrollo de la averiguación fuera completa, necesaria y verídica.*

A nivel interamericano específicamente en las Observaciones Preliminares del Relator Especial de la ONU sobre libertad de expresión y el Relator Especial sobre libertad de expresión de la Corte Interamericana de Derechos Humanos, quienes hicieron el señalamiento de que en México existe una obstrucción de acceso a la justicia cuando se trata de acceso a la información relacionada con alguna violación grave a derechos humanos. (Observaciones Preliminares del Relator Especial de la ONU sobre libertad de expresión y el Relator Especial sobre libertad de expresión de la Corte Interamericana de Derechos Humanos, después de su visita a México, 27 de noviembre - 4 de diciembre 2017.)

1. (...) En nuestras conversaciones con las organizaciones de la sociedad civil, encontramos importantes preocupaciones acerca de cómo el acceso a la información opera en el contexto de las alegaciones de violaciones graves de los derechos humanos. Los investigadores parecen tener dificultades para obtener la información completa, con cantidades significativas de datos redactados y un fallo general de proporcionar razones de la no divulgación.
2. La falta de datos proporcionados por el Gobierno accesibles en relación con delitos como desapariciones o información en los idiomas de las comunidades indígenas agrava esta situación.(...)

## 5. El problema de la discrecionalidad en la actuación de las autoridades en casos de violaciones graves de derechos humanos.

Ante los problemas mencionados líneas arriba, tendrían que ser atendidos en relación con los principios de acceso a la información que emite la constitución, sin embargo, las antinomias existentes agravan la situación, y se podría caer en una actuación discrecional de las autoridades para que no se divulgue información que podría resultar perjuicio del Estado.

El actuar de las autoridades tiene que ir en el sentido de proteger y garantizar los derechos humanos de los ciudadanos, pero, ¿qué sucede cuando respetar y hacer efectivas estas garantías, podría resultar en un perjuicio para el propio Estado?

Cuando hablamos de un acto de violación de los derechos humanos, que tiene que ser sancionado, resulta evidente que el Estado pueda llegar a beneficiarse al no dar garantía al derecho de acceso a información.

Hablamos de discrecionalidad cuando en el actuar de las autoridades, no existe un respeto al derecho de los ciudadanos, en este caso cuando no se asegura el acceso a la información, ignorando las garantías que existen para su protección, y a su vez esto contraviene con garantizar otros derechos, como por ejemplo el acceso a la justicia en los casos donde la información para el desarrollo de alguna investigación es fundamental.

### "Alonso (1998:233) dice que

*La discrecionalidad es la libertad electiva que en ocasiones disponen los poderes públicos para decidir lo que estimen más conveniente de acuerdo con las circunstancias de cada caso, cuando la razón de ser de esa libertad sea distinta de la existencia de límites en el razonamiento jurídico y del legítimo ámbito de las pretensiones de las partes, de modo que cuando la misma existe se dan diversas soluciones jurídicamente válidas. (Tron Petit, 2009)."*

Este concepto se toma como punto de referencia para hablar de la existente discrecionalidad en la

administración pública, que provoca desconfianza al ciudadano. Incluso se puede hablar de una actuación que es manejada a la conveniencia del Estado, dejando en estado de indefensión al ciudadano, esto tiene como consecuencia la falta de garantía de derechos humanos, en el marco de acceso a la información

Como se expuso anteriormente, existe falta de claridad en el término de violaciones graves a derechos humanos, y la discrecionalidad representa una agravante más para el desarrollo del término "violaciones graves de derechos humanos", que resulta en el aprovechamiento de las autoridades.

## Conclusión

En un primer momento resulta importante rescatar la garantía de los derechos humanos que se da a través de los principios constitucionales, en este caso el principio de interdependencia. La constitución mexicana establece los parámetros para clasificar cierta información, en este sentido se debe atender a la supremacía constitucional, que representa un aspecto importante de garantía, mientras que la Ley General, que se encuentra en un rango inferior provoca dudas sobre interpretación de términos.

El derecho internacional ha desarrollado en la rama del derecho interamericano, una conceptualización que indique que información es considerada bajo el término "violaciones graves de derechos humanos" para evitar que se dé un tratamiento discrecional a la información, así como proponer lineamientos para que la información que se otorgue sea completa y verídica, para que dejen de existir obstáculos en el ejercicio del derecho a la información, y acceso a la justicia.

Determinar, sin una base legal, qué es, y qué no es una violación grave de derechos humanos da lugar a que el Estado niegue haber cometido una vulneración a los derechos humanos clasificando de manera discrecional información.

Considero que es apropiado hablar de un concepto integral de violaciones graves de derechos humanos en la

Constitución, si bien, podemos encontrar los actos graves que se consideran violatorios a los derechos humanos dispersos, establecer un concepto en la Constitución para asegurar un acceso efectivo al ejercicio del derecho a la información, sería el referente idóneo para que las autoridades actúen, y no se deja a la discrecionalidad de las autoridades en las diferentes instituciones.

Derivado del análisis de este artículo se propone como concepto de violaciones graves de derechos humanos:

"Todo aquel acto o actos violentos que ejerza el Estado en el marco de sus funciones contra una o más personas civiles, que resulte en un menoscabo a su persona, integridad dignidad, libertad, y primordialmente a su vida, como lo son las ejecuciones extrajudiciales, sumarias o arbitrarias, masacres, tortura, retención arbitraria, retención ilegal, cateos ilegales, desaparición forzada, crímenes de guerra, y/o crímenes de lesa humanidad."

Esta información no se encuentra exenta de cumplir con el principio de máxima publicidad, por lo que debe de ser pública, completa, oportuna y accesible, por lo que deberá imperar ante las circunstancias antes mencionadas, y entregar información a quien la solicite.

## Resumen curricular

### *Brenda Monserrat Otero Medina*

Estudiante de la Maestría en Ciencias Jurídicas de la Facultad de Derecho de la Universidad Autónoma de Querétaro, México. Becaria PNPC-CONACYT. Licenciada en Derecho por la Facultad de Derecho de la Universidad Autónoma de Querétaro, México. Este trabajo de investigación se llevó a cabo en el marco de la asignatura Constitucionalismo en el siglo XXI, impartida por el Dr. Enrique Rabell García, Doctor por la Universidad de Indiana, EEUU. Investigador de la Facultad de Derecho de la Universidad Autónoma de Querétaro, México, miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel I.

## Referencias bibliográficas

Comanducci Paolo & Carnonell, M. (2002). Formas de (neo) constitucionalismo: un análisis metateórico. Isonamía.

Comanducci, P. &. (2002). Formas de (neo)constitucionalismo: un análisis metateórico. Isonomía.

Ferrer, Mac - Gregor, E. (2014). Las siete principales líneas jurisprudenciales de la Corte Interamericana de Derechos Humanos aplicable a la justicia penal.

Gil Rendon, R. (2011). El neoconstitucionalismo y los derechos fundamentales. Quid Iuris (Chihuahua), 43-61.

Pelayo Moller, C. M. (2017). El acceso a la información pública en casos graves de violaciones a los derechos humanos en México. Estudios en Derecho a la Información.

Rodriguez Rescia, V. (2009). Las sentencias de la Corte

Interamericana de Derechos Humanos. Guía modelo para su lectura. Instituto Interamericano de Derechos Humanos.

Romero Martinez, J. M. (2016). El Neoconstitucionalismo y los principios del derecho. En J. M. Romero Martinez, Estudios sobre la organización jurídica principalista. Bases para la toma de decisiones judiciales (págs. 5 - 57). México: Instituto de Investigaciones Jurídicas, 2016.

Romero Martinez, J. M. (2016). El Neoconstitucionalismo y los principios en el derecho. En J. M. Romero Martinez. México: Instituto de Investigaciones Jurídicas, UNAM.

Tron Petit, J. (2009). El control de la discrecionalidad administrativa en sede jurisdiccional. En C. Steeiner, Procedimiento y justicia administrativa en América Latina. Colección Konrad Adenauer (págs. 413-452). México: Konrad - Adenauer - Stiftung e.V.





## “EL TRABAJO DEL HOGAR REMUNERADO EN LA ZONA METROPOLITANA DE QUERÉTARO. UN ESTUDIO NORMATIVO Y CUALITATIVO”

## “THE WORK OF THE PAID HOUSEHOLD IN THE METROPOLITAN AREA OF QUERÉTARO. A NORMATIVE AND QUALITATIVE STUDY ”

Camacho-Galván Brenda Gissel <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Derecho, UAQ. Centro Universitario, Cerro de las Campanas s/n. Santiago de Querétaro, México.

\* Autor de correspondencia, correo: [brendagcg25@gmail.com](mailto:brendagcg25@gmail.com)

### Aspectos interesantes

En México, más de dos millones de mujeres se dedican al trabajo remunerado del hogar. La legislación mexicana se reformó en 2019 ampliando su protección, incorporándolas al seguro social. El Estado mexicano tiene actualmente diversos retos en materia de derechos humanos en el trabajo del hogar.

### Resumen

El objetivo de este artículo es conocer los avances jurídicos en materia de derechos humanos de las personas trabajadoras del hogar y revisar si, en la práctica laboral, las trabajadoras del hogar conocen estos derechos.

Para este fin, se realizó un análisis inicial de diversos instrumentos normativos con la intención de mostrar la situación de las garantías sustantivas de este gremio, dichos instrumentos fueron: la Constitución Federal, la Ley Federal del Trabajo (LFT), la Ley del Seguro Social (LSS), el Convenio sobre las Trabajadoras y los Trabajadores Domésticos de la Organización Internacional del Trabajo (C-189) y el Programa Piloto para personas trabajadoras del hogar del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS). Posteriormente, se realizó un trabajo de campo de método cualitativo, a través de entrevistas semiestructuradas a trabajadoras del hogar, para conocer sus condiciones laborales, experiencias, perspectivas y su grado de conocimiento sobre el marco normativo mencionado.

A partir del estudio, se pudo advertir que, aunque se ha reforzado el marco normativo, aún queda un largo camino por recorrer para garantizar su efectividad. También faltan acciones para lograr una igualdad

material e interseccional para las personas dedicadas a esta labor y, de esta forma, cumplir con las obligaciones constitucionales de promover, respetar, proteger y garantizar los derechos humanos sin discriminación.

Palabras clave: *trabajo del hogar, derechos humanos, trabajo digno, seguridad social, justicia social.*

### Abstract

*The objective of this article is to know the legal advances in the matter of human rights of domestic workers.*

*For this purpose, was carried out an initial analysis of various regulatory instruments with the intention of showing the situation of the substantive guarantees of this union, these instruments were the Federal Constitution, the Federal Labor Law (LFT), the Social Security Law (LSS), the Convention on Domestic Workers of the International Labor Organization (C-189) and the Pilot Program for Domestic Workers of the Mexican Institute of Social Security (IMSS). Subsequently, was carried out interviews with domestic workers, to find out their working conditions, experiences, perspectives and their knowledge about the aforementioned regulatory framework.*

*From the study, it was possible to see that, although the regulatory framework has been strengthened, there is still a long way to go to guarantee its effectiveness and achieve material and intersectional equality for the people who dedicate to this work; and thus comply with the constitutional obligations to promote, respect, protect and guarantee human rights without discrimination.*

Keywords: Domestic labor, human rights, decent work,

social security, social justice

## 1. Introducción

El trabajo del hogar es una ocupación integrada mayoritariamente por mujeres, se estima que sólo en México hay más de 2 millones de personas dedicadas a esta labor.

