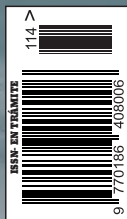


# Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería



Octubre - Diciembre 2019

ISSN- EN TRÁMITE

No 114

**Una revisión de la síntesis de nanopartículas de plata por reducción biológica**

**Número de Condición de una Matriz y Métodos de su Evaluación**

**Montañas, Volcanes y Ciudades Remotas**

Revista de las divisiones de CBI y CBS



Casa abierta al tiempo

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA**



# Contenido

**Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería**  
No. 114. Octubre - Diciembre 2019

---

<b>Editorial</b>	3	<i>Número de Condición de una Matriz y Métodos de su Evaluación</i>	31
<i>Una revisión de la síntesis de nanopartículas de plata por reducción biológica</i>	5	Yuri N. Skiba	
David Omar Oseguera-Galindo		<i>Montañas, Volcanes y Ciudades Remotas</i>	44
		Caupolicán Muñoz Gamboa	
<i>Las ciberamenazas en los dispositivos y redes del internet de las cosas médicas</i>	11	<i>Auxilio rápido para adultos mayores mediante una aplicación de telefonía celular</i>	57
Flores Montaña Luis Alberto		Elsa González Paredes	
Aline Militzin Rojas Perea		Miguel Ángel García Licona	
Álvarez Cedillo Jesús Antonio		<i>Bioética en Ing. Biomédica</i>	63
<i>Conflictividad ética en protocolos en salud, relacionados con tomas de muestras y su almacenamiento</i>	18	Alma Martínez	
Nelson Eduardo Alvarez Licona			

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

Lea los artículos publicados en  
<http://www2.izt.uam.mx/contactos/>



*Rector General*

Dr. Eduardo Abel Peñalosa Castro.

*Secretario General*

Dr. José Antonio de los Reyes Heredia.

UNIDAD IZTAPALAPA

*Rector*

Dr. Rodrigo Díaz Cruz.

*Secretario*

Dr. Andrés Francisco Estrada Alexanders,

*Director de la División de Ciencias Básicas*

*e Ingeniería*

Dr. Jesús Alberto Ochoa Tapia.

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

Dra. Sara Lucía Camargo Ricalde.

**Contactos, Revista de Educación**

**en Ciencias e Ingeniería:**

Consejo Editorial: Dr. Rodrigo Díaz Cruz,

Dr. Andrés Francisco Estrada Alexanders,

Dr. Jesús Alberto Ochoa Tapia,

Dra. Sara Lucía Camargo Ricalde.

UAM-Iztapalapa

Editor en jefe: M. C. Alma Edith Martínez Licona.

*Comité Editorial por CBS:*

Dra. Edith Arenas Ríos, Dra. Laura Josefina

Pérez Flores, Dr. Pedro Luis Valverde Padilla,

*Por CBI:*

Dr. Hugo Ávila Paredes,

Por la Universidad Iberoamericana Mtro. Adolfo

G. Fink-Pastrana.

**CONTACTOS, REVISTA DE EDUCACIÓN EN CIENCIAS E INGENIERÍA. 3ª Época, No. 114,** Octubre

- Diciembre 2019, es una publicación trimestral de la Universidad Autónoma Metropolitana a través de la Unidad Iztapalapa, División de Ciencias Básicas e Ingeniería y División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Prolongación Canal de Miramontes 3855, Col. Ex-Hacienda San Juan de Dios, Alcaldía Tlalpan, C.P. 14387, México, Ciudad de México y Av. San Rafael Atlixco No. 186, Edificio T174, Col. Vicentina, Alcaldía Iztapalapa, C.P. 09340, México, Ciudad de México, Tel. 5804-4634 Página electrónica de la revista: <http://www2.izt.uam.mx/contactos/> y dirección electrónica: [cts@xanum.uam.mx](mailto:cts@xanum.uam.mx). Editora Responsable MC Alma E. Martínez Licona. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo de Título No. 04-2013-042212044000-203, ISSN en trámite, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Mtra. Alma E. Martínez Licona; Unidad Iztapalapa, División de CBI y CBS; fecha de última modificación: 30 de Diciembre de 2019. Tamaño del archivo 83 MB.

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

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

Fecha de Publicación: Octubre-Diciembre de 2019.

Los artículos publicados en **Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería** son sometidos a arbitraje; para ello se requiere enviar el original del trabajo en algún procesador de texto a doble espacio, dos copias claras del mismo y un archivo del artículo. Toda correspondencia deberá enviarse a:

Comité Editorial de **Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería,**

UAM-Iztapalapa, T-174, Tel. 5804-4634

Av. San Rafael Atlixco No. 186, C.P. 09340, CDMX.

apartado postal 55-534

<http://www2.izt.uam.mx/contactos/> e-mail [cts@xanum.uam.mx](mailto:cts@xanum.uam.mx)

# Editorial

El internet de las cosas es un tema actual e interesante que trata de objetos conectados entre sí por medio de la red. Este concepto, aplicado a la salud, es de suma ayuda para el diagnóstico y monitoreo de pacientes, dentro y fuera de los hospitales sin embargo, como todo, es importante considerar la parte de la seguridad debido al manejo de información, quienes estén interesados en esta tecnología, encontrarán, en este número, un interesante artículo al respecto.

A los amantes de la naturaleza los invito a asomarse al artículo "Montañas, volcanes y ciudades remotas" donde se presentan algunos accidentes geográficos relevantes por su ubicación o altitud que se encuentran situados en lugares especiales de nuestro planeta.

Otra vez, tocando el tema de salud, la ética es de suma importancia y no se puede dejar a un lado, "Conflictividad ética en protocolos en salud, relacionados con tomas de muestras y su almacenamiento" es un artículo que recomiendo leer, no solo a profesionistas o estudiantes en áreas de salud, ya que todos somos sujetos a los que por una u otra razón nos podrían tomar una muestra, así que, es importante conocer lo que son las cartas de consentimiento y el trabajo de un Comité de Ética, conceptos que aborda este artículo.

Así como éstos artículos, encontrarán otros de igual interés, cerrando así el año, agradeciendo a nuestros queridos lectores por su preferencia y deseándoles un excelente fin de año.

Atentamente

MC Alma Martínez  
Editora en Jefe



## Información para autores

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

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

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

**Las secciones que la constituyen son;**

**1. Divulgación.** Artículos que presentan temas científicos con enfoques novedosos y accesibles (15 cuartillas).

**2. Educación Científica.** Enfoques originales en la enseñanza de temas particulares (15 cuartillas).

**3. Artículos Especializados.** Reportes breves de investigación, relacionados con una problemática concreta (15 cuartillas).

**4. Crónicas.** Historia y desarrollo de conceptos científicos, así como teorías alternativas (15 cuartillas).

**5. Divertimentos.** Juegos y acertijos intelectuales (5 cuartillas).

**6. Noticias breves.** Información de actualidad en el mundo de la ciencia (4 cuartillas).

**7. Los laureles de olivo.** Los absurdos de la vida cotidiana y académica (4 cuartillas).

En todos los casos se debe incluir los nombres completos de los autores con su adscripción, dirección, teléfono y dirección de correo electrónico.

### Normas

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

1. Resumen escrito en español e inglés.
2. 4 palabras clave en español e inglés.
3. Cuando se incluya una abreviatura debe explicarse por una sola vez en la forma siguiente: Organización de los Estados Americanos (OEA)...
4. Cuando se utilice un nombre técnico o una palabra característica de una disciplina científica deberá aclararse su significado de la manera más sencilla posible.
5. Las citas textuales deberán ir de acuerdo al siguiente ejemplo: En cuanto a la publicación del placebo se asevera que "el efecto placebo desapareció cuando los comportamientos se estudiaron en esta forma" (Núñez, 1982, p. 126).

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

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

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

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

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

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

### Envío y características del artículo

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

En el caso de ilustraciones por computadora (BMP, JPG, TIFF, etc.) envíelos en archivos por separado.

El material es recibido en:

Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería.  
UAM-Iztapalapa, T-174,  
información: cts@xanum.uam.mx, tel. 5804-4634.  
S.Rafael Atlixco 186, C.P. 09340,  
CDMX. A.P. 55-534.

### Arbitraje

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

Una vez aceptado el artículo para su publicación, los autores deberán depositar una cuota de recuperación de \$ 80.00 pesos por ejemplar a las siguientes cuentas: Banamex, suc. 329, cta 4324223. CLABE 0021 8003 2943 2422 35.

En la UAM dos formas de pago:

1. Transferencia a la clave presupuestal: 1212105-40
2. Por depósito en caja de la unidad a la siguiente clave: IEVE201400071

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

# **Una revisión de la síntesis de nanopartículas de plata por reducción biológica**

**David Omar Oseguera-Galindo**

**Departamento de Ciencias Naturales y Exactas, Centro Universitario de los Valles, Universidad de Guadalajara**

**Abstract**

It is important to work with silver particles at nanometric scale by attractive they are for antimicrobial applications, being this interesting in several disciplines. In this study is presents a review of scientific articles about a recent method, based on in the green synthesis to obtain silver nanoparticles where this method is eco-friendly and is low cost. Furthermore, a description of the fundament of this method is made and the process to prepared these kinds of nanoparticles.