En este artículo se abordan los derechos que les son reconocidos a las trabajadoras del hogar a partir del 2019 en las reformas a la Ley Federal del Trabajo (LFT) y la Ley del Seguro Social (LSS), así como los criterios emitidos por la Suprema Corte de Justicia de la Nación (SCJN) que llevan a declarar la inconstitucionalidad de la exclusión de este gremio del régimen obligatorio del seguro social, en relación con la discriminación a las que ha sido expuesto por motivos de género, edad, origen étnico o nacional, por ocupación, condición socioeconómica, entre otros.

Para este propósito, se ha realizado un trabajo de campo cualitativo a partir de entrevistas a mujeres trabajadoras del hogar residentes en la zona metropolitana de Querétaro, quienes aportaron información significativa sobre la forma en que ejercen sus relaciones laborales y cómo ellas las interpretan. De esta manera, se analiza los derechos de las personas trabajadoras del hogar con la intención de conocer si el nuevo marco legal ha ayudado a proteger su dignidad y mejorar su calidad de vida.

## 2. Metodología

La metodología<sup>1</sup> utilizada para la investigación fue:

- 1). Por el propósito perseguido, aplicada.
- 2). Por los medios utilizados para la obtención de datos, de campo.
- 3). Por el enfoque de la información, cualitativa.
- 4). Por el nivel de conocimientos adquiridos, descriptiva.

Se efectuó un estudio cualitativo a través de entrevistas semiestructuradas a seis mujeres residentes en la Zona Metropolitana de Querétaro, que se dedican o se han

dedicado al trabajo doméstico, sin distinción de edad u origen.

El interés de la investigación surge a partir de la pregunta: ¿El nuevo marco normativo que regula el trabajo del hogar ha tenido la suficiente difusión y materialización entre las trabajadoras de la Ciudad de Querétaro?

Hipótesis planteadas:

- 1). Las entrevistadas no ejercen sus derechos sustantivos contenidos en el nuevo marco normativo del TDH.
- 2). Las entrevistadas desconocen dicho marco normativo.
- 3). Las entrevistadas están de acuerdo en la importancia de que les sean reconocidos sus derechos laborales y el derecho a la no discriminación.

## 3. Contexto del trabajo del hogar

La Ley Federal del Trabajo define como persona trabajadora del hogar a “aquella que, de manera remunerada, realice actividades de cuidados, aseo, asistencia o cualquier otra actividad inherente al hogar en el marco de una relación laboral” (MÉXICO: LFT, 2019, art. 331), considerando entre estas actividades: cocinar, lavar, planchar, cuidar de niños, enfermos o ancianos. También son parte de este gremio choferes, vigilantes, y jardineros (OIT, 2015, B), no importa si residen o no en el domicilio en que prestan servicios, o si trabajan para distintas personas empleadoras, por horas o tiempo completo. Las características esenciales del trabajo del hogar (TDH) son que las actividades estén enfocadas en el sostenimiento del hogar y la familia, sean realizadas en una casa habitación y haya una remuneración en contraprestación.

Motivado por los estereotipos de género, el trabajo del hogar generalmente es delegado a las mujeres. Esta feminización del trabajo reproductivo<sup>2</sup> está arraigada en la sociedad y tiene como consecuencia que el TDH no sea reconocido como una relación laboral

<sup>1</sup>De conformidad con los *Lineamientos Generales para la Obtención de Diploma o Grado (Especialidad, maestría y doctorado)*, aprobados por el Consejo Académico de la División de Investigación y Posgrado de la Facultad de Derecho, aprobados en enero de 2017 y vigentes a la realización del escrito.

<sup>2</sup> La *división sexual del trabajo*, producto de teorías materialistas y feministas, describe las formas en que las mujeres han estado vinculadas a actividades de cuidados, limpieza y reproducción dentro de sus hogares, las cuales son consideradas no productivas sino *reproductivas*, delegación que tuvo origen en prejuicios morales y biológicos. (BRUNET y SANTAMARÍA, 2016).



con derechos y obligaciones intrínsecas. Además, debido a que la sociedad percibe que dichas actividades no requieren de una preparación previa, esta labor ha sido realizada por mujeres de bajo nivel socioeconómico, poca escolaridad, de origen indígena o migrantes, quienes muchas veces deben incursionar en este trabajo siendo aún niñas o adolescentes.

La regulación del TDH inició en 1970 con la Ley Federal del Trabajo<sup>3</sup>, la cual, bajo el principio de justicia social, incluyó esta labor en el apartado de trabajos especiales, que el legislador consideró distintos al resto por su propia naturaleza y como una forma de atender a los cambios sociales persiguiendo la equidad y justicia social.

Por su parte, la Ley del Seguro Social<sup>4</sup> determinaba, en el artículo 13, que su inscripción al seguro social era a través del régimen voluntario, es decir, que no existía una obligación legal para los patrones de asegurar a sus trabajadores, sino que era una opción a la cual podían acceder mediante acuerdo de las partes. Además, estos trabajadores no tenían derecho al pago de vacaciones, prima vacacional, aguinaldos, horas extras, guarderías y demás prestaciones. En mayo de 2019, la Segunda Sala de la SCJN emitió las tesis aisladas XXX/2019 y XXXI/2019 que declararon la inconstitucionalidad del artículo 13, fracción II de la LSS, al excluir a las personas trabajadoras del hogar del régimen obligatorio del seguro social sin que exista un motivo objetivo y razonable (SCJN, 2019: p.1544), por resultar discriminatorio en cuanto a motivos de género ya que se trata de una ocupación feminizada (SCJN, 2019: p. 1543)<sup>5</sup>.

#### 4. Significado de la reforma de 2019 para las trabajadoras entrevistadas

Atendiendo a dichos criterios y a iniciativas de reforma propuestas por diversos legisladores, se reformaron en

julio de 2019 la LFT y la LSS. Esta modificación contiene entre sus puntos más importantes los siguientes:

##### 4.1. Cambio de denominación

La legislación laboral de 1971 refería como nombre legal “trabajadores domésticos”, sin embargo, socialmente se han utilizado términos despectivos (muchas veces impulsados por los medios de comunicación)<sup>6</sup>. Las mujeres entrevistadas reconocen que esta es una de las formas más comunes de discriminación que viven: “... yo lo vi muchas veces...somos: la que me ayuda, la que limpia, la que viene a mi casa, la chacha; pero no somos más...La sociedad como que todavía no está lista para recibirnos como un trabajo...”. Para las participantes la forma de referirse a su labor es muy importante, ya que denota respeto a su dignidad y valor por la ocupación. En este sentido, a partir de 2019, se modificó la LFT y el término legal actual es “trabajo del hogar”, que resalta la existencia de una relación laboral con derechos y obligaciones para las partes.

##### 4.2. Trabajo de menores

El artículo 331 Bis prohíbe la contratación de menores de quince años y establece algunos requisitos específicos para la contratación de adolescentes entre los quince y dieciocho años, los cuales garantizan su seguridad instaurando una jornada laboral máxima de 36 horas semanales. Además, los empleadores tienen la obligación de cooperar para que las trabajadoras adolescentes puedan concluir la educación secundaria en caso de no haberlo hecho.

De acuerdo con el Consejo Nacional para Prevenir la Discriminación (CONAPRED), el 21% de las personas trabajadoras del hogar incursionaron en esta labor cuando tenían entre 10 y 15 años (CONAPRED, 2019, C: p.1) por lo que la probabilidad de que tengan terminada su educación básica es muy baja.

<sup>3</sup> Inicio de vigencia: 30 de mayo de 1970.

<sup>4</sup> Inicio de vigencia: 1 de julio de 1997.

<sup>5</sup> En 2016 una mujer que se dedicó por 50 años al trabajo del hogar demandó de sus empleadores, del Instituto Mexicano del Seguro Social y del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores, el pago de distintas prestaciones laborales. La Junta Local de Conciliación y Arbitraje correspondiente señaló en el laudo que no existía obligación para los demandados. La parte actora promovió amparo directo contra dicho laudo y el asunto fue resuelto por la Segunda Sala por la Suprema Corte de Justicia de la Nación.

<sup>6</sup> El ejemplo más claro es la representación del trabajo del hogar dentro de las telenovelas mexicanas, en las que se plasma el arquetipo de la trabajadora, comúnmente de origen indígena o rural, sin instrucción y que es tratada con desprecio por la familia empleadora; para finalmente lograr convertirse en la señora, abandonando su vida precaria. Para mejor referencia leer “Heroínas-sirvientas. Análisis de las representaciones de trabajadoras domésticas en telenovelas mexicanas” en Trayectorias, vol. 15, no. 36 enero-junio 2013, pp. 20-44. <https://www.redalyc.org/pdf/607/60727448002.pdf>

<sup>7</sup> Trabajadora del hogar entrevistada el 14 de octubre de 2021. Contestando a la pregunta ¿Crees que la sociedad valora el trabajo del hogar?

En este sentido, en las entrevistas se puede apreciar que sólo una de las participantes se incorporó a esta labor antes de la mayoría de edad (a los 16 años). Sin embargo, el nivel educativo de las entrevistadas es bajo<sup>8</sup> (aunque todas saben leer y escribir), y consideran que este fue un factor determinante para dedicarse a esta ocupación.

#### 4.3. Garantía de no discriminación

Las entrevistadas respondieron de forma negativa a la pregunta *¿Te has sentido discriminada por ser trabajadora del hogar?*; manifestando no haberse sentido víctimas de discriminación por su ocupación. Sin embargo, en el proceso de las entrevistas se narraron experiencias negativas, consecuencia de tratos diferenciados e injustificados que atentan contra su dignidad. No obstante, es necesario recalcar, que las participantes no identifican estas conductas como discriminación; *“No, como tal no. Pero si llegué a sufrir regañones por parte de mi patrona...ella era muy exigente, carecía de paciencia...se llegó a enojar conmigo, me regañó o yo le di motivos...me llegó a decir que era... una palabra, no me acuerdo bien...solamente verbalmente. Pero ya después se disculpó conmigo”*.

A pesar de no percibirse como víctimas directas, consideran que la discriminación es un factor recurrente que sufren las mujeres en esta labor, *“...en la calle la veían como un bichito raro, porque despectivamente decían, -Trabaja de gata”*.

Es necesario recalcar que varias de las participantes trabajaron en un lugar distinto al de origen, por lo que se les considera trabajadoras migrantes<sup>9</sup>. Ellas también afirman que su condición económica y la falta de preparación fueron los principales motivos que las hicieron incorporarse al trabajo del hogar. Es decir, las participantes forman parte de más de un grupo vulnerable.<sup>10</sup>

Por esta razón, uno de los avances más significativos de esta reforma es la prohibición de discriminación. Está prohibida la realización de cualquier

acto que menoscabe la dignidad de las personas trabajadoras, en todas las etapas de la relación laboral y en las condiciones laborales. Un ejemplo muy claro de esto es que está prohibido despedir a trabajadoras embarazadas y solicitar constancia de no gravidez.