**Keywords**

Reduction, biosynthesis, silver nanoparticles, biomolecules

**Resumen**

Es importante trabajar con partículas de plata en tamaños nanométricos porque resultan atractivas para aplicación antimicrobiana, siendo de gran interés en diversas áreas. En este estudio, se hace una revisión de publicaciones científicas sobre un método reciente que se basa en el concepto de síntesis verde para preparar las nanopartículas de plata, debido a que es un método amigable con el medio ambiente y de bajo costo. Así mismo, se hace una descripción del fundamento de este método y del proceso de preparación de las nanopartículas.

**Palabras claves**

Reducción, biosíntesis, nanopartículas de plata, biomoléculas

**Introducción**

Históricamente la plata es considerada un metal precioso, se ha empleado para joyería, moneda y en piezas diversas, teniendo así un valor comercial. En el sector salud la plata también es de gran interés, esto por su efecto desinfectante, curativo y por su propiedad anti microbiana. Desde la antigüedad, se usaban vasijas de plata para almacenar agua o vino, ya que se consideraba que se preservaban sus condiciones. En el siglo V, Hipócrates considerado como el padre de la medicina

moderna, utilizaba polvo de plata para el tratamiento de heridas y de úlceras. En los siglos XVII y XVIII se empleó la sal de nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ) para el tratamiento de úlceras y su actividad antimicrobiana se estableció en el siglo XIX (Monge, 2008, p. 33). Asimismo, con esta sal se ha encontrado que la plata aumenta la actividad de los antibióticos contra las bacterias gramnegativas, siendo las causantes de ciertas enfermedades (Morones, 2013, p.7).

Dada la importancia de la plata, se ha optado también por explorar su efecto si este material se prepara a tamaño nanométrico, ya que a esta escala la plata presenta propiedades ópticas y electrónicas interesantes. Tan es así, que, a partir de la década de los años 90, se han publicado artículos científicos sobre métodos tanto químicos como físicos para preparar nanopartículas de plata.

La definición de una nanopartícula es un material muy pequeño de un intervalo de tamaño comprendido entre 1 a 100 nm. El atributo más importante de una nanopartícula es su tamaño, donde 1 nm equivale a una mil millonésima parte de un metro ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ), es decir si se tiene una nanopartícula de 10 nm, están pequeña que podría decirse que es equivalente a alrededor de 100 átomos. Incluso, material con estas dimensiones no se puede observar en un microscopio óptico, para ello se usa un microscopio electrónico, el cual usa electrones en lugar de luz visible para aumentar la magnificación de la muestra a observar, permitiendo a si la observación de cuerpos a escala nanométrica.

Una de las características ópticas que presentan las nanopartículas de plata es la de presentar un pico de absorción de luz alrededor de 400 nm, es decir este pico aparece por la luz absorbida en un intervalo del ultravioleta y visible. En la figura 1, se presenta un espectro de absorción característico de una muestra con nanopartículas de plata suspendidas en agua, donde claramente se puede observar dicho pico



de absorción. Básicamente, las propiedades ópticas de las nanopartículas dependen del índice de refracción de la plata y del índice de refracción del solvente donde estén suspendidas, así como de su tamaño y de su geometría (Oseguera, 2018, p.1).

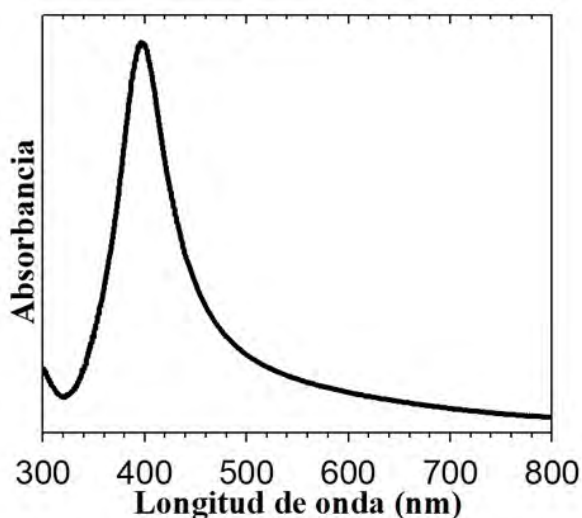


Figura 1. Espectro de absorción UV-Vis de nanopartículas de plata suspendidas en agua destilada (Oseguera, 2018, p.1).

En este trabajo se hace una revisión del método por reducción biológica en la síntesis de nanopartículas de plata, mencionando en que se fundamenta y su importancia para usarse como un método alternativo de síntesis. Para ello, a continuación, se da una breve descripción del método de síntesis por reducción química de la sal de nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ).

### Síntesis de reducción química

Para preparar nanopartículas de plata, el método comúnmente empleado es por reducción de la sal de  $\text{AgNO}_3$ . El cual consiste en usar esta sal como precursor de los iones de plata en dilución líquida con otros reactivos. Estos reactivos tienen la función de reducir los iones de plata ( $\text{Ag}^+$ ) a su estado neutro ( $\text{Ag}^0$ ), esto se logra gracias a la aportación de electrones de los reactivos que a su vez son adquiridos por los iones de plata para reducirse, es decir ocurre una reacción óxido-reducción. Esto, porque al inicio los iones de  $\text{Ag}^{+1}$  tienen un estado de oxidación

+1, indicando que el átomo de plata ha perdido un electrón y al aceptar otro se reduce, quedando la plata en estado ( $\text{Ag}^0$ ) o dicho de otra manera vuelve hacer átomo de plata, favoreciendo la formación de las nanopartículas de plata. Así mismo, el reactivo debe funcionar como un estabilizante, se refiere a que la carga eléctrica de la superficie de las nanopartículas sea del mismo signo, siendo la fuerza de interacción entre las nanopartículas repulsiva, ayudando a disminuir la aglomeración de las nanopartículas y por consiguiente son más estables en la suspensión con el solvente, siendo esto útil para alguna aplicación específica.

Aunque con el método de reducción química, satisfactoriamente se puede obtener nanopartículas de plata, su inconveniente es que los reactivos suelen ser tóxicos y esto puede afectar, sobre todo si se utilizan las nanopartículas para aplicación anti microbiana. Esto porque se ha reportado actividad de toxicidad con la cantidad de nanopartículas de plata en sistemas biológicos contrario a lo esperado (Vázquez, 2017, p.11). Por ejemplo, con este método, la reducción de la plata durante la síntesis requiere de compuestos como el borohidruro de sodio, hidracina, hipofosfito, entre otros más. Los cuales suelen ser muy costosos y no llegan a ser compatibles con el ambiente (Ledezma, 2014, p.134).

### Síntesis de reducción biológica

Con el propósito de emplear agentes no tóxicos en la preparación de las nanopartículas y continuar utilizando la sal de nitrato de plata en dilución, a partir del año 2000 se usó la síntesis verde como un método alternativo para obtener las nanopartículas de plata. Este método también conocido como de química verde o de bio reducción, se fundamenta en el método de reducción química, esto porque también se debe preparar soluciones molares de la sal de nitrato de plata, pero con la diferencia que en la dilución se utiliza extractos e infusiones naturales. Y en lugar de que la reducción de los iones de plata sea por medio de reactivos químicos se hace por

reducción de las moléculas biológicas. Es decir, este método ofrece la posibilidad de sintetizar nanopartículas usando organismos vivos, dentro de los cuales las plantas y los vegetales pueden ser una buena opción para preparar nanopartículas de plata. Por ejemplo, en la obtención de estas nanopartículas, se ha reportado en la literatura científica la síntesis por medio de diluciones de la sal de  $\text{AgNO}_3$  con extracto de aloe vera (Chandran, 2006). También, por mencionar más resultados, se han preparado las nanopartículas en extractos de chile piquín, ajo, flor de cempasúchil, hojas de olivo, rosa rugosa, cascara de plátano, hojas de té verde, hojas de durazno, manzana roja, cebolla, limón, mandarina, aceite de coco, cascara de naranja ...etc. En la tabla 1, se menciona la morfología, el tamaño y la referencia bibliográfica de los trabajos publicados que usaron estos extractos naturales en la síntesis. Asimismo, en la figura 2 se presentan dos micrografías de muestras de nanopartículas de plata, resultado de la sal de  $\text{AgNO}_3$  en dilución con extracto de cascara de mandarina y de aloe vera (Basavegowda, 2013, p.32, Chandran, 2006, p. 582). Se puede observar en las micrografías que las nanopartículas presentan formas cuasi esféricas.

Vegetal	Morfología	Tamaño (nm)	Referencia
Aloe vera	Esférica	15.2, promedio	(Chandran, 2006)
Chile piquín	Esféricas	45, promedio	(Li, 2007)
Ajo	Esféricas	7.3 , promedio	(Rastogi, 2011)
Hojas de oliva	Esféricas	20-25	(Khalil, 2014)
Flor de cempasúchil	Esféricas, hexagonal, formas irregulares	10-90	(Padalia, 2015)
Hoja rugosa	Esféricas	12, promedio	(Dubey, 2010)
Cascara de plátano	Esféricas	23.7,promedio	(Ibrahim, 2015)
Hojas de te verde	Cuasi esféricas	20-90	(Sun, 2014)
Hojas de cycas	Esféricas	2-6	(Jha, 2010)
Hojas de durazno	Esféricas	40-98	(Ghosal, 2017)
Manzana roja	Esféricas	30.25, promedio	(Ali, 2016)
Cebolla	Esféricas	33.6, promedio	(Saxena, 2010)
Limón	Esférica	25-50	(Prathna, 2011)
Mandarina	Esféricas	5-20	(Basavegowda, 2013)
Aceite de coco	Cuasi esféricas	10-70	(Govarthanan, 2016)
Cascara de naranja	Esféricas	7.36, promedio	(Kahrilas, 2013)

Tabla 1 nanopartículas obtenidas por reducción biológica

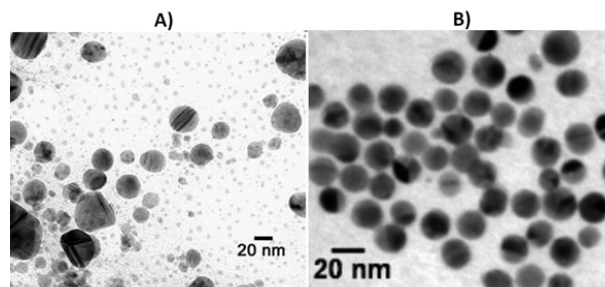


Figura 2. Micrografías de nanopartículas de plata obtenidas por síntesis verde usando A) extracto de cáscara de mandarina y B) de aloe vera (Basavegowda, 2013, p.32, Chandran, 2006, p. 582)

Respecto a los vegetales que aparecen en la tabla podemos decir que la mayoría de este fruto es de uso común a nivel mundial y por supuesto en México. Es una ventaja que la preparación de nanopartículas se pueda llevar a cabo con extractos naturales de estos vegetales, esto por su facilidad de adquisición y por ser de bajo costo. Así mismo, cabe mencionar que hay más trabajos científicos publicados de síntesis verde donde recurren a otro tipo de plantas, frutas y hojas. A todo esto, surge el interés por estudiar las condiciones naturales y moléculas biológicas de los vegetales que ocasionan variaciones en el tamaño de las nanopartículas, como se puede observar en la tabla 1, donde se reporta una dependencia del tamaño con el extracto natural utilizado. Siendo el tamaño de la nanopartícula una característica fundamental para alguna aplicación de interés.

En la figura 3, se presenta un esquema de la síntesis de nanopartículas de plata por reducción biológica, básicamente esto se explica en 4 etapas. En la etapa 1, se ilustra la sal de nitrato de plata  $\text{AgNO}_3$  con el vegetal de interés para realizar el experimento. En la etapa 2, es la solución acuosa de  $\text{AgNO}_3$  en dilución con el extracto natural, durante esta etapa moléculas de  $\text{AgNO}_3$  se disocian generando iones de plata  $\text{Ag}^+$ , mientras que las moléculas biológicas ceden iones de Hidrógeno  $\text{H}^+$  propiciando así una atmosfera rica en electrones  $e^-$ . La etapa 3, es precisamente donde comienza la reducción biológica, esto porque la plata  $\text{Ag}^+$  esta en estado

oxidado y se reduce al recibir un electrón. Es decir, la plata se reduce a estado neutro  $\text{Ag}^0$  esto por la reacción que se indica en el esquema  $\text{Ag}^+ + \text{e}^- = \text{Ag}^0$ , de allí el concepto de bio reducción. Posteriormente, en la etapa 4 al haber una gran cantidad de átomos de plata estos se enlazan para favorecer la formación de las nanopartículas que se quedan suspendidas en el solvente. Finalmente, después del experimento, la muestra se analiza con un espectrofotómetro, y si aparece un pico de absorción alrededor de 400 nm como el de la figura 1, se puede concluir que en la muestra hay nanopartículas de plata.

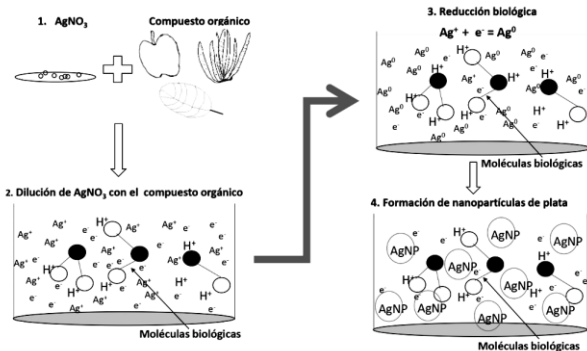


Figura 3. Esquema de la síntesis verde de nanopartículas de plata.

## Conclusión

Definitivamente seguirá aumentando más el interés por emplear el método de síntesis por reducción biológica para preparar nanopartículas de plata. Esto por que los ingredientes a utilizar son extractos naturales, esto lo hace un método amigable con el medio ambiente, también es debajo costo y para su preparación es poco el material requerido. Así mismo, la preparación de las nanopartículas por la vía de bio reducción podrían brindar mejor resultado para aplicación anti microbiana, lo cual podría resultar atractivo en el sector salud y agrícola.

## Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento al programa PRODEP (UDG-PTC-1463). También, profundamente agradezco a CuValles-UDG y al CONACYT por el apoyo que me brindan para

realizar investigación.

## Referencias

Ali Z A y cols ., 2016. Green synthesis of silver nanoparticles using apple extract and its antibacterial properties. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2016:1-6

Basavegowda N y cols ., 2013. Synthesis of silver nanoparticles using Satsuma mandarin (Citrus unshiu) peel extract: a novel approach towards waste utilization. *Materials letters*, 109:31-33.

Dubey S. P y cols ., 2010. Green synthesis and characterizations of silver and gold nanoparticles using leaf extract of Rosa rugosa. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 364:34-41.

Govarathanan M y cols ., 2016. Low-cost and eco-friendly synthesis of silver nanoparticles using coconut (Cocos nucifera) oil cake extract and its antibacterial activity. *Artificial cells, nanomedicine, and biotechnology*, 44:1878-1882.

Ibrahim H M (2015). Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using banana peel extract and their antimicrobial activity against representative microorganisms. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 8: 265-275.

Jha A K & Prasad K (2010). Green synthesis of silver nanoparticles using Cycas leaf. *International Journal of Green Nanotechnology: Physics and Chemistry*, 1: 110-117.

Kahrilas G A y cols ., 2013. Microwave-assisted green synthesis of silver nanoparticles using orange peel extract. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2: 367-376.

Khalil M y cols., 2014. Green synthesis of silver nanoparticles using olive leaf extract and its

- antibacterial activity. *Arabian Journal of Chemistry*, 7: 1131-1139.
- Kumar R y cols ., 2017. Rapid Green synthesis of silver nanoparticles (AgNPs) using (Prunus persica) plants extract: Exploring its antimicrobial and catalytic activities. *Journal of Nanomedicine and Nanotechnology*, 8:1-8
- Ledezma A y cols ., 2014. Síntesis biomimética de nanopartículas de plata utilizando extracto acuoso de nopal (Opuntia sp.) y su electrohilado polimérico. *Superficies y Vacío* 27:133-140
- Li Sy cols ., 2007. Green synthesis of silver nanoparticles using Capsicum annum L. extract. *Green Chemistry*, 9:852-858.
- Monge M (2014). Nanopartículas de plata: métodos de síntesis en disolución y propiedades bactericidas. In *Anales de Química* 105:33-41.
- Morones-Ramirez J R y cols., 2013. Silver enhances antibiotic activity against gram-negative bacteria. *Science translational medicine* 5: 190.
- Oseguera-Galindo, D O y cols., 2012. Effects of the confining solvent on the size distribution of silver NPs by laser ablation. *Journal of Nanoparticle Research*, 14:1-6.
- Padalia y cols ., 2015. Green synthesis of silver nanoparticles from marigold flower and its synergistic antimicrobial potential. *Arabian Journal of Chemistry*, 8:732-741.
- Prathna, T. C y cols ., 2011. Biomimetic synthesis of silver nanoparticles by Citrus limon (lemon) aqueous extract and theoretical prediction of particle size. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 82 :152-159.
- Rastogi L & Arunachalam, J (2011). Sunlight based irradiation strategy for rapid green synthesis of highly stable silver nanoparticles using aqueous garlic (Allium sativum) extract and their antibacterial potential. *Materials Chemistry and Physics*, 129: 558-563.
- Saxena A y cols 2010. Biological synthesis of silver nanoparticles by using onion (Allium cepa) extract and their antibacterial activity. *Dig J Nanomater Bios*, 5:427-432.
- Sun Q y cols ., 2014. Green synthesis of silver nanoparticles using tea leaf extract and evaluation of their stability and antibacterial activity. *Colloids and surfaces A: Physicochemical and Engineering aspects*, 444:226-231
- Vazquez-Muñoz, R y cols ., 2017. Toxicity of silver nanoparticles in biological systems: Does the complexity of biological systems matter?. *Toxicology letters* 276:11-20.