En la reforma también se incluyó el derecho a un contrato por escrito que garantice la seguridad de las partes y que contenga, de forma específica, las actividades a desarrollar (la ley recalca que, aunque se trate de un trabajador migrante, el contrato por escrito es obligatorio). Sobre este punto, ninguna de las entrevistadas ha tenido un contrato por escrito que respalde sus condiciones laborales, lo cual, las ha hecho sufrir arbitrariedades por parte de los empleadores. Varias de ellas manifestaron que los patrones no respetan los acuerdos iniciales en relación a las actividades a realizar y aumentan de forma gradual la carga de trabajo, pero no así con el salario; *“Por ejemplo, me dijeron -Vas a lavar cinco camisas- y el día que llegué ya estaba el bote lleno, y ya no nada más eran camisas...”*

Todas las participantes afirmaron que al momento de la contratación, acuerdan las condiciones laborales con los patrones (el salario, las actividades y la jornada), sin embargo, se puede inferir que son más flexibles cuando tienen alguna necesidad económica apremiante.<sup>11</sup>

#### 4.4. Prestaciones

Por primera vez, a partir de 2019, las personas trabajadoras del hogar tienen derecho a las prestaciones legales mínimas que les garanticen condiciones dignas. Algunas de las más importantes son el derecho a vacaciones anuales pagadas, a una prima vacacional del 25%, al pago de día y medio de descanso por semana, a un aguinaldo de 15 días de salario por año y acceso obligatorio al seguro social. Esta última garantía está incluida en la reforma al artículo 12 de la LSS, la cual menciona que este gremio es ahora sujeto de aseguramiento en el régimen obligatorio del seguro social.

<sup>8</sup> Una de las entrevistadas terminó la preparatoria; tres de ellas concluyeron la secundaria; una de ellas, la primaria. La entrevistada con menor grado educativo terminó solo el primer año de primaria, mencionó que lee y escribe poco.

<sup>9</sup> La mayoría de las entrevistadas no son de la Ciudad de Querétaro. Algunas de ellas han trabajado en ciudades distintas a la mencionada, como por ejemplo la Ciudad de México y Chula Vista, California en los Estados Unidos

<sup>10</sup> El sexo, el origen, la edad, la condición social y la ocupación, forman parte de las categorías sospechosas contenidas en el artículo Primero Constitucional, a partir de las cuáles se puede ser víctima de una distinción injustificada.

<sup>11</sup> Una entrevistada comentó, fuera de la entrevista, que cuando necesitó el trabajo, llegó a cobrar hasta \$200 pesos por limpieza, es decir \$150 pesos menos de lo que cobra regularmente.

Las participantes afirmaron que nunca han tenido prestaciones laborales a razón de esta labor; aunque algunas de ellas han gozado de estas prerrogativas por tener empleos distintos de forma consecutiva.<sup>12</sup> En este sentido, en relación al trabajo del hogar, no cuentan con seguro médico y en caso de emergencia, los gastos derivados corren por su cuenta. Sólo una de las participantes afirmó que, en caso de enfermedad, sus empleadores le reintegran la cantidad requerida.

#### 4.4.1. Acceso a la seguridad social

De acuerdo con la Organización Internacional del Trabajo (OIT), la seguridad social “ayuda a la mejora de la productividad y contribuye a la dignidad y plena realización de los individuos” (OIT, 2020, D), es decir, que no sólo es benéfica para trabajadores y empleadores, sino para el desarrollo social en general.

En la actualidad, la LSS contempla como obligatoria la inscripción de las personas trabajadoras del hogar al Instituto Mexicano del Seguro Social. A partir de su inscripción están cubiertas por los seguros de riesgos de trabajo, enfermedades y maternidad; invalidez y vida; retiro, cesantía en edad avanzada y vejez; guarderías y prestaciones sociales, etc., en caso de incumplimiento en la inscripción de la trabajadora, los empleadores son responsables de los daños y perjuicios que resulten. En este punto, solamente una de las entrevistadas dijo que su empleadora tiene la intención de pagar las cuotas para que tenga seguro social.<sup>13</sup>

Las participantes mayores de 50 años reconocieron que el trabajo del hogar les ha dejado secuelas físicas; por ejemplo, una de ellas comentó: “Yo tuve caídas en casas y mi columna me duele hasta la fecha... sí me dejaron mal.” Este tipo de accidentes aunados a la falta de seguro social que les permita tener un tratamiento médico oportuno, dificultan actualmente sus labores diarias.

Otro ejemplo de la importancia de la seguridad social es el apoyo de guarderías. Varias de las entrevistadas son madres solteras, lo cual les dificulta el cuidado de sus hijos a la par del cumplimiento de sus

labores. Esto, ha tenido consecuencias graves para sus familias, por ejemplo, la adicción a las drogas por parte de los menores.<sup>14</sup>

#### 4.4.2. Programa Piloto del Instituto Mexicano del Seguro Social

El 30 de mayo de 2019 se puso en marcha el Programa Piloto del IMSS, que otorga seguridad social al TDH. Su intención es conocer las problemáticas en relación con la incorporación de las trabajadoras, para generar estrategias más eficientes. Al estar inscritas en este programa, las personas trabajadoras tienen derecho a servicios médicos, atención hospitalaria, medicamentos, atención obstétrica, incapacidades, pensión por invalidez y vida, fondo para el retiro, prestaciones sociales como velatorios y guarderías; además de que protege a la persona titular, su cónyuge, concubinario o concubina, su padre y madre, hijos y demás dependientes económicos. De acuerdo con los registros institucionales del IMSS, entre mayo del 2019 y septiembre del 2020, la incorporación al seguro social aumentó 2,219%; antes del inicio del Programa Piloto estaban inscritas 1,138 personas trabajadoras del hogar, cifra que aumentó a 25,369 después del programa, de las cuales el 69% son mujeres y el 24% se ubican en la Ciudad de México y el Estado de México (IMSS, 2020; p. 18).

Solo una de las entrevistadas afirmó conocer este Programa, pero no está inscrita en él. Esta participante manifestó conocer sus derechos, gracias a las redes de apoyo que las propias trabajadoras han construido a nivel nacional, a través de diversas páginas<sup>15</sup> en la red social Facebook, en las cuales las participantes comparten experiencias e información relevante de esta labor.<sup>16</sup>

#### 4.5. Inspección de trabajo

Por primera vez se incluye a los hogares como centros que deberán ser inspeccionados (con especial énfasis cuando se trate de trabajadores migrantes y menores de 18 años). La inspección de trabajo tiene como objetivo vigilar el cumplimiento de las normas laborales, informar acerca de posibles violaciones a las mismas y asesorar a las partes involucradas. La finalidad de estas

<sup>12</sup> Es decir que, varias de las entrevistadas se dedican al trabajo del hogar como actividad secundaria y tienen otro empleo; en el cual gozan de las prestaciones obligatorias por ley

<sup>13</sup> La participante narró fuera de la entrevista que su empleador es abogado, lo cual implica que tenga conocimiento sobre sus obligaciones dentro de la relación laboral.

<sup>14</sup> Aunado a otras situaciones, ya que la drogadicción es un fenómeno multifactorial.

<sup>15</sup> La página Mi Trabajo Cuenta y la página del Sindicato Nacional de Trabajadoras del Hogar

<sup>16</sup> Las redes sociales han transformado la forma en que se construyen las relaciones laborales. Una de las principales formas de enlace entre trabajadoras y empleadoras es a partir de grupos creados con este fin.

inspecciones es mejorar la protección de la dignidad de las personas trabajadoras y el acceso a la justicia al vigilar las actuaciones por parte de los empleadores.

Todas las entrevistadas, afirmaron que se sienten conformes con sus condiciones laborales, percibiéndolas como justas. Además, dijeron sentirse valoradas y disfrutar de su trabajo, no obstante, se tendría que revisar si estas respuestas surgen a partir de la confianza generada con las familias empleadoras, la cual es una de las características más importantes para ellas dentro de sus relaciones laborales. Una de las participantes manifestó con respecto a la confianza en su trabajo: *“Cuando eres empleada doméstica y le caes súper bien a la patrona, eres su confidente, te cuenta sus tristezas, sus penas, sus alegrías y, formas parte de la familia...es bonito...”* Otras participantes refirieron que se sienten más cómodas y seguras estableciendo bases de confianza, ya que hacen que la relación sea ‘diferente’, no sólo para ellas, sino para los empleadores: *“Una trabajadora doméstica es así como una intrusa, te abren la puerta de su casa y no saben qué tipo de mañas llevamos como empleadas”*.

No obstante, también es posible que este vínculo generado entre las partes pueda tener consecuencias negativas en las condiciones de trabajo, como minimizar o normalizar los abusos. Una de las entrevistadas en una historia particular, narró: *“Pues mira, en una de las casas me dijeron -Este es el baño que puedes ocupar (refiriendo que no debía ocupar el resto de los sanitarios en la casa)-, porque el otro baño está un poquito alto... entonces me dijeron -Vas a entrar a este baño, no porque te hagamos menos, es porque el otro baño está hasta arriba-, y dije - ¡Qué bueno que no tuve que llegar hasta arriba! (la trabajadora debía limpiar dicho baño, sin embargo, no debía utilizarlo).*

En este tipo de casos, esta condición de confianza y de “sentirse parte de la familia”, puede llegar a ser un factor que obstaculice las inspecciones de trabajo.

#### 4.6. Salario mínimo profesional

Desde 1970, con la entrada en vigor de la Ley Federal del Trabajo fue establecida en el artículo 336 la obligación para la Comisión Nacional de Salarios Mínimos

(CONASAMI) de fijar un salario mínimo profesional para el TDH, encomienda que fue cumplida hasta el 16 de diciembre de 2020. Para 2021, la CONASAMI acordó que la remuneración mínima para el trabajo del hogar es de \$154.03 pesos diarios; es decir, esto es un aumento del 25% con relación al salario mínimo general de 2020 [STPS, 2020].

La determinación de este monto representa un avance en las garantías laborales para este gremio, sin embargo, es importante recalcar que en mayo de 2019 la CONASAMI presentó un estudio técnico dentro del cual se propuso que el salario mínimo profesional fuera de \$248.72 pesos diarios (INDESOL, 2020).

La mayor parte de las entrevistadas trabajan en el régimen de *entrada por salida*, es decir, viven en un domicilio distinto al que prestan sus servicios.<sup>17</sup> Ellas coincidieron en que su salario aproximado es de \$300 a \$400 pesos por una jornada promedio de cinco horas de trabajo. Esto quiere decir que perciben el doble del salario mínimo. La determinación de un salario mínimo tan bajo como el propuesto podría significar reducciones en la remuneración de las trabajadoras, sin incumplir con el mínimo legal, lo cual resultaría perjudicial para su economía familiar. Por lo tanto, es necesario que haya un aumento para el año 2022.