# **Las ciberamenazas en los dispositivos y redes del internet de las cosas médicas**

**Mtro. Flores Montaña Luis Alberto**  
**Ex Alumno de Maestría en Informática SEPI UPIICSA**

**Lic. Aline Militzin Rojas Perea**  
**Estudiante de Maestría en Doncencia ALIAT**

**Dr. Álvarez Cedillo Jesús Antonio**  
**Profesor de Maestría en Informática SEPI UPIICSA**

**Resumen**

En los años recientes, el Internet de las cosas ha tenido un crecimiento considerable, debido al número de dispositivos que están conectados a la internet actualmente, dichos dispositivos usan controladores basados en microprocesadores con aplicaciones, obteniendo utensilios “inteligentes”, que pueden ser desde tostadoras hasta transportes complejos como aviones, logrando notar su importancia en diversas áreas de la industria. Sin embargo, esta investigación se enfoca únicamente a un sector salud de la industria, ya que esta última ha sido la más lenta en adoptar las tecnologías del internet de las cosas, en comparación con otras industrias; esta tecnología utilizada en el sector salud lleva por nombre el Internet de las Cosas Médicas (en inglés “Internet of Medical Things” IoMT), la cual se encarga de vincular dispositivos “inteligentes” para el monitoreo de pacientes que deben de estar en constante observación. Esta última tecnología está preparada para transformar la forma en que mantiene a las personas seguras y saludables. Cabe mencionar que el Internet de las cosas médicas puede ayudar a monitorear, notificar e informar, no sólo a los médicos o las personas encargadas del cuidado del paciente, sino también a los proveedores de atenciones médicas, con datos reales para identificar los problemas antes de que se vuelvan críticos o para anticipar una intervención. Cabe mencionar, que esta industria no solo ha sido lenta para adoptar esta tecnología del Internet de las cosas, también ha mostrado deficiencia en la seguridad en la información obtenida mediante sus dispositivos, esto debido a que varias firmas dedicadas a la fabricación de estos dispositivos han dado pocas o ninguna medida de seguridad. Dicho lo anterior, esta investigación da a conocer algunos de los puntos de la importancia del Internet de las cosas médicas, así como las consecuencias debido a la falta de seguridad en este sector.

**Palabras clave**

Internet de las cosas médicas, Ciberseguridad, Riesgo, Farmacéutica.

**Summary**

In recent years, the Internet of Things has had considerable growth, due to the number of devices that are currently connected to the internet; these devices use microprocessor-based controllers with applications, obtaining “smart” utensils, which can be from toasters to complex transports such as airplanes, managing to notice its importance in various areas of the industry. However, this research focuses only on the health sector of the industry, since it has been the slowest in adopting the internet of things technologies, compared to other industries. This technology used in the health sector is called the Internet of Medical Things (IoMT), which is responsible for linking “smart” devices for monitoring patients who must be in constant observation. This technology is prepared to transform the way you keep people safe and healthy. It is worth mentioning that the Internet of Medical Things can help monitor, notify and inform, not only doctors or caregivers, but also medical care providers, with real data to identify problems before they become critical, or to anticipate an intervention. It is worth mentioning that this industry has not only been slow to adopt the technology of the Internet of Things, it has also shown a deficiency in the security of the information obtained through its devices, this because several firms dedicated to the manufacture of these devices have given few to no security measures. That said, this research reveals some of the points of the importance of the Internet of Medical Things, as well as the consequences due to the lack of security in this sector.

**Keywords**

Internet of medical of things, Cybersecurity, Risk, pharmacist

## I Introducción

Actualmente, el Internet de las cosas (en inglés Internet of Things-IoT) es omnipresente, teniendo un gran potencial en gran parte de los sectores de la sociedad; sin embargo, en este gran avance se presentan problemas de seguridad de la información obtenida desde los dispositivos que censan la actividad humana. Los dispositivos en esta tecnología son conocidos como el Internet de las Cosas Médicas (en inglés Internet of Medical Things-IoMT); es importante mencionar que estos dispositivos carecen de seguridad debido a que los proveedores de esta tecnología no implementan protocolos de seguridad en la obtención de información, añadiendo un uso inadecuado [4].

Es importante mencionar que hoy en día se cuentan con diversos dispositivos del internet de las cosas médicas, como es el caso de refrigeradores que almacenan productos químicos, microscopios, bombas de infusión, camas y marcapasos “inteligentes” y hasta equipos farmacéuticos, todos estos conectados a la red de un hospital o centro de salud, bajo una arquitectura compleja de información [3]. De esta manera los datos que se comparten están conectados a la misma red, de modo que el equipo de tratamiento puede tener una visión compartida de los eventos; es importante mencionar que esta tecnología es muy reciente ya que hace 10 años era imposible realizar este tipo tareas [5].

Las funciones más importantes que se pueden encontrar en estos dispositivos, además de la asistencia sanitaria, es el de recopilar datos, monitorear sistemas y controlar el tejido que mantiene unidos al funcionamiento interno; por ejemplo, las farmacias de los hospitales requieren el mismo nivel de control que se utiliza en las refinerías, así como las instalaciones que generan algún tipo de energía e incluso los almacenes que llevan control de

ciertos productos, donde los sensores evalúan los procesos con precisión y ajustes en tiempo real acorde con las necesidades del sector [1].

Debido al costo y la necesidad de monitorear los sistemas en diversas empresas dedicadas a la salud, muchos de estos dispositivos se han agregado a redes corporativas primarias; sin embargo, se debe recalcar que estas redes no fueron diseñadas para considerar riesgos en la seguridad de la información, todo esto debido al mal diseño de la planificación de las redes [3].

Existen organizaciones dedicadas al tratamiento en materia salud, las cuales tienen la necesidad de proteger datos confidenciales de los ataques cibernéticos, especialmente porque hay vidas en juego; lamentablemente, las soluciones prácticas son difíciles de implementar a estos dispositivos [1]. Teniendo esta problemática, en esta investigación, se incluyen algunas medidas que se pueden aplicar a los dispositivos del internet de las cosas médicas.

## II Contenido del artículo

Empezando desde sensores pequeños hasta sistemas completos en hospitales, el internet de las cosas médicas ha ayudado a salvar muchas vidas y cambiar la modalidad de la práctica en la medicina [5]. Capturando de forma remota los datos médicos, facilita el suministro de medicamentos y habilita las aplicaciones de salud de manera digital, ofreciendo de esta manera funcionalidad y comodidad a los médicos y a su vez a los pacientes, considerando los siguientes aspectos:

- Crean productos farmacéuticos personalizados, para determinar pautas de atención basadas en los sistemas biológicos únicos de un paciente en particular, por lo que el internet de las cosas médicas ayuda a

que la atención médica en un paciente sea más personalizada.

- Garantizan el cumplimiento de las órdenes de los médicos; hay que tener en cuenta que el internet de las cosas médicas no pretende sustituir a los proveedores de atención médica, más bien esta tecnología ayuda a recolectar los datos de los dispositivos, con el propósito de tener un mejor diagnóstico y planes de tratamiento, reduciendo de esta manera las ineficiencias y el uso inadecuado de sistemas de atención médica.
- Soportan al monitoreo de la actividad y el comportamiento del paciente fuera de la clínica o consultorio, por lo que el proveedor obtendrá los datos reales para cumplir con las recomendaciones de terapia del paciente y lo que posteriormente sucede al abandonar el centro de salud.

Con el aumento del número de los dispositivos conectados, se debe de determinar cómo manejar la carga de datos de forma segura. Con el propósito de que los dispositivos del internet de las cosas médicas sean realmente elementos que transforman las organizaciones en las atenciones médicas, se debe de atender el cómo obtener los datos en los que se recopila la información [6]. El impulso de esta transformación está aumentando, por lo que se requiere que los administradores de un hospital o centro de salud, los proveedores y fabricantes deban trabajar coordinados para impulsar la metamorfosis cultural del cuidado de la salud.

Anteriormente se mencionó que el desarrollo medidas de seguridad puede ayudar a las compañías de la tecnología que producen productos del internet de las cosas médicas, con componentes y software relacionado a atenuar los riesgos [2]. A continuación, se mencionan algunas medidas de seguridad para que este tipo

de dispositivos y los riesgos que pueden producir estos:

### 1. Lesiones corporales.

Si existe un mal funcionamiento en algún dispositivo del internet de las cosas médicas, pueden ser responsables de las lesiones resultantes, o incluso la muerte, de un paciente. Por ejemplo, si un médico receta una pastilla con un chip para verificar y monitorear a un paciente con un problema de memoria, teniendo una falla podría evitar que el transistor envíe los datos de monitoreo al médico, provocando que el médico no reciba las alertas de que el paciente no esté tomando la medicación adecuada. En la figura 1 se muestra un paciente con lesiones corporales debido al mal funcionamiento de un dispositivo del internet de las cosas médicas.



Figura 1: Lesiones corporales por mal funcionamiento de un dispositivo del internet de las cosas médicas

### 2. Errores y omisiones de tecnología.

Un error común que se encuentra en esta tecnología es que los dispositivos pueden dejar de funcionar debido a un acto negligente en el diseño, ocasionando pérdidas económicas o interrupción del negocio a un posible comprador. Por ejemplo, si una aseguradora de salud ofrece un incentivo a los clientes para que usen un rastreador de actividad física, y este genera un error en el conteo de los pasos, mandando datos con un conteo más alto de lo normal al software, la compañía podría otorgar



más descuentos de los que debería otorgar a sus clientes, provocando así pérdidas financieras.