### 5. Convenio 189 de la O.I.T.

En julio de 2021 entró en vigor para México el Convenio número 189 sobre las Trabajadoras y los Trabajadores Domésticos de la OIT [C-189].<sup>18</sup> Éste contempla derechos y condiciones dignas de trabajo: el derecho a la privacidad, a una protección efectiva contra toda forma de violencia, acoso o abuso, derecho a ser informados sobre las condiciones de contratación y empleo, protección para personas trabajadoras migrantes en su país de origen y en el de destino (derecho a la repatriación, a no ser privado de documentos de identidad, etc.), derecho a la igualdad entre las personas trabajadoras en relación a prestaciones legales, por ejemplo el pago de horas extras, que se establezca un salario mínimo profesional; derecho a la salud y la seguridad social; una protección efectiva contra las prácticas abusivas por agencias de

<sup>17</sup> Cuando una trabajadora vive en el mismo domicilio donde trabaja se denomina *de planta*.

<sup>18</sup> De acuerdo con el artículo 21 del propio instrumento, éste entrará en vigor doce meses después de la fecha de registro de su ratificación, siendo que el documento de ratificación se presentó a la OIT el 3 de julio de 2020.

contratación, acceso a tribunales y otros mecanismos de resolución de conflictos así como el derecho a la protección efectiva de trabajadores menores de 18 años. Dicha incorporación significa que el tratado forma parte del bloque de constitucionalidad, es decir, todas las autoridades dentro de sus competencias, deben velar por su cumplimiento y las personas trabajadoras pueden exigirlo a través de los tribunales.

## Conclusión

Comparando la información recabada a través del trabajo de campo con la que fue obtenida a través de fuentes documentales, se llega a las siguientes conclusiones:

- Primera hipótesis, se confirma. Las trabajadoras del hogar entrevistadas no ejercen sus derechos sustantivos contenidos en el nuevo marco normativo del TDH. Esto se refleja principalmente al no contar con prestaciones laborales.

- Segunda hipótesis, se confirma. El mencionado marco jurídico no ha tenido difusión suficiente, ya que la mayoría de las entrevistadas lo desconocen. Siendo este el motivo primordial de la falta de ejercicio de sus derechos.

- Tercera hipótesis, se confirma parcialmente.

En relación con la tercera hipótesis, se concluyen los siguientes puntos:

Las entrevistadas reconocen la importancia que tiene su trabajo como sostén de las actividades productivas de sus empleadores (es decir, que gracias al TDH, los empleadores pueden salir a realizar todos los días sus actividades profesionales y recreativas), sin embargo, al desconocer sus derechos laborales, perciben como justas las condiciones en que trabajan cuando muchas veces no lo son. Por lo cual, es necesario una campaña de información sobre derechos laborales y en general, sobre garantías fundamentales, ya que, en este mismo aspecto, para las entrevistadas no fue tan sencillo identificar actos discriminatorios en su contra por ser sutiles o no ser evidentes como otros de los que han sido testigos.

No obstante, las trabajadoras coinciden en que esperan que las condiciones para las personas trabajadoras del hogar mejoren, particularmente

que su labor tenga el debido reconocimiento social y que la discriminación que se ha observado hacia su oficio se termine.

Los avances legislativos contenidos en la reforma de 2019, así como la ratificación del C-189 y el Programa Piloto del IMSS, son acciones afirmativas que permitirán reparar la condición de desventaja en la que estas personas se encuentran; sin embargo, la falta de difusión entre las partes (trabajadores y empleadores) imposibilita su materialización. De esta manera, concluye que es necesario desarrollar campañas de sensibilización sobre la importancia del TDH en la sociedad queretana, así como campañas informativas sobre los derechos y obligaciones de las partes, medidas que deberán ser abordadas desde la interseccionalidad, tomando en cuenta las categorías sospechosas a las que las personas involucradas puedan pertenecer.

Aunado al anterior, es menester armonizar los preceptos del C-189 así como las recomendaciones emitidas por organismos internacionales a las leyes nacionales y, a partir de ellos, desarrollar los mecanismos pertinentes que aseguren la correcta incorporación al seguro social, el acceso a una justicia pronta y expedita, y que erradiquen toda forma de discriminación para que los trabajadores tengan acceso a oportunidades laborales, educativas y de salud que mejoren sus condiciones de vida. Esto sólo será posible escuchando a las partes, para conocer sus necesidades reales y actuando en consecuencia.

## Referencias bibliográficas

### PÁGINAS WEB

INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL. Personas trabajadoras del hogar. [2019]. <http://www.imss.gob.mx/personas-trabajadoras-hogar> Accessed 26 February 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE DESARROLLO SOCIAL. Conversatorio INDESOL *El salario mínimo para las trabajadoras y los trabajadores del hogar*. [22 de octubre 2019]. <https://www.gob.mx/conasami/videos/conversatorio-indesol-el-salario-minimo-para-las-trabajadoras-y-trabajadores-del-hogar> Accessed December 2020.

### ARTÍCULOS DE REVISTA

Burnet Icart, I. y Santamaría Velasco, C. (2016) La



economía feminista y la división sexual del trabajo. *Culturales*, vol. 4, no. 1, México, enero- junio 2016. <https://biblat.unam.mx/es/revista/culturales/articulo/la-economia-feminista-y-la-division-sexual-del-trabajo>

#### ARTÍCULOS DE PERIÓDICO

Morales Fredes, F. “El Economista” STPS incorpora inspectores para cumplir reforma laboral. <https://www.economista.com.mx/empresas/STPS-incorpora-inspectores-para-cumplir-reforma-laboral-20191023-0012.html> Accessed 23 January 2021.

#### INFORMES DE ORGANISMOS NACIONALES

CONSEJO NACIONAL PARA PREVENIR LA DISCRIMINACIÓN. Condiciones laborales de las trabajadoras domésticas. *Estudio cuantitativo con trabajadoras domésticas y empleadoras*. [2015].

CONSEJO NACIONAL PARA PREVENIR LA DISCRIMINACIÓN. Ficha temática: *Trabajadoras del Hogar*. [2019].

CONSEJO NACIONAL PARA PREVENIR LA DISCRIMINACIÓN. Resultados de la Encuesta Nacional sobre Discriminación y panorama general de la discriminación en México. [2017]. <http://coneval.org.mx/Eventos/Documents/Resultados-de-la-Encuesta-Nacional-sobre-Discriminacion-2017.pdf> Accessed 7 July 2020.

INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL. Informe de resultados de la Prueba Piloto para la incorporación de personas trabajadoras del hogar al régimen obligatorio del Seguro Social. [2020]. [https://infosen.senado.gob.mx/sgsp/gaceta/64/3/2021-03-17-1/assets/documentos/Informe\\_Com\\_Trabajo\\_Trabajadores\\_Piloto.pdf](https://infosen.senado.gob.mx/sgsp/gaceta/64/3/2021-03-17-1/assets/documentos/Informe_Com_Trabajo_Trabajadores_Piloto.pdf) Accessed 12 April 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA. Estadísticas a propósito del Día Internacional del Trabajo Doméstico. [2017].

PARVADA, ESTRATEGIAS COMUNITARIAS A.C. Informe sobre la situación de las trabajadoras del hogar en el área metropolitana de Guadalajara en el marco del COVID-19. [2020]. <http://www.trabajodelhogar.org/informe> Accessed 18 March 2020.

SECRETARÍA DEL TRABAJO Y PREVISIÓN SOCIAL. Boletín número 117/2020 *Acuerda el CONASAMI incremento del salario mínimo del 15% para 2021*. [2020]. <https://www.gob.mx/conasami/prensa/acuerda-conasami-incremento-del-salario-minimo-del-15-para-2021-259690> Accessed 22 December 2020.

#### INFORMES DE ORGANISMOS INTERNACIONALES

COMITÉ DE DERECHOS ECONÓMICOS, SOCIALES Y CULTURALES. Observaciones finales sobre a los informes periódicos quinto y sexto combinados de México. ONU, abril 2018. E/C.12/MEX/CO/5-6.

COMITÉ DE PROTECCIÓN DE LOS DERECHOS DE TODOS LOS TRABAJADORES MIGRATORIOS Y SUS FAMILIAS. Observaciones finales sobre el tercer informe periódico de México. ONU, septiembre 2017. CMW/C/MEX/CO/3.

ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO.

Normas internacionales del trabajo sobre la seguridad social. <https://www.ilo.org/global/standards/subjects-covered-by-international-labour-standards/social-security/lang-es/index.htm> Accessed 20 March 2021.

ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ¿Quiénes son los trabajadores domésticos? Ginebra, 2015. [https://www.ilo.org/global/topics/domestic-workers/WCMS\\_211145/lang-es/index.htm](https://www.ilo.org/global/topics/domestic-workers/WCMS_211145/lang-es/index.htm) Accessed 14 January 2021.

ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO.

Eradicar el trabajo infantil y proteger los jóvenes trabajadores contra las condiciones de trabajo abusivas. Ginebra, 2013, A. [https://www.ilo.org/legacy/spanish/buenos-aires/trabajo-infantil/resource/bibliografia/hogar/14\\_erradicar\\_ti\\_domestico.pdf](https://www.ilo.org/legacy/spanish/buenos-aires/trabajo-infantil/resource/bibliografia/hogar/14_erradicar_ti_domestico.pdf) Accessed 19 April 2021.

#### NORMATIVIDAD NACIONAL

MÉXICO: Ley del Seguro Social, 2015.

MÉXICO: Ley del Seguro Social, 2019.

MÉXICO: Ley Federal del Trabajo, 2015.

MÉXICO: Ley Federal del Trabajo, 2019.

TESIS AISLADA: 2ª. XXX/2019, Gaceta del Semanario Judicial de la Federación. Décima Época, t. II, mayo 2019, p. 1544.

TESIS AISLADA: 2ª. XXXI/2019, Gaceta del Semanario Judicial de la Federación. Décima Época, t. II, mayo 2019, p. 1543.

Convenio sobre las Trabajadoras y los Trabajadores Domésticos [2020], Serie de Tratados de la Organización Internacional del Trabajo. Inicio de vigencia para México julio 2021.

ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO.

Recomendación sobre las trabajadoras y los trabajadores domésticos. núm. 201, Ginebra 2020, C. Serie de tratados de la Organización Internacional del Trabajo.



## EL INSTITUTO DE NEUROBIOLOGÍA EN QUERÉTARO: UNA EXPERIENCIA SINGULAR.

## THE NEUROBIOLOGY INSTITUTE IN QUERETARO: A SINGULAR EXPERIENCE.

Salas Manuel <sup>1\*</sup>, Torrero-Solorio Carmen<sup>1</sup>, Regalado-Ortega Mirelta <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Neurobiología del Desarrollo y Neurofisiología, Instituto de Neurobiología, UNAM, Campus Juriquilla, 76230, Querétaro, México.

\* Autor de correspondencia, correo: [masal@unam.mx](mailto:masal@unam.mx)

### Resumen

La simiente del Instituto de Neurobiología de la UNAM se remonta a los años treinta del siglo XX, cuando un grupo de científicos mexicanos aspiró a generar espacios de trabajo. La información documentada sobre la fundación de esta dependencia mostró concurrencia con la emigración de pocos neurobiólogos españoles, y el interés del gobierno cardenista para fortalecer a la UNAM, creando en 1941 el Laboratorio de Estudios Médicos y Biológicos; formar departamentos de trabajo y editar una revista científica. En 1954, se transforma en Instituto de Estudios Médicos y Biológicos. Parte del personal del Departamento de Fisiología, propuso la creación del Centro de Neurobiología en Querétaro [1993]. Por sus logros científicos y programas de postgrado se convirtió en Instituto de Neurobiología en 2002. Se recapitulan los esfuerzos realizados durante las etapas de transformación académica del grupo fundador en una atmósfera basada en el trabajo creativo.