Figura 2: Errores y Omisiones en la IoMT

### 3. Los riesgos cibernéticos.

Los hackers o ciberdelincuentes pueden considerar a la información médica protegida como un objetivo atractivo para los ataques cibernéticos, infiltrándose en las bases de datos que generan los dispositivos. De tal manera que, si se llegarán a exponer estos datos, la empresa podría presentar grandes pérdidas financieras, además de demandas y daños a la reputación de empresa.

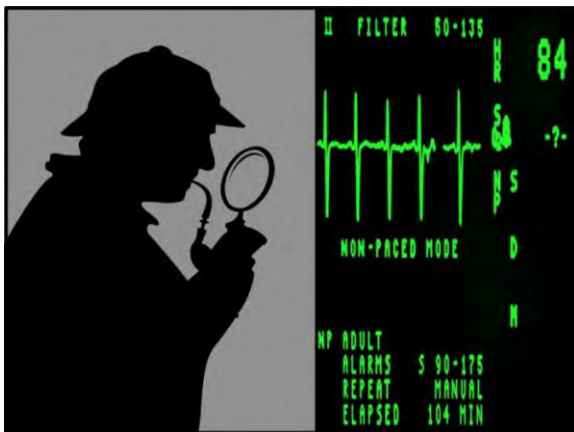


Figura 3: Ciberdelincuencia en las IoMT

Por ejemplo, una compañía que fabrica monitores cardíacos portátiles puede tener lecturas médicas cargadas en una nube, por lo que los ingenieros serían los responsables de la seguridad de esta, sin embargo, si no configuran

correctamente un parche de seguridad, podría crear una vulnerabilidad, dando paso a que los “hackers” obtengan el acceso a dicha información, y vendan los datos de salud confidenciales de un paciente con fines lucrativos y de daño a la salud de este.

Las vulnerabilidades que abordan las médicas plantean un daño potencial a los pacientes [1]. Scott Erven (director asociado de Protiviti) menciona lo siguiente acerca de las vulnerabilidades en dispositivos de atención médica:

“No tenemos evidencia de que la vulnerabilidad en los dispositivos, o un problema de ciberseguridad en un dispositivo médico, haya causado un problema directo de seguridad del paciente. Pero debido a que estos dispositivos carecen de capacidad de captura de evidencia y de registro forense, me gusta decir que tenemos poca seguridad de que algo no ha sucedido “.

Así como en los últimos años han surgido nuevas aplicaciones y dispositivos para el Internet de las cosas Médicas, también han estado surgiendo nuevos riesgos para este tipo de tecnología. Tomando en cuenta dichos riesgos, se ha vuelto notable que la comunidad médica ha ido aceptando cada vez más el uso de dispositivos de cosas del internet médicas; ya que las empresas del cuidado de la salud han optado cada vez más por el uso de esta tecnología; sin embargo, es importante mencionar que dichas empresas son responsables de la poca seguridad en la recopilación de datos, así como las pérdidas económicas y las lesiones corporales que estos puedan ocasionar [5].

Teniendo en cuenta lo anterior, las empresas de la salud deben considerar a empresas

tecnológicas que pueden ayudar a contrarrestar los riesgos mencionados anteriormente.

Algunas medidas que se pueden considerar para evitar percances en la seguridad en la información de estos son las siguientes:

- Analizar las coberturas de responsabilidades del producto, civiles y cibernéticas, así como los errores y las omisiones, y la cobertura, que ayudan a proteger contra la responsabilidad potencial.
- Construir una infraestructura de seguridad cibernética adecuada.
- Realizar una evaluación de vulnerabilidad en cada dispositivo conectado, con el propósito de que los riesgos estén administrados y documentados.
- Asignar un tipo de riesgo a un propietario para la responsabilidad de este y mitigar el riesgo.
- Revisar los riesgos trimestralmente, tomando en consideración cualquier cambio en el programa debe escalarse a la gerencia ejecutiva.
- Evaluar e implementar sistemas adecuados de gestión de calidad y riesgo.
- Evaluar las prácticas contractuales de la empresa.
- Realizar un inventario de todos los dispositivos y aplicaciones, para la creación de un "diccionario de datos"; es importante mencionar que tener un inventario de aplicaciones no resuelve el problema, sin adicionalmente tener un directorio de datos. Es decir, se necesita tener un directorio dónde residen todos los datos, de dónde se

origina, se usan, así como las capacidades de transmisión.

- Identificar todos los dispositivos IoT en la red, independientemente del tiempo que lleva el dispositivo funcionando.
- Cifrar y la realizar un arranque seguro en los dispositivos, con el propósito de que cuando se encienda un dispositivo, se verifique que ninguna de sus configuraciones se haya modificado.

### III. Conclusiones

En esta investigación se vieron diversas ventajas que se tienen hoy en día con el uso de los dispositivos del internet de las cosas enfocadas a la industria de la salud, tales como el uso de un diagnóstico adecuado no solo dentro de los centros de salud u hospitales, si no también fuera de ellos y monitorear al paciente de una manera adecuada y remota; sin embargo, como se llegó a notar, todos estos avances tecnológicos llevan un proceso en cuanto a la dedicación y responsabilidad en el control de estos dispositivos.

Para llevar a cabo todo esto se necesita llevar una minuciosa inspección acerca de estos, en especial en la parte de la seguridad, con la finalidad de no ser pirateados, o tener fugas de información para propósitos delictivos.

Con motivo de tales riesgos, se proporcionan diversos métodos para ayudar a incrementar la seguridad y evitar la fuga de datos. Este tipo de métodos no solo están enfocados a las empresas dedicadas a la creación de estos dispositivos, si no también en los usuarios que los utilizan, como sería el caso del personal en los hospitales o centros de salud.

### Referencia y Recursos Electrónicos

1. Clyde, H., "The Risks of IoT in Medicine and Healthcare", Recuperado de: <https://www.securitymagazine.com/articles/88>

811-exploring-the-wide-ranging-iot-risks-in-healthcare, 2018

2. Lee, K., “Healthcare IoT security issues: Risks and what to do about them” Recuperado de: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/feature/Healthcare-IoT-security-issues-Risks-and-what-to-do-about-the>, 2015

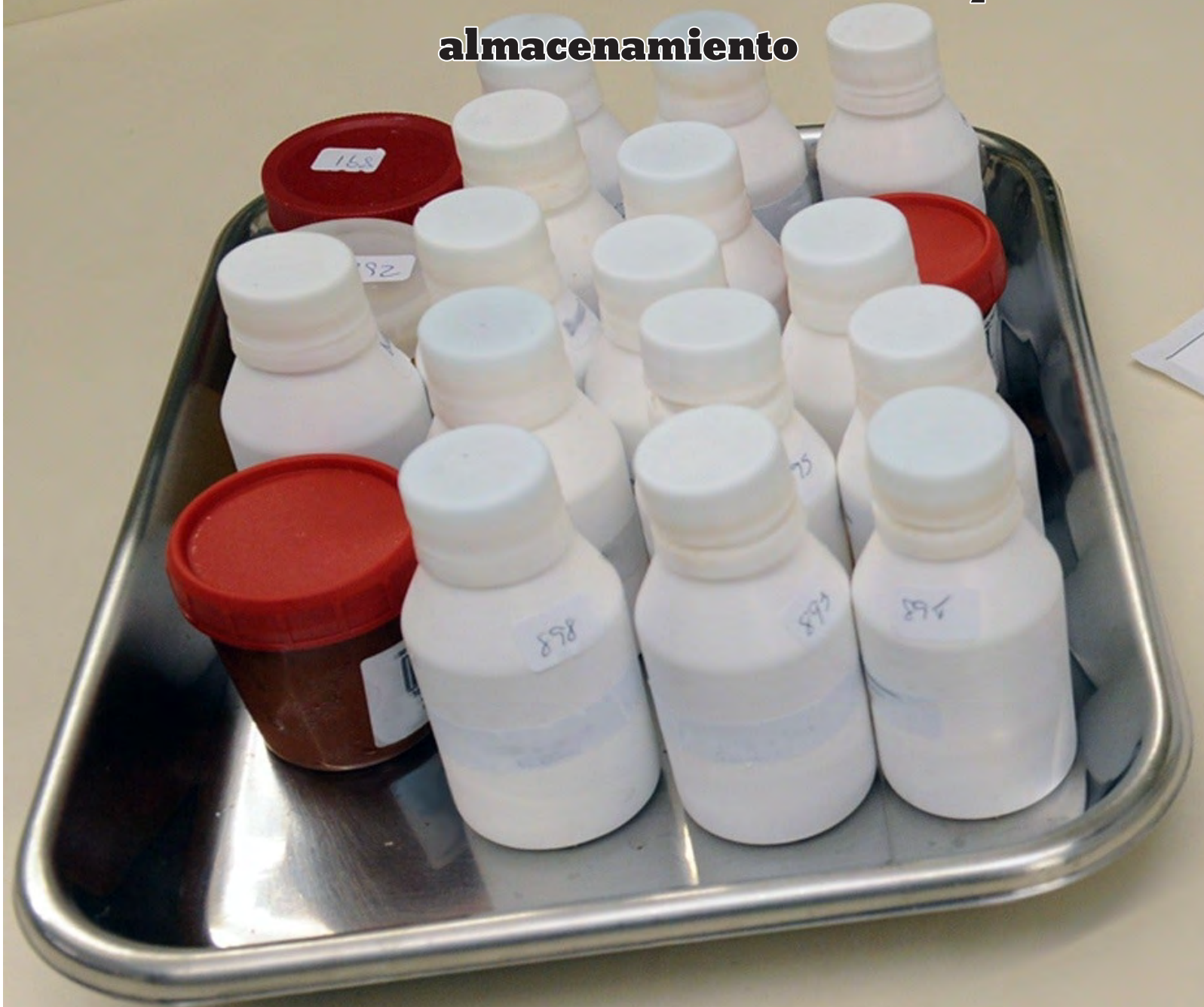
3. López, M., “Emerging Services as New Revenue Streams” Recuperado de: <https://www.channelfutures.com/industry-perspectives/emerging-services-new-revenue-streams>, 2017

4. Marr, B., “Why The Internet Of Medical Things (IoMT) Will Start To Transform Healthcare In 2018” Recuperado de: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/01/25/why-the-internet-of-medical-things-iomt-will-start-to-transform-healthcare-in-2018/#2a90e34e4a3c>, 2018

5. O’Connor, M., “A Wearable That Listens for Troubling Coughs,” Recuperado de: <http://www.iotjournal.com/articles/view?14687>, 2016

6. Yu, L.; Lu, Y.; Zhu X; Tecnologías civiles disruptivas, Seis Tecnologías con Potencial de Impacto en los intereses de Estados Unidos hasta el 2025; Consejo Nacional de Inteligencia-NIC, Washington D.C, Estados Unidos, 2008.

**Conflictividad ética en protocolos en salud,  
relacionados con tomas de muestras y su  
almacenamiento**



**D en C Nelson Eduardo Alvarez Licona  
Escuela Superior de Medicina del I. P. N., México.**

**Resumen:**

El documento trata sobre la pertenencia del cuerpo, entendido como cuerpo pensante, como el espacio donde se construye el yo, como posesión que es nosotros mismos, donde se realiza la percepción y el conocimiento, en el que se construye la conciencia del ser y la creatividad simbólica que es lo que caracteriza al ser humano. Reflexionar respecto al cuerpo humano y sus partes en este trabajo se aborda desde perspectivas ética y jurídica, en el marco de la autonomía entendida como un derecho para consentir o no las condiciones en las que se da la separación de las partes del cuerpo y la posibilidad de que éstas sean utilizadas en investigación. A partir de que las partes de cuerpo separadas de él, son cosa, estas tiene propietario que son los disponentes originarios, desprendiéndose de ahí en orden jerárquico, los disponentes secundarios, de manera que se requiere del consentimiento para tener acceso a estos. Algunos de los problemas éticos que presentan protocolos de investigación en salud que se evalúan en los Comités de Ética en Investigación están relacionados con el acceso a los tejidos y su almacenamiento y tiene que ver con: el tipo de tomas de muestras que se pueden autorizar para su estudio, el que no sea posible contactar con el consentimiento informado y el uso patrimonial que algunos investigadores hacen con los tejidos.

**Palabras clave:** Cuerpo. Autonomía. Conflictos Éticos. Acceso a los Tejidos. Almacenamiento de Tejidos.

**Summary:** The document deals with the belonging of the body, understood as a thinking body, as the space where the self is built, as a possession that is ourselves, where perception and knowledge are realized, in which the consciousness of being is constructed and the symbolic creativity that is what characterizes the human being. Reflecting on the human body and its parts, in this work it is approached from ethical and legal perspectives, within the framework of autonomy understood as a right to

consent or not the conditions in which the separation of the parts of the body and the possibility that you are being used in research. From the fact that the separate body parts are thing, they have owner who are the original disposers, detaching from there, in hierarchical order, the secondary disposers, so that it is required to consent to have access to them. Some of the ethical problems presented by health research protocols that are evaluated in the Research Ethics Committees are related to access to tissues and their storage and have to do with: the type of sampling can be authorized for their study, the one that is not possible to contact with the informed consent and the patrimonial use that some investigators do with the tissues.

**Keywords:**

Body. Autonomy. Ethical conflicts. Access to the Fabrics. Tissue storage

**INTRODUCCIÓN.**

*"No <<mi cuerpo y yo>>, sino <<mi cuerpo: yo>>. No la afirmación de un <<yo>> para el cual algo unidísimo a él, pero distinto de él, el cuerpo, fuese dócil o rebelde servidor - implícitamente, eso lleva dentro de sí la expresión <<mi cuerpo>>- sino la autoafirmación de un cuerpo que tiene como posibilidad decir de sí mismo <<yo>>... ¿Pero quién soy? Yo soy yo mismo. Yo soy lo mío. Y diríamos con Ortega: Yo soy yo y mi circunstancia. Yo soy lo que constitutivamente me pertenece: yo soy mi cuerpo; mi vida; mis creencias, en tanto que mías; mi vocación; mi libertad; mi amor...Yo soy mi tesoro (Zubiri)" (Laín, 1995, p. 313).*

Cuando Don Pedro Laín Entralgo se plantea la pregunta acerca de ¿quién soy? o ¿quién es una persona?, tiene en principio la precisión del *quien* al tratarse de personas y no del *que* propio de las cosas (García Morente, 1992, p. 19), lo que no implica desconocer la cosificación de las personas y que en este auto-reconocimiento de su ser cosa, lo arranca de la cosificación para volver al *quién*, que lleva la conciencia del ser y

la creatividad simbólica en la circunstancia en la que se tejen los entramados de significación del ser. Cuando se plantea éste cuestionamiento, la respuesta aparece en la compleja sencillez del "yo", como una inmensidad que mucho dice, y es tanto que solo se llega a contener en el "yo", si bien lo que expresa "yo soy yo mismo" pareciera que nada contesta quedándose en el planteamiento inicial, sin embargo "yo soy yo mismo" reconoce la singularidad del sujeto que se construye en la diferenciación al compararse con los otros, construcción de identidad que parte de la diferenciación basada en la segmentación del entrono en el cual nos ubicamos al autoadscribirnos, y en la comparación que si bien inicia en el *nosotros*, se realiza en la comparación con en el *ellos*, lo que lleva a la singularización, al reconocimiento más fino en el que arrancado del entrono se ubica como único e irrepetible, "yo soy yo" y no otro, "yo soy yo mismo" donde se entienden, como proceso biográfico, las características sustanciales que hacen de uno, único, "yo soy yo mismo" ha de contemplar la encarnación de la historia, la propia historia de uno por uno mismo contado, como proceso de inclusión de referentes ya que somos muestra propia experiencia, "yo soy yo mismo" y no otro, en esta construcción de imaginarios en el cual la realidad es afirmación de existencia, donde la creatividad simbólica nos expresa en lo que sustancialmente somos rebasando la "cosa", para que siendo ésta, la neguemos y seamos lo que realmente somos, conciencia de ser y creatividad simbólica, que renuncia "a ser lo que no es", para "ser lo que es". "Mientras el hombre asume su no ser cosa real alguna, se mantiene al borde de la razón y es capaz de manejarla. El es lo que no es, hasta que se da cuenta de que no es cosa, para construirse desde el fondo infinito de las posibilidades que provienen de donde no hay cosas, pero del que surgen toda estas cosas con las que en la vida aparecemos. La creación simbólica (Sabater, 2004, pp. 351 - 368).

Octavio Paz en el Prologo al libro Veinte Poemas de William Carlos Williams (2008, pp.

11-23) reflexiona: "Así, Williams no parte de las cosas, sino de las sensaciones. Pero a su vez la sensación es informe e instantánea; no se puede construir ni hacer nada con puras sensaciones: el resultado sería el caos. La sensación es anfibia: nos une y nos separa simultáneamente de las cosas. Es la puerta por donde entramos en las cosas pero también por donde salimos de ellas para darnos cuenta de que no somos cosas". Dice Don Pedro Laín Entralgo, que para ser, habrá que reconocerse en lo que sustancialmente somos "yo soy lo mío" lo que me pertenece, mi cuerpo, mi conciencia, mi intención, mi esfuerzo, mi logro y mi responsabilidad sobre mis actos (Laín, 1986, pp. 169-171). Esta responsabilidad sobre los actos no puede partir de un *a priori* que como regla universal se aplique a todos los seres humanos, estos referentes reguladores de comportamientos parten de contextos sociales donde la experiencia muestra la relatividad de las valorizaciones, ubicando a los valores como construcciones ideales que como afanes buscamos pero que tienen la concreción de la ilusión; valoramos los comportamientos, incluyendo los propios, solo que somos más generosos para justificar los de uno, y sin embargo, la memoria regresa a la conciencia la experiencia, donde las valoraciones no pueden ocultarse de nosotros mismos, ni en el lenguaje, ni en el silencio. "Mi memoria no me vale para mentir, me enseña a sobrellevarme, a respirar. Cuando le conviene, me chantajea. ¿Tiene algo que ver conmigo? Exhibicionista soñado por alguien, quizá por el verdadero? ¿Cómo saber si es el verdadero? No sabe uno como es pero si algo de cómo ha sido. La realidad es un mito por cada uno inventado, que nos inventa a cada uno" (Cardóza, 1986, p. 808). "Yo soy lo mío; o como dijo Ortega <<yo soy - también - mi circunstancia>>" (Laín, 1986, p. 165), en esta magnífica mirada etnológica donde los referentes contextuales nos hace ser producto y productores de cultura, que siempre esta presente como redes de significados que tejemos, mediante los cuales elaboramos nuestra realidad, a partir de la cual construimos