Palabras clave: *Fisiología en México, Fundadores, Exilio español, UNAM*

### Abstract

*The Neurobiology Institute has its origins in the thirties when a team of Mexican scientists sought to create a suitable space for their work. According to our documentary analysis, the origins and development of this Institute concurred with the emigration of a few Spain neurobiologist and the interest of the Cardenas president to promote the UNAM. Thus, in 1940 was created the Medical and Biological Studies Laboratory, organized into research departments, and a journal for publication. In 1954 changed to Institute for Medical and Biological Studies. This institution switched to Biomedical Research Institute in 1967. A group of researchers from the Physiology Department proposed the creation of the Neurobiology Center in Queretaro in 1993. After productive research activities, post graduate programs, and new scientists, the Neurobiology Center became, in 2002, the Neurobiology Institute. This work reviews the academic efforts and accomplishments within a creative intellectual atmosphere.*

*Keywords: Mexican physiology, Prime foundations, Spanish exile, UNAM.*

## 1. Introducción

El Laboratorio de Estudios Médicos y Biológicos (LEMB) en México, es el embrión del actual Instituto de Neurobiología (INB) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). El presente trabajo tiene como objetivos recapitular el desarrollo de esta dependencia revisando sus raíces, grupos participantes, problemáticas enfrentadas, propuestas y logros académicos alcanzados que incidieron en la educación superior en México. La concepción y transformaciones se dieron durante un periodo muy complicado de grandes conflictos políticos, bélicos, económicos, sociales y culturales en varias partes del mundo incluyendo a México. En efecto, su origen fue concurrente con la confrontación bélica de la Alemania nazi y sus perniciosos tentáculos en Italia y España, contra la armada de los países Aliados, la caída de la Segunda República Española durante su Guerra Civil (1935-1939) a manos de la dictadura franquista y la expropiación petrolera en México. Los protagonistas particulares durante esta etapa en la que se funda el LEMB, fueron la Junta de Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas (JAE) dirigida por Santiago Ramón y Cajal en enero de 1907 hasta su muerte en 1934, y su desaparición oficial en 1937. Hasta antes de 1937 la JAE había tenido grandes logros tanto en el aspecto organizativo, como con las actividades académicas y de formación de recursos humanos para la investigación científica en diversas áreas del conocimiento. Varios investigadores españoles de distintas disciplinas científicas bajo el auspicio de la JAE en Madrid y su filial en Valencia, fueron becados para continuar sus estudios de posgrado en laboratorios avanzados en la investigación científica europea, como fue el caso del Dr. Dionisio Nieto que continuó su carrera en México [Escobar, 2008]. El interés fundamental de las actividades de la JAE fue reincorporar a ese personal a la naciente ciencia española que transcurría por su llamada “*edad de plata*”, considerando el auge científico y tecnológico que se vislumbraba en el futuro cercano [Hoenigsfeld, 2008]. En efecto en 1935 cuando estalló la guerra civil, el nivel de la ciencia en España gracias al apoyo de la JAE, había alcanzado un nivel promisorio que auguraba llegar a ocupar un sitio visible en la ciencia entre los países europeos más avanzados.

Asimismo, en cuanto a infraestructura para la ciencia se construyeron varias instalaciones académicas como la Residencia de Estudiantes y Profesores en Madrid, para apoyar al personal académico que viajaba a esa ciudad para realizar diversas actividades profesionales. Esta Residencia de Estudiantes fue famosa por albergar a profesores, investigadores-científicos, pintores, músicos, poetas, escritores e historiadores destacados [Hoenigsfeld, 2008]. Asimismo, durante las actividades de la JAE se construyeron varios centros, laboratorios e instituciones de servicio para promover el desarrollo de la ciencia. Tal fue el caso del laboratorio de Histología Normal y Patológica a cargo de D. Pio del Río-Hortega, el de Fisiología y Anatomía de los Centros Nerviosos dirigido por Gonzalo Rodríguez Lafora, y el de Fisiología encargado a Juan Negrín [Díaz, 2009].

En 1938 a cuatro años de la muerte de Cajal, se creó por acuerdo del gobierno franquista el “Instituto de España” para dirigir la alta cultura y la investigación superior, quedando disuelta la JAE. Asimismo, se decretó que se traspasaban al recién formado Instituto de España, todos los bienes y servicios que desempeñaba la JAE. Finalmente, a partir del 24 de noviembre de 1939 y con el propósito de aprovechar los servicios e infraestructura de la desaparecida JAE, se creó el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) aún vigente hasta nuestros días. En abril de 1939 el nuevo estado franquista emprendió la reorganización de la vida científica, cultural y universitaria de España, y comenzó la dolorosa expropiación de los bienes materiales de los simpatizantes de la república, la depuración de los integrantes de la JAE y de las cátedras de los profesores e investigadores empáticos con la filosofía de la segunda República Española, de sus bienes, e incluso condenados a muerte o a prisión por el nuevo gobierno. Este era el triste y complicado panorama del conflicto fratricida en la España de los intelectuales españoles, que para sobrevivir optaron algunos por el exilio interior, que implicaba quedarse en sus lugares de origen y sufrir o adaptarse al brutal exterminio, o en la mayoría de los casos, el exilio exterior que incluía a los que decidieron migrar y establecerse en países europeos y latinoamericanos como México [Camarero, 1978].

Los primeros emigrantes científicos a México contaron con el apoyo de la Fundación Rockefeller para el equipamiento, y la creación de un laboratorio de investigación y de la generosa fundación por el presidente mexicano Lázaro Cárdenas, primero de la “Casa de España” (1938), y después de casi 2 años del funcionamiento de ésta, de la creación del hoy “Colegio de México” (1940), que fortalecieron el proceso del exilio de españoles en México. Durante los días convulsos de la emigración de intelectuales, en México ya existía desde 1938 la Casa de España, creada por el presidente Lázaro Cárdenas y presidida por el escritor D. Alfonso Reyes y como secretario D. Daniel Cosío Villegas. Tiene interés recordar que siendo Cosío Villegas diplomático de México en Portugal en 1936, conocía al detalle el desmoronamiento en muchos aspectos de la vecina segunda República Española, y de las frecuentes peticiones de apoyo extraoficial a México por algunos intelectuales españoles en conflicto. En un intento de ayudar a resolver los problemas urgentes de los intelectuales emigrantes y sus familias, Cosío Villegas contactó en México al Lic. Luis Montes de Oca director del Banco de México para que, de primera mano, informara del conflicto social en España y consultara con el presidente Lázaro Cárdenas, la posibilidad de una propuesta de exilio para un grupo selecto de intelectuales, que les permitiera sobrevivir y continuar con su trabajo en México. El presidente Cárdenas con un gran espíritu humanitario aprobó con prontitud la propuesta, y comisionó a Cosío Villegas, Salvador Zubirán, Ignacio Chávez y Narciso Bassols para desde Francia, España y México hacer los arreglos migratorios necesarios, la logística de los viajes y la selección de los intelectuales españoles idóneos para ser exiliados. En esta delicada selección de intelectuales colaboró el Instituto de Cooperación Intelectual de París y la Junta de Cultura Española Republicana, quienes ayudaban a los intelectuales en problemas por el conflicto social interno. El 20 de agosto de 1938 se formalizó la creación y actividades de la Casa de España por un plazo mínimo de un año, para ayuda extraordinaria de los primeros grupos de migrantes humanistas y científicos españoles que fueron los primeros intelectuales exiliados que llegaron a México en 1938.

## 2. Fundación del LEMB (migración española)

Entre los primeros científicos que llegaron a México y que fueron la simiente para la fundación indirecta del LEMB vía del Colegio de México (1939), fueron Jaime Pi i Suñer (discípulo de Augusto Pi i Sunyer y del profesor Fulton en USA), Issac Costero (discípulo de Pio del Río-Hortega), Gonzalo R. Lafora (discípulo directo de Cajal), Dionisio Nieto y Sixto Obrador (discípulos de Pio del Río-Hortega) [Otero, 2001]. Estos científicos siguieron el modelo multidisciplinario diseñado por Cajal, creando secciones de Histología, Fisiología e investigación clínica para continuar los proyectos de generación del conocimiento básico aplicable a la clínica [Castañeda, 2008; Díaz, 2009]. En el éxodo de científicos españoles, hubo destacados médicos que se ubicaron en diferentes hospitales públicos y privados, unidades y laboratorios de investigación cuyo desempeño, fue importante para fortalecer la formación de recursos humanos en Biomedicina [Dosil, 2013]. La casa de España cumplió con su cometido de albergar a los primeros refugiados españoles en el exilio, pero ante el panorama urgente de la llegada de un número mayor de refugiados y del término del gobierno del presidente Cárdenas (noviembre de 1940), se propuso la fundación del Colegio de México (1937), como principal institución pública universitaria dedicada a la investigación y la enseñanza superior en México, presidida por el destacado escritor mexicano D. Alfonso Reyes.

Para hacer más eficiente la incorporación de los migrantes españoles, el gobierno mexicano involucró a la UNAM, a través de sus rectores Gustavo Baz Prada y Mario de la Cueva, y del director de la Escuela de Medicina, Dr. José Aguilar Álvarez para la fundación del LEMB. El espacio para ese fin se ubicó a un costado del templo de Santo Domingo en la Ciudad de México (1940), en el primer piso de la Escuela de Medicina vacante por la reubicación de la Escuela de Odontología, en lo que fuera el Palacio de la Santa Inquisición.

El edificio de la Inquisición dirigido por los padres dominicos fue desocupado en 1820, y en 1842 pasó a ser el recinto oficial de la Escuela Nacional de Medicina de la Universidad hasta 1951, cuando inició la construcción de la actual Facultad de Medicina (1954-1956) e inició el proceso de cambio y sus actividades académicas, junto

con otras Facultades en sus instalaciones de la Ciudad de México. Para la dirección del LEMB la Junta de Gobierno de la UNAM designó en 1940 al Dr. Ignacio González, prestigiado hematólogo mexicano con amplia experiencia en investigación y docencia en la Escuela de Medicina. A fines de 1940 se terminó la adaptación del espacio asignado para el funcionamiento del LEMB con un costo de \$7,000.00 pesos MN. (2 cuartos y una oficina), e inició la compra (\$250,000.00 dólares) de equipo de laboratorio auspiciado por la Fundación Rockefeller, mobiliario y el pago parcial a los investigadores, siendo el mantenimiento y pago del resto de investigadores por cuenta de la UNAM. El presupuesto universitario disponible era reducido y no alcanzaba para el pago de la nómina completa de los investigadores, por lo que el presidente Cárdenas solicitó a D. Alfonso Reyes, que cubriera por un tiempo breve la otra parte de la nómina y el mantenimiento del LEMB que ascendía a \$300,00 mensuales según el relato del Dr. Dionisio Nieto que estuvo a su cargo.

### 3. Los primeros exiliados en la UNAM y el IPN

En enero de 1941 se iniciaron las actividades del LEMB sin ceremonias académicas y oficiales especiales, pero sí con grandes expectativas para continuar y realizar la investigación programada. Los miembros españoles fundadores del LEMB fueron Issac Costero, Gonzalo Rodríguez, Dionisio Nieto, y Jaime Pi Suñer bajo la dirección del destacado hematólogo mexicano D. Ignacio González [Camarero, 1978; Díaz, 2009].

Cuando se fundó el LEMB ya existían en México el Instituto de Biología de la UNAM (1929), la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB) del Instituto Politécnico (1936) y el Instituto de Salubridad y Enfermedades Tropicales (ISET) (1939), fundados los 2 últimos durante el gobierno Cardenista (1934-1940), con científicos mexicanos dedicados a la investigación biomédica y un grupo grande de médicos con experiencia docente y clínica hospitalaria. Debe destacarse que la ENCB fue creada en 1936 como parte del plan sexenal (1934-1940) del presidente Cárdenas, y junto con la UNAM fueron las instituciones que recibieron a los primeros científicos españoles como profesores e investigadores. En cuanto a personal de investigación México ya contaba con médicos y científicos de gran prestigio en formación

o con experiencia en el extranjero y en plena actividad profesional, que incluían entre otros a Daniel Vergara (1865-1935) fisiólogo, Fernando Ocaranza (1876-1965) fisiólogo, Isaac Ochoterena (1885-1950), biólogo, Eliseo Ramírez (1888-1942) neurólogo, José Joaquín Izquierdo (1893-1974) fisiólogo, Ignacio Chávez (1897-1979) cardiólogo, Ignacio González (1898-1972) hematólogo, Salvador Subirán (1898-1998) nutriólogo, Arturo Rosenblueth (1900-1989) fisiólogo, Alberto Guevara (1907-1989) fisiólogo, Efrén C. Del Pozo (1907-1979) fisiólogo, Guillermo Anguiano (1915-1980) fisiólogo, y Carlos Alcocer (1918-2013) fisiólogo [Rodríguez de Romo, 1997].

En el LEMB iniciaron sus actividades académicas como director e investigador el Dr. Ignacio González en proyectos de citología y hematología, Clemente Villaseñor y José Vargas en histología y patología. Alfonso Vélez en hematología y Jorge González en proyectos de biología celular. Con Issac Costero en anatomía patológica se incorporaron como estudiantes Gabriel Álvarez, Ruy Pérez Tamayo, Rosario Barroso y Franz Lichtenberg. En Fisiología Jaime Pi Sunyer discípulo de Fulton (participó solo 2 años), y Rosendo Carrasco (menos de 2 años). Issac Costero en 1943 dejó el LEMB y se incorporó al recién fundado Instituto Nacional de Cardiología como jefe del departamento de histopatología (1944). Sixto Obrador permaneció 5 años con repetidas estancias en Estados Unidos de América (USA) y mínima actividad en el LEMB, regresando a España en 1946. Jaime Pi i Sunyer permaneció en México de 1941 a 1942 antes de migrar a New York en 1943. Gonzalo Rodríguez llegó a México a mediados de 1938, revalidó sus estudios y títulos para ejercer la psiquiatría en la práctica privada, permaneciendo en México hasta 1947, con mínima interacción académica con el LEMB. Con Dionisio Nieto en psiquiatría biológica colaboraron Antonio Villasana, Alfonso Escobar, Agustín Caso y como estudiante Gastón Castellanos. El Dr. Nieto fue el único académico español que se arraigó al LEMB comprometiéndose con sus actividades, ya que los demás migrantes en poco tiempo tomaron rumbo a USA o regresaron a España. Sin embargo, es un hecho confirmado que la mayoría de los intelectuales españoles tuvieron gran influencia para fortalecer el desarrollo hospitalario y cultural en México y otros países (Argentina, Brasil, Cuba, Chile, Colombia, Panamá, Uruguay, USA y Rusia) [Camarero, 1978; Fernández, 1997].



#### 4. Inicios del Departamento de Fisiología (Del Pozo en la UNAM)

A su regreso a México de la Escuela de Medicina de la Universidad de Harvard y poco después de la creación del LEMB, se incorporó al grupo de Fisiología el Dr. Efrén Carlos Del Pozo, quien con una beca de la Guggenheim realizó una estancia postdoctoral exitosa (1940-1943) con el Profesor Walter B. Cannon, estudiando los efectos autonómicos sobre sus receptores periféricos, las respuestas eléctricas en la membrana nictitante del gato y su participación en el concepto de la “homeostasis” o equilibrio relativo del medio interno [Rosenblueth, 1942a,b]. Como en el caso de la JAE española, en México entre 1920-1940 las instituciones científicas, de salud y la cultura iniciaron acciones que repercutirían en la educación superior. Así, fundaciones privadas como la Rockefeller y la Guggenheim becaron a profesores y médicos en instituciones del extranjero, sobre todo a USA, entre ellos la Guggenheim becó a los fisiólogos Arturo Rosenblueth, (1930) y Del Pozo, (1940) y al físico Nabor Carrillo, (1940).

Del Pozo regresó a México en 1943, y por sus méritos en investigación fue designado jefe del laboratorio de Fisiología y Farmacología del ISET, donde se hacía investigación biomédica. En el Plan Sexenal, el ISET por primera vez incluyó la investigación científica en materia de enfermedades tropicales [González, 1949]. Al poco tiempo Del Pozo se incorporó al LEMB (1944), encargándose de la sección de Fisiología que en 1943 ya era Departamento, colaborando con Guillermo Anguiano y como estudiantes Raúl Hernández, Carlos Guzmán, Carlos Beyer, Augusto Fernández y Thalía Harmony. Su gran capacidad organizativa y diligencia dio gran impulso a la investigación universitaria abriendo nuevas líneas de trabajo con sus alumnos. En el periodo 1953-1961 Del Pozo fue designado por el rector Nabor Carrillo como secretario académico de la UNAM, con quien coincidió e hizo amistad en Harvard [Martínez y col., 2008]. En 1954 participó en el cambio de las dependencias universitarias esparcidas por la Ciudad de México, a la recién inaugurada Ciudad Universitaria (CU) por el presidente Miguel Alemán. Entre ellas se incluía al LEMB, que desde 1954 ya había sido designado como Instituto de Estudios Médicos y Biológicos (IEMB), con instalaciones nuevas y mejores condiciones de trabajo. La influencia de Del Pozo fue relevante para

toda la UNAM, ya que propuso la contratación de los primeros tiempos completos en docencia e investigación. El IEMB contrató a Guillermo Anguiano, Jorge González, Carlos Guzmán, Alfonso Escobar, José Negrete, Augusto Fernández y poco después a Manuel Alcaraz. Este grupo de científicos fueron los primeros investigadores de tiempo completo que tuvo la UNAM. También se integró la primera comisión dictaminadora del IEMB que incluyó a los profesores, Luis Gutiérrez, Gerardo Varela y Dionisio Nieto.

#### 5. Impactos relevantes de la obra de Del Pozo para la Fisiología

El Maestro Del Pozo como funcionario de la UNAM, impulsó el equipamiento de los laboratorios del IEMB, adquiriéndose el primer microscopio electrónico, equipo básico de biología celular, electrofisiología y neuroendocrinología para diferentes proyectos. Asimismo, creó una biblioteca con un acervo de 650 volúmenes que incluían libros, revistas científicas periódicas, reportes técnicos y obras de consulta especializadas en biología celular, neuroanatomía, neuropatología y neurofisiología, coordinada por la Dra. Judith Licea, quien la convirtió en la mejor biblioteca de su tipo en el campus de CU [Brito, y col., 2013]. Hacia 1954-1955 ya en las instalaciones de CU, se fortaleció significativamente el Departamento de Fisiología, que en el futuro sería una de las raíces fundamentales para generar el CNB y el INB en Querétaro. En 1957 Arturo Rosenblueth, Efrén Del Pozo y José J. Izquierdo, junto con 16 miembros académicos universitarios fundaron la Sociedad Mexicana de Ciencias Fisiológicas, que hasta nuestros días ha sido la plataforma más importante para la difusión de la ciencia experimental como una agrupación de gran prestigio y relevancia internacional [Castañeda, 2008]. Entre 1953 y 1956 se incorporó al LEMB un grupo de estudiantes avanzados en ciencias básicas que incluía entre otros a Carlos Beyer, Enrique Roldan y Thalia Harmony quienes destacarían como expertos en la neuroendocrinología de la conducta sexual, la neurofisiología del sueño y el neurodesarrollo en recién nacidos con riesgo perinatal respectivamente. Durante el periodo de 1957-1963 el área de Fisiología se fortaleció más con el ingreso de nuevos estudiantes y personal recién graduado del área Biomédica, que en

poco tiempo destacaron en el medio científico nacional e internacional como Flavio Mena, y Manuel Salas dedicados a la investigación de la neuroendocrinología de la lactancia, y de la influencia hormonal y nutricional sobre el cerebro en desarrollo. Asimismo, Del Pozo fortaleció la publicación de la revista del IEMB denominada Boletín de Estudios Médicos y Biológicos (BEMB), de la cual fue su editor por varios años, continuado por Alfonso Escobar para la publicación de los hallazgos obtenidos en él, y en instituciones biomédicas afines. En poco tiempo la revista tuvo bastante éxito, ya que publicó material básico internacional de excelentes autores sobre neuroanatomía, neuropatología, hematología, biofísica, del control sensorial, mecanismos del sueño, cognición, regulación de la respuesta maternal, o de diseños para el marcaje y cuantificación de la conducta de animales adultos y en desarrollo [Salas, 1987; Brito y col., 2013]. A lo largo de su vida el BEMB fue intimidado con su desaparición, ya que se dudaba del interés de la comunidad para publicar en él, los trabajos eran mayormente en español con poca visibilidad internacional, su alto costo de producción, desinterés de los directores del Instituto de Investigaciones Biomédicas (IIBM) por estimular su calidad y difusión, etc. La creación del CNB incluyó continuar con la edición del BEMB, pero debido a su alto costo editorial que consumía buena parte del presupuesto del naciente CNB, no fue posible continuar con su publicación [Brito y col., 2013]. Durante 1964 y 1965 siendo director del IEMB el Dr. Guillermo Soberón, se incorporaron nuevos estudiantes al grupo de Augusto Fernández que incluían entre otros a Miguel Condés, quien destacó con sus asociados en el estudio del dolor y sus mecanismos de modulación.