nuestra identidad, con referentes fundamentales para esto como la auto-adscripción, referentes a partir de los cuales mantenemos sistemas de interacciones integrados en el entramado social. *"Yo soy", en efecto lo que constitutivamente me pertenece, y así, en alguna medida y de manera distinta en cada caso, "yo soy mi cuerpo, mi vida mis creencias vivas, en tanto que <<mías>>, mi vocación, mi libertad, mi amor"* (Lain, 1986, p. 166). ¿Y qué somos? sino el sueño tejido donde nada ocupa definitivamente nuestra creación simbólica, este espacio del ser en el que se tejen sueños que hacen que la libertad sea cierta al bañarse en la realidad de donde surgen los sueños, *si has de volar, has de hacerlo con los pies en la tierra nos decía el Dr. Santiago Genovés, porque la realidad habrá que inundarla de realidad. "La vida real es lo más bello de la vida. El hombre, hastiado de soñar, se embriaga de realidad. El hombre no sueña para evadirse de la realidad, sueña para ser real"* (Cardoza, 1986, p. 812). Solo así se entiende la afirmación de Zubiri, *"Yo soy mi tesoro"*, en este reconocer que lo único que poseemos es a nosotros mismo, que somos un cuerpo pensante donde se tejen redes de significado que se construyen desde la fuente de la creatividad humana, sentidos diversos a lo que somos, rebasando la cosificación del estar siendo, para poder ser lo que nuestra creatividad simbólica nos cree desde el referente contextual y desde la sensible caricia-percepción del ser al estar siendo, es por eso que el arte salva al hombre de cosificarse al contraponer el ser a su función. "El arte desde su inutilidad redime a las mismas cosas de su ser, para llevarlas a dimensiones indeterminadas de la libertad" (Savater, 2004, p. 351-368).

### **EL CUERPO, EL SER Y LA COSA.**

Lo que habría que preguntarse desde estas perspectivas es ¿a quién le pertenece esta sensible inmensidad del *yo*?, ¿a quién le pertenece nuestro cuerpo-pensante, el de usted, el mío? El cuerpo en tanto tal, no es sino nosotros mismos. Si algo estamos seguros que tenemos como posesión es nuestro cuerpo y

estamos seguros porque somos cuerpo, en el que se realizan procesos cognitivos que tienen como sustento estructuras biológicas (cuerpo) y estructuras mentales que como sistemas de relaciones y de representaciones se gestan socialmente. Es por eso que el ejercicio del poder, en la expresión más brutal que tiene el estado, es disponer del cuerpo. La Pena de Muerte implica quitar todo lo que uno es: *Cuerpo que Piensa*. Quitando el cuerpo se quita la conciencia de ser y por lo tanto pierde sentido la posesión de cualquier otra existencia, sea la que fuere. Es en el cuerpo donde se realiza el proceso perceptivo-cognitivo, receptáculo de las sensaciones, lugar de construcción de las interpretaciones y recinto donde se construye la realidad, en el cual nos entendemos al interpretar lo que percibimos en el estar siendo. En la concreción de nuestro existir nos encontramos con la condición de que a la vez que somos encarnación de la sociedad que nos proporciona los contextos, somos también una existencia propia, formalizamos la realidad desde nuestra observación y es acerca de esta realidad a la que hacemos mención cuando hablamos del cuerpo, donde cristaliza nuestra conciencia pues de ahí emana, cuerpo que piensa ya que el sentido que atribuimos al cuerpo forma parte de este mismo, pues somos además de materia conciencia de ser y construcción imaginaria.

Así la consideración del cuerpo entendida no como una entidad que nos conforma, sino como nosotros mismos forjados en el crisol del *"yo"* donde se inscriben funciones, representaciones y valoraciones, ha de ser tomado en cuenta cuando hablamos de intervenir en el cuerpo humano ya que no es solamente una realidad física, es una construcción que tiene uno respecto a su *"yo"*, así las funciones y las representaciones de sus partes, han de pasar por la interpretación valorativa que varía de acuerdo a las construcciones culturales y a las circunstancias en las que se interpreta, donde las partes del cuerpo son representadas por los distintos actores sociales en contextos

particulares, incluyendo las sensibles significaciones que son propias de experiencias poéticas.

Cuando interactuamos con el otro, estamos ante una relación donde están presentes evaluaciones significativas de los sujetos y no ante una estructura biológica de significación unívoca, donde sentidos, funciones y significados parecieran homogenizados en una mecanización que nos llevaría a que las respuestas esperadas se dieran con un determinismo programado, donde la individualidad se borrara, de ahí que si bien somos producto de la sociedad de donde hemos tomado los referentes para interpretar la realidad que como experiencia vivimos, somos además nuestra propia vivencia donde los sentidos cobran significación desde nuestra propia observación, producto de nuestra integración de conocimientos significativos que parten de nuestra *vida-vivida*, la experiencia, que es conocimiento donde está presente; también el sentido *ético-estético* que evalúa nuestra práctica y la percepción de los fenómenos que nos rodean, siendo así experiencias sensiblemente significativas, sin que tengan un necesario contenido práctico, pero si un profundo sentido de significación en cuanto a la construcción que hacemos de nosotros mismos, en esta evaluación que da sentido *ético-estético* a nuestros actos. De ahí que la pertenencia del cuerpo es la pertenencia de uno. De mí. De Yo.

Somos producto de un proceso constante de cambios que tienen como referente necesario la historia, que nos permite entender quiénes somos, ya que a partir de este referente nuestras acciones tienen sentido de continuidad con la idea que de nosotros tenemos, referente que está en base a la forma en que interpretamos la realidad. En todo momento estamos construyendo la realidad, ya que ésta es una interpretación que hacemos de lo que capturamos mediante nuestros sentidos. Al percibir formalizamos, es a partir de la forma que damos sentido a lo que capturamos lo que

nos permite estar ante realidades conocidas, solo lo informe es incomprendible. La formalización que hacemos de lo que percibimos depende de los criterios de interpretación que tenemos y que se han formado en base a los procesos de aprendizaje que recibimos, los que se corresponden a las estructuras propias de la sociedad donde hemos tomado estos contextos, que a su vez aparecen estructurados en un sistema de referencias mediante las cuales se tejen las coordenadas que nos ubican en un sistema de relaciones en esta red de significados que hemos tejido, de ahí que estos entramados de redes de significado están en relación a las condiciones de vida de los miembros que los comparten, conformando el sentido común.

La historia encarna en nosotros al ser una perspectiva del ver acerca de los hechos del pasado. El futuro se manifiesta desde las imágenes, comportamientos y avances de las tecnologías que impactan en nuestro sentido común al irse normalizando con los usos y el paso del tiempo, para convertirse en parte de estas redes de significados que se normalizan, perdiendo con el tiempo la referencia del origen de su surgimiento. Pero sobre todo somos un presente que está en constante transformación donde los elementos que nos constituyen ocupan diferentes grados de jerarquía en distintas circunstancias, influyendo de diversas maneras en las valoraciones que hacemos y que se manifiestan en las tomas de decisiones que realizamos en todo momento. La identidad es un estado de realidad, un constructo que hacemos de los que percibimos. Así el sentido que damos a la realidad en la que se soporta la identidad, manifiesta las estructuras que subyacen y se mantienen dentro de los grupos sociales, muchos de los cuales no son exclusivos, sino que son compartidos al ser el conocimiento producto de un *continuum* que es compartido en muchos de sus referentes respecto al sentido, función y representación de los fenómenos que percibimos, de ahí que seamos parecidos al compartir condiciones sociales de existencia. Así la construcción de la identidad se crea a



partir de elementos de identidad social que nos homogenizan en cuanto a la forma de interpretar lo que percibimos, dado que somos producto de la socialización, somos experiencia propia con nuestras necesidades concretas, incluyendo a las propias de nuestra biología. De manera que si la homogeneidad existe en cuanto compartimos la forma de interpretar la realidad, ésta al ser producto de nuestra subjetividad, es construcción particular de quien la observa, así el mismo estímulo no es interpretado exactamente de la misma manera por todos los que la perciben, a pesar de que se compartan condiciones sociales de existencia. Somos así nuestra propia experiencia, si bien influenciada por los criterios de interpretación compartidos, como experiencia que es, resulta necesariamente personal, compartimos juicios de interpretación a partir de la idea que de nosotros tenemos, la construcción de identidad que se va adquiriendo en base a un *nosotros*, que se fomenta dentro de la misma sociedad, reafirmando los elementos de identidad colectiva que se tiene al vernos reflejados en nuestros semejantes, con la particularidad que la arbitrariedad implicaría a la parcialización de los espacios y la adscripción a estos por los diferentes grupos a los que nos adscribimos con la designación del *nosotros*, y sin embargo, existe la particularidad en la homogeneidad, "homología" (Bourdieu, 1991, p. 104), de hecho la homogeneidad es manifestación de acuerdos entre las particularidades, la objetividad por ejemplo, es un acuerdo de subjetividades solo que ha pasado por el aval de grupos de expertos reconocidos por mecanismos sociales de licitación que los avalan y en el proceso de aceptación de los mecanismos explicativos propuestos, en su momento, para dar cuenta de un determinado fenómeno, van normalizando una forma del ver (pensamiento científico) desde determinados grupos sociales entre los cuales adquieren sentido de aceptación en la coherencia, imbricándose en patrones de interpretación de la realidad o modificando estos, pero siempre en base al tene

ados en una determinada forma del que, no obstante, nos pensamos en términos estrictos de homogeneidad, somos además un proceso de constante cambio donde los diferentes elementos que nos conforman inciden en nuestra percepción y construcción de nuestra identidad. Nuestros estados de ánimo pueden determinar la percepción estética e incluso cambiar el sentido de comunicación que un gesto nos puede provocar. La interpretación que hacemos de la realidad depende de los constantes cambios que estamos teniendo, pues lo que hacemos, como el conocer, lo integramos en nosotros, transformándonos.