## 6. Origen y desarrollo del IIBM

En 1965 el Dr. Ignacio González dejó la dirección del IEMB después de 25 años de actividad, y el nombramiento de director recayó en el Dr. Guillermo Soberón con una visión novedosa sobre otras áreas de investigación. En 1976, se introdujo el área de Biotecnología con sus secciones de Biomedicina y Bioingeniería. Hacia 1981 la sección de Biomedicina originó el departamento de

Inmunología con temáticas que no se realizaban en el Instituto. En 1994, se formaron los departamentos de Biología del Desarrollo, Biofísica y Bio matemáticas. El primero originó los departamentos de Biología Celular y de Genética y Toxicología Ambiental; el segundo se integró como sección al Departamento de Fisiología. Considerando esta diversificación temática en las áreas de investigación en 1969 a propuesta del Dr. Soberón, se cambió el nombre al IEMB por el de IIBM, que se ajustaba mejor a los campos de interés del renovado Instituto. Por la trascendencia que tuvieron las nuevas áreas de trabajo fue necesario ampliar instalaciones, adquirir nuevos equipos, contratar más personal, remodelaciones y otros servicios, que mermaron el crecimiento de los proyectos del Departamento de Fisiología y la incorporación de estudiantes interesados en la neurofisiología. Asimismo, grupos de investigación consolidados del Departamento de Fisiología, al no encontrar suficiente apoyo para su trabajo, migraron hacia otras instituciones como Carlos Beyer (IMSS y CIRA-CINVESTAV), Augusto Fernández (IMP), Carlos Guzmán (IMSS) y Fernando Antón (UAM-I). Las nuevas áreas de investigación del IIBM al crecer en número y necesidades provocaron la gemación de nuevos centros como el Instituto de Fijación de Nitrógeno (1981) y el de Biotecnología (1982) en Cuernavaca. Para la expansión del IIBM hacia el área clínica, se fundaron unidades de investigación en hospitales del sector salud [Laclette, 2003].

Hacia 1988 la situación académica del Departamento de Fisiología era difícil, por la salida de grupos productivos y los aislados en un IIBM, que crecía en otras áreas que competían y limitaban su crecimiento, generando desaliento particularmente para los grupos en desarrollo. Hacia 1985-1989 ingresaron al Departamento de Fisiología Carlos Arámburo, Alejandro Bayón, Carlos Valverde y Angélica Salas, quienes fortalecieron el área de Neuroendocrinología, banco de hormonas y neurodesarrollo. Asimismo, los alumnos de Carlos Valverde fueron parcialmente la base para la creación del CNB desarrollando áreas emergentes para el estudio de las hormonas tiroideas y la investigación del cáncer a nivel experimental.

## 7. Creación y desarrollo del CNB

Con este panorama desalentador durante el Congreso Nacional de Ciencias Fisiológicas celebrado en la ciudad de Santiago de Querétaro (1988), surgió la idea de la separación del IIBM como un grupo independiente que generara mejores condiciones de trabajo y desarrollo para su personal. Posteriormente, con la anuencia de las autoridades locales, un grupo de fisiólogos incluyendo en ese entonces al jefe del departamento el Dr. Flavio Mena se elaboró un plan de desarrollo que tenía como objetivo, solicitar a las autoridades universitarias, la creación de un nuevo centro de investigación multidisciplinario con la mayoría de los miembros del Departamento de Fisiología, pero dedicado exclusivamente a la investigación de la función cerebral, que no se realizaba en ninguna dependencia de la UNAM ni institución en México. El proyecto de Centro llevó 5 años, en los que el grupo de fundadores propusieron áreas de investigación novedosas en Neurobiología y su justificación, ajustes a la legislación y administración universitarias, integración de los grupos por departamentos, interacciones nacional e internacional con otras comunidades, incorporación de investigadores con nuevas líneas de trabajo y formación académica en el extranjero, adecuación de un programa de postgrado para la formación de estudiantes en el área de la Neurobiología. Después de un camino académico-administrativo difícil por desencuentros frecuentes con diferentes autoridades, del énfasis reiterado por grupos cercanos de un fracaso seguro y requerimientos frecuentes de comisiones de trabajo académico; finalmente como grupo fundador encabezado por los Dres. Flavio Mena y Carlos Arámburo, se logró la creación del CNB, integrado con 12 miembros líderes considerados como “fundadores del proyecto” en septiembre de 1993 [Gaceta UNAM, No.3,053]. Aprobado el nuevo Centro surgió la pregunta de ¿ahora donde se construirían las instalaciones de ese Centro? Esto era difícil de precisar pues la UNAM, pasaba por una etapa de grandes carencias económicas, asociadas a devaluaciones en la economía nacional, enfrentamientos entre grupos políticos por el poder gubernamental y desempleo. Por otro lado, se consideraba que el Campus

de CU estaba casi saturado de sedes académicas, y las autoridades universitarias teniendo como rector al Dr. José Zarukhán no alentaban nuevas construcciones en él. Por esas razones, se pensó primero ubicar el Centro en algún estado del país o recinto universitario ya existente en la Ciudad de México, surgiendo ofertas de las autoridades de la UNAM en las instalaciones de las Escuelas Nacionales de Estudios Profesionales (ENEP) Zaragoza e Iztacala, o en el Campus de Ensenada Baja California, que no resultaron apropiadas para el desarrollo por razones físicas, sociales y académicas. En los meses previos a la creación del Centro, hubo una invitación generosa a varios miembros del grupo fundador por parte del Dr. Carlos Alcocer para generar un nuevo centro de educación superior en Fisiología, ya que mantenía buenas relaciones con el gobierno Queretano, y que a varios de los promotores les pareció adecuado. Así, agotadas las ofertas de la UNAM y recordando la invitación del Dr. Alcocer se establecieron contactos con él, ya que tenía sobrada experiencia en la creación de centros de investigación y relaciones personales académicas sólidas y familiares con el gobierno en turno. El gobernador de Querétaro Lic. Mariano Palacios casi de inmediato ofreció un terreno de 1,500 M2 lamentablemente poco adecuado por su ubicación y topografía, que propiciaba inundaciones recurrentes y ruido constante por la entrada y salida vehicular en la denominada Cuesta China. Afortunadamente, después de un proceso de varios meses fue posible que se construyera en conjunción con la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) el Campus UNAM/UAQ en Juriquilla, que hoy día es uno de los más relevantes en la región del Bajío (Figura 1). Aprobada la construcción del CNB una parte de sus instalaciones se entregaron en 1996 y otra en 1997 con 33 laboratorios y 9 unidades de apoyo técnico [Mena, 1996]. Para 1994 el CNB contaba con un total de 14 investigadores La productividad inicial del CNB gradualmente se incrementó y para el bienio 1995-1996 se publicaron 51 artículos en revistas internacionales y 21 nacionales y 7 capítulos de libro, siendo la productividad anual total por grupo de investigación de 2.05 para 1995 y de 1.79 para 1996 [ver referencias]. En 1996, se publicaron 14 tesis de Licenciatura, 10 de Maestría y 2 de Doctorado.



**Figura 1.** Vista exterior del acceso al Instituto de Neurobiología en el Campus UNAM

En el mismo bienio, se graduaron 17 maestros y 4 doctores en 1995 y 12 Maestros y 11 doctores en 1996 en el posgrado en Ciencias Fisiológicas [Tabla 1]. También, se presentaron 22 ponencias en congresos nacionales y 24 internacionales y se impartieron 43 conferencias y 37 cursos de Licenciatura y Maestría en 1996 [Arámburo, 1996]. Se solicitó la adecuación del programa de posgrado en Ciencias Fisiológicas, para transformarlo como programa de Maestría y Doctorado en Neurobiología, que se aprobó el 1 de abril, 2002 [Acuerdo Consejo UNAM, UNACC-CU/267/02].

**Tabla 1.** Productividad del CNB. 1995-1996

No. de publicaciones anuales			Productividad Total/gpo./año	
1995-1996			1995	1996
Int	Nac	C.L.	20.5	1.79
5	21	7		
Tesis publicadas			Alumnos graduados Ciencias Fisiológicas	
1996			1995	1996
L	14		17	4
M	10		12	11
D	2			

**Tabla 2.** Productividad del CNB. 2002

No. de publicaciones anuales			Productividad Total/gpo./año
Int	Nac	C.L.	2.2
56	7	11	
Tesis publicadas			Alumnos graduados
2002			
L	5		15
M	15		10
D	10		

Considerando su notable desarrollo, interacciones académicas con la comunidad nacional e internacional, la relevante graduación de maestros y doctores y la productividad de la comunidad del CNB dirigida por los doctores Flavio Mena y Carlos Arámburo, el Consejo Universitario de la UNAM en su sesión ordinaria del 1 de abril de 2002 tuvo a bien promover la dependencia de Centro a Instituto de Neurobiología bajo la dirección interina del Dr. Manuel Salas [Arámburo, 2002].

Para vincular el INB con Querétaro, se generó la Unidad de Neurodesarrollo para el diagnóstico y tratamiento de recién nacidos con riesgo de daño cerebral, apoyada con la Unidad de Resonancia Magnética [Arámburo, 2003; Mena, 2013]. Para 2002 el INB ya contaba con un total de 46 investigadores incluyendo a 1, extraordinario (Dr. R. Miledi) y a 1, emérito (Dr. F. Mena). La productividad académica del INB fue de 50 artículos internacionales, 6 nacionales y 10 capítulos en libros, siendo la producción anual total por investigador titular por año de 2.2. (ver referencias). Asimismo, las tesis concluidas fueron 5 de Licenciatura, 15 de Maestría y 10 de Doctorado; se graduaron 15 estudiantes de Maestría y 10 de Doctorado [Tabla 2]. Se participó en 68 congresos internacionales, 62 nacionales y se impartieron 36 conferencias y 42 cursos docentes [Arámburo, 2003]. En 2002 las actividades del INB se ampliaron a otros programas de vinculación con la comunidad que se incrementaron en años posteriores. Tal es del programa de Verano de la Ciencia para estudiantes recibidos de la

región centro, Verano de la Ciencia (A.M.C.), Jóvenes a la Investigación, Minority International Research Training Program (MIRT), los programas de Servicio Social, y de Prácticas Profesionales [Arámburo, 2004].

Con fundamento en estos antecedentes del INB se muestra que sus actividades académicas en Querétaro han sido tiempos de grandes retos, mezclados con genuinos deseos de progreso y turbulencias a vencer, ejercer presupuestos ceñidos y solicitar ingresos extraordinarios para el trabajo científico, enfrentar crisis gubernamentales, diseñar mecanismos vinculatorios con la administración central y la región del Bajío como lo hicieron los primeros directores de esta entidad académica, para la profesionalización comunitaria. Es de reconocerse la relevancia que tuvo en la etapa de emergencia del CNB y el INB el trabajo de los primeros fisiólogos mexicanos a finales del siglo XX, de los pocos neurobiólogos del exilio español que se asimilaron al LEMB, y de los fisiólogos enclavados en el nicho del IIBM de la UNAM que generaron una escuela de Neurofisiología, cuyos miembros fundadores como peregrinos científicos migraron hacia estas tierras queretanas. La creación de estos centros requirió además de la empatía de neurobiólogos exitosos aliados, de personajes de la vida pública académica-administrativa y del gobierno federal que potenció la educación superior en Querétaro.

## Conclusiones

En sus orígenes el primordio del INB surgió en los inicios del siglo XX por la concurrencia de científicos mexicanos seminales, y un pequeño grupo de neuro histólogos migrantes españoles arropados por el gobierno de Lázaro Cárdenas. Con el apoyo de la UNAM se funda en 1940 el LEMB dirigido por Ignacio González. La mayoría del grupo de exiliados no se arraigó a las condiciones del LEMB y se ubicó en otras dependencias, hospitales, países, o regresó a España para continuar su trabajo. Durante esta etapa, el Dr. Del Pozo tuvo una destacada participación creando indirectamente los tiempos completos en la UNAM, la Escuela de Neurofisiología que se inició en el IEMB, y que dio origen al INB. En 1954 el LEMB se ubica en la CU y cambia a IEMB, que en 1969 funda el

IIBM dirigido por Guillermo Soberón. La diversificación y crecimiento de las actividades del IIBM, propician la gemación de varios institutos de investigación dentro de una atmósfera intelectual inapropiada para el desarrollo de la Neurofisiología. En 1988 parte del personal del Departamento de Fisiología, propuso la creación del CNB en Querétaro (1993) y con fundamento en sus logros científicos, vinculación y programas de postgrado se convirtió en el INB (2002). El desarrollo de este último se sustentó en el trabajo creativo y visionario de sus fundadores, del apoyo de un número creciente de investigadores establecidos, y de jóvenes formados en el país y el extranjero que le dieron nuevos ímpetus al estudio del cerebro, hasta llevarlo a los niveles de las mejores instituciones de investigación mundiales. El crecimiento requirió del apoyo generoso de benefactores altruistas para fortalecer su equipamiento, y la generación de unidades de apoyo experimental, que hicieron tangible su presencia en Querétaro y en escenarios mundiales. En paralelo con la generación de conocimiento neurobiológico relevante, el INB tiene programas de postgrado para estudiantes mexicanos y extranjeros que concurren a sus aulas, unidades y laboratorios para obtener experiencia científica rigurosa y creativa.

## Resumen curricular

### *Dr. Manuel Salas Alvarado*

Médico egresado de la Facultad de Medicina y Doctor en Ciencias Biomédicas de la UNAM. Profesor Titular B del INB. Postdoctorado en UCLA, USA. Investigador Titular C, SNI III con estudios en Neurobiología del Desarrollo (Jubilado).

### *Lic. María Carmen A. Torrero Solorio*

Enfermera egresada del Instituto de Cardiología, UNAM. Técnico Académico Titular C (UNAM) con experiencia en Neurobiología del Desarrollo (Jubilada).

### *Ms. Mirelta Regalado Ortega*

Maestra en C. F, egresada del INB. Técnico Académico Titular B (UNAM) con experiencia en Neurobiología del Desarrollo en el INB.



## Agradecimiento

Los autores agradecen el apoyo editorial de Jessica, G-N.

## Referencias bibliográficas

- Arámburo, C. (1996). Informe Anual 1996. Centro de Neurobiología, Campus UNAM Juriquilla.
- Arámburo, C. (2002). Informe de actividades. Instituto de Neurobiología, Campus UNAM Juriquilla. 11-19.
- Arámburo, C. (2003). Informe de Labores. Instituto de Neurobiología, Campus UNAM Juriquilla. 85-166.
- Arámburo, C. (2004). Informe de Labores. Instituto de Neurobiología, Campus UNAM Juriquilla. 9-15.
- Brito, LO., Cariño, MA., Brito, BE. (2013). Biblioteca del Instituto de Investigaciones Biomédicas. "Dr. Dionisio Nieto Gómez". Biblioteca Universitaria. 16: 67-72.
- Camarero, EG. (1978). *La ciencia española en el exilio de 1939. Ciencia española: exilio científico 1939*. Separata de "El exilio español de 1939". Taurus Ediciones, Madrid. V: 189-243.
- Castañeda, GC. (2008). La Sociedad Mexicana de Ciencias Fisiológicas a cincuenta años de su creación. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*. 39: 29-38.
- Díaz, JL. (2009). El legado de Cajal en México. *Revista Neurobiología*. 48: 207-215.
- Dosil, FJ. (2013). La huella en la neurociencia mexicana del exilio español, un legado de Cajal en ultramar. *Neurosciences and History*. 1: 154-161.
- Escobar, A. (2008). Dionisio Nieto y la investigación científica. *Salud Mental*. 31: 331-334.
- Fernández, GA. (1997). *Las neurociencias en el exilio español en México*. Primera edición, Fondo de Cultura Económica. P. 41-101.
- González, RM. (1949). Instituto de Salubridad y Enfermedades Tropicales de México: Diez años de trabajo. Discurso del X Aniversario de la fundación del ISET. 702-712.
- Hoenigsfeld, CC. (2008). La Junta para la Ampliación de Estudios republicana frente populista, represaliada por el franquismo y olvidada por la transición y la democracia. *Historia Actual Online*. 16: 7-16.
- Laclette, JP. (2003). Informe del Instituto de Investigaciones Biomédicas. *Memoria*. 625-631.
- Martínez, JR., Cardiel, AO., Martínez, NJ. (2008). Centenario del nacimiento del Dr. Efrén C. Del Pozo, potosino emérito. *Cuadernos Potosinos de Cultura Científica*. 1: 59-74.
- Mena, F. (1996). Centro de Neurobiología. Informe anual. Campus UNAM Juriquilla. 9-18.
- Mena, F. (2013). Aportes y escuela de Flavio Mena Jara. Instituto de Neurobiología. Campus UNAM Juriquilla. *Gaceta del Instituto de Neurobiología*. 6-7.
- Otero, CLH. (2001). La destrucción de la ciencia en España, las consecuencias del triunfo militar de la España franquista. *Historia y Comunicación social*. No. 6: 149-156.
- Rodríguez de Romo, AC. (1997). Fisiología Mexicana en el siglo XIX: la investigación. *Asclepio*. XLIX: 133-145.
- Rosenblueth, A., Del Pozo, EC. (1942a). The electric responses of the tail pilomotor and nictitating membrane of the cat. *Journal of Physiology*. 137: 263-279.
- Rosenblueth, A., Del Pozo, EC. (1942b) The effects of veratrine upon the superior cervical ganglion. *American Journal of Physiology*. 136: 699-711.
- Salas, M. (1987). Sobre la credibilidad en nuestras revistas científicas nacionales. *Boletín de Estudios Médicos y Biológicos Méx.* 35: 53-62.

### *Algunas publicaciones generadas en el CNB/INB. Periodo 1996-2002.*

- Aceves, C., Pineda, O., Ramírez, C., Navarro, L., Valverde, RC. (1999). Mammary type 1 deiodinase is dependent on the suckling stimulus. Differential role of norepinephrine and prolactin. *Endocrinology*. 140: 2948-2950.
- Arellano, R., Martínez-Torres, A. (2002). Ionic currents activated via purinergic receptors in the cumulus cell-enclosed mouse oocyte. *Biology & Reproduction*. 67: 837-846.
- Cintra, L., Aguilar, A., Granados, L., Galvan, A., Kemper, T., Morgane, P., Díaz-Cintra, S. (1997). Effects of prenatal malnutrition on CA1 hippocampal pyramidal cells in rats of four age groups. *Hippocampus*. 7: 181-191.
- Castañon-Cervantes, O., Cintra, L. (2002). Circadian rhythms of occipital cortex temperature and motor activity in young and old rats under chronic protein

- malnutrition. *Nutritional Neuroscience*. 5: 279-286.
- Condés-Lara, M., Martínez-Cabrera, G., Martínez-Lorenzana, G., Larriva-Sahd, J. (2002). Electrophysiological evidence that a set of interfascicular cells of the rat anterior commissure are neurons. *Neuroscience Letters*. 323: 121-124.
- Corbacho, AM., Martínez de la Escalera, G., Clapp, C. (2002). Roles of prolactin and related of the prolactin/growth hormone-placental lactogen family in angiogenesis. *J Endocrinology*. 173: 219-238.
- De La Torre, ME, Dia, A., Ruiz, B., Farres, A., Aramburo, C., Sanchez, S. (1996). Physiology of lipase formation in *Penicillium candidum*. *Journal of Industrial Microbiology*. 17: 73-76.
- Díaz, N., Huerta, I., Marina, N., Navarro, N., Mena, F. (2002). Regional mechanisms within anterior pituitary of lactating rats may regulate prolactin secretion. *Endocrine*. 18: 41-46.
- Fenton, B., Orozco, A., Valverde (1997). Kinetic characterization of skin inner-ring deiodinative pathway and its correlation with circulating levels of reverse T3 (rT3) in developing rainbow trout. *Journal of Endocrinology*. 154: 547-554.
- Fernandez-Bouzas, A., Harmony, T., Fernández, T., Aubert, E., Ricardo-Garcell, J., Valdez, P., Bosch, J., Casian, G., Sanchez-Conde, R. (2002). Sources of abnormal EEG activity in spontaneous intracerebral hemorrhage. *Clinical Electroencephalography*. 33: 7076.
- García-Colunga, J., Miledi, R. (1996). Serotonergic modulation of muscle acetylcholine receptors of different subunit composition. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 93: 3990-3994.
- Giordano, Mejia-Viggiano, MC. (2002). Gender differences in spontaneous and MK-801-induced activity after striatal lesions. *Brain Research*. 56: 553
- Gutierrez-Ospina, G., Gutierrez-Barrera, A., Larriva, Shad, J., Giordano, M. (2002). Insuline-like growth factor I (IGF-I) partly prevents axon elimination in the neonate rat optic nerve. *Neuroscience Letters*. 325: 207-210.
- Larriva-Sahd, J., Condes-Lara, M., Martínez-Cabrera, G., Varela, A. Histological and ultrastructural characterization of interfascicular neurons in the rat anterior commissure. *Brain Research*. 931: 81-91.
- Mena, F., Aguayo, D., Viguera, M., Quintanar-Stephano, A., Perera, G., Morales, MT. (1996). Effect of posterior pituitary lobectomy upon *in vivo* and *in vitro* secretion of prolactin in lactating rats *Endocrine*. 5: 285-290.
- Miledi, R., Eusebi, F., Martínez-Torres, A., Palma, E., (2002). Expression of functional neurotransmitter receptors in *Xenopus* oocytes after injection of human brain membranes. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 99: 1633-1638.
- Orozco, A., Silva, E., (1997). Rainbow trout liver expresses two phenolic ring deiodinase pathways with the characteristics of mammalian types I and II 5' deiodinase *Endocrinology*. 138: 254-258.
- Park, JJ., Baum, MJ., Paredes, RG., Tobet, SA. (1996). Neurogenesis and cell migration into the sexually dimorphic preoptic area/anterior hypothalamus of the fetal ferret. *Journal of Neurobiology*. 30: 315-328.
- Perez-Torrero, E., Duran, P., Gutierrez-Ospina, G., Cintra, L., Diaz-Cintra, S. (1997). Long term effects of acute prenatal ethanol exposure on Bergmann glia cells postnatal development. *Brain Research*. 746: 305-308.
- Roosendaal, B., Quirarte, GL., McGaugh, JL. (2002). Glucocorticoids interact with the basolateral amygdala b-adrenoreceptor.cAMP/PKA system in influencing memory consolidation. *European Journal of Neuroscience*. 15: 553-560.
- Salas, M., Torrero, C., Regalado, M., Perez-Torrero, E. (2002). Retrieving of pups by neonatally stressed mothers. *Nutritional Neuroscience*. 6: 399-405.
- Trueta, C., Salgado, Z., Clapp, Martínez De La Escalera, G. (1996). The catecholaminergic stimulation of gonadotropin-releasing hormone by GT1-1 cells does not involve phosphoinositide hydrolysis. *Life Sciences*. 58: 1453-1459.



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO  
DIRECCIÓN DE POSGRADO**