En las intervenciones en el cuerpo, nos encontramos ante la condición humana que es el cuerpo pensante, estamos ante el ser capaz de rescatarse de *ser cosa* al pensarse como cosa y en este reconocimiento salvarse de serlo. *El ser es y el no ser no es*, sentencia capaz de abarcar la afirmación que mantiene la razón al borde y la maneja salvándose de ser cosa, sabiendo que lo está siendo, pero que a la vez es la fuente infinita de creación simbólica.

"El hombre resbala por el borde de la razón, cuya ley primordial -el ser es y el no ser no es- le resulta imprescindible y adversa. Imprescindible, porque la vida del hombre consiste en ponerse sin cesar en el lugar de la cosa, para evitar que la cosa - que es muerte para su vida - se ponga en su lugar; adversa, porque la ley arroja de sí permanentemente la condición no idéntica del hombre, marginándolo del orden racional ... mientras el hombre asume su no ser cosa real alguna, se mantiene al borde de la razón y es capaz de manejarla, aunque en constante pugna con ella" (Savater, 2004, p. 354).

¿Pero que hace de la cosa, cosa? "La cosa es una materia formada. Esta interpretación de la cosa invoca la visión inmediata, en la que la cosa nos afecta con su aspecto. Con la síntesis de materia y forma se encuentra al fin el con

cepto de cosa social de los grupos en donde se insertan r el respaldo que conviene igualmente a las cosas naturales y

a las de uso" (Heidegger, 1958, p. 41). En el caso de las partes del cuerpo, fuera del cuerpo humano son cosa, ya que son materia formada que carece de conciencia de ser; no son cuerpo pensante y cualquier consideración respecto a un supuesto atributo del carácter humano autónomo en las partes del cuerpo una vez separadas de él son consideraciones trascendentes a lo humano.

El documento que se presenta se basa en la fiabilidad de la información, en la experiencia adquirida durante la participación ininterrumpidamente durante 15 años como vocal de comités de ética en investigación, habiendo evaluado a la fecha aproximadamente 500 protocolos en distintas instituciones de salud: Hospital de la Mujer; Instituto Nacional de Perinatología "Isidro Espinoza de los Reyes" (INPer); Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias "Ismael Cosío Villegas" (INER); Escuela Superior de Medicina del Instituto Politécnico Nacional.

#### **EL ACCESO A TEJIDOS HUMANOS ALMACENADOS, EN INVESTIGACIONES ENSALUD.**

La reflexión sobre el cuerpo humano y sus partes, en cuanto a los posibles usos que se puede hacer con los tejidos, se ha de plantear desde la propiedad del cuerpo, por lo que habrá que considerar desde una perspectiva ética y jurídica la pertenencia y el acceso a los tejidos humanos. Esto deberá hacerse desde el respeto a la *autonomía* entendida como un derecho para consentir o no las condiciones en las que se da la separación de las partes del cuerpo y la posibilidad de que éstas sean utilizadas en investigación, lo que incluye el ámbito clínico donde la intervención médica ha de ser consentida por el paciente, como está establecido en el la Ley General de Salud: "Los beneficiarios del Sistema de Protección Social en Salud tendrán además de los derechos establecidos en el artículo anterior, los siguientes:...V. Recibir información suficiente, clara, oportuna y veraz, así como la orientación

que sea necesaria respecto de la atención de su salud y sobre los riesgos y alternativas de los procedimientos diagnósticos, terapéuticos y quirúrgicos que se le indiquen o apliquen;...VIII. Decidir libremente sobre su atención;...IX. Otorgar o no su consentimiento válidamente informado y a rechazar tratamientos o procedimientos" (Ley General de Salud. Capítulo IX. Derechos y Obligaciones de los Beneficiarios. Artículo 77 bis 37)

Los conflictos éticos aparecen cuando se proponen investigaciones en las que se quisiera hacer uso de tejidos almacenados para la investigación, que por lo general se almacenan en los refrigeradores de los investigadores y no en bancos de tejidos como está establecido en la legislación. Esto lleva a estos problemas: 1) Que tipo de tomas de muestras se pueden autorizar para su estudio, sin poner en riesgo a los sujetos de investigación; 2) El que no sea posible o sea impracticable contactar con el consentimiento informado; 3) El uso patrimonial que algunos investigadores hacen con los tejidos, intercambiándolos por participación en la publicación de los resultados de la investigación para los que serán utilizados, lo que además de ser ilegal es éticamente reprochable.

1.- Respecto al tipo de tomas de muestras que se pueden autorizar para su estudio, serán las que provienen de procedimiento cénicos, así que se puede autorizar para su estudio los *Remanentes de Procedimiento Clínicos*, ya que no es permitido que se realice invasividad en el cuerpo de los sujetos de estudio, particularmente siendo personas enfermas, si esta intervención no tiene un impacto benéfico en el sujeto de estudio, de acuerdo a lo establecido en el Artículo 13 del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud (RLGSMIS), donde se establece: "Artículo 13.- En toda investigación en la que el ser humano sea sujeto de estudio, deberán prevalecer el criterio del respeto a su dignidad y la protección de sus derechos y bienestar.". Y el 14 inciso IV del mismo reglamento se indica que, "Artículo

14 inciso IV, "14.- La Investigación que se realice en seres humanos deberá desarrollarse conforme a las siguientes bases:...IV.- Deberán prevalecer siempre las probabilidades de los beneficiados esperados sobre los riesgos predecibles". Es el sujeto de investigación la prioridad en las regulaciones de las investigaciones en salud donde participan sujetos humanos como sujetos de investigación. Así, en el Artículo 8 de la Declaración de Helsinki (2013), queda indicado: "8. Aunque el objetivo principal de la investigación médica es generar nuevos conocimientos, este objetivo nunca debe tener primacía sobre los derechos y los intereses de las personas que participa en la investigación". En estos casos se llegan a presentar conflictos de interés, cuando el grupo de investigadores que solicitan al aval del Comité de Ética en Investigación (C.E.I.) para el acceso a tejidos provenientes de remanente de procedimientos clínicos, son los mismos médicos clínicos que atienden al grupo de sujetos de investigación, como pacientes, que serían quienes indican el tipo de tomas de muestras que se requieren para su atención clínica. El conflicto de interés que debe ser considerado por el C.E.I., proviene de la posibilidad de que las tomas de muestra no sean la estrictamente indicadas para el procedimiento clínico, tanto para el diagnóstico, como para el seguimiento de la enfermedad, obteniendo de esta manera los tejidos que requieren para la investigación, realizándose para esto procedimientos invasivos innecesarios y que ponen en riesgo al paciente. Esto se puede resolver si el C.E.I. designa al Jefe del Área para que supervise que solo sean realizadas las tomas de muestra que clínicamente están indicadas, esta designación solo será para la investigación en donde se genera el conflicto. Esta asignación debe ser entendida como reconocimiento del comportamiento éticamente correcto del Jefe de Área designado por parte del C.E.I.

Un conflicto ético que se llega a presentar en protocolos que se evalúan en los C.E.I. respecto a la toma de muestras es cuando se requiere para la

investigación el contar con un grupo control y para el diseño se necesitan sujetos sanos, en el marco de la evaluación riesgo - beneficio, los sujetos sanos no obtienen beneficio directo, como está establecido en el art. 14 inciso IV que "Deberá de prevalecer siempre las posibilidades de los beneficios esperados sobre los riesgos predecibles". Sin embargo y ante la posibilidad de que el sujeto de investigación sano (sujeto control) desee participar, solo por el hecho de que es su voluntad, debe ser respetado su derecho a decidir sobre su cuerpo, que es él mismo. Este derecho a disponer sobre su cuerpo se encuentra, establecido en el *Reglamento de la Ley General de Salud en materia de control sanitario de la disposición de órganos y tejidos de seres humano* (1983). Al estar establecido en la legislación nacional que la autorización sobre la disposición de los tejidos corresponde en primer lugar al *Disponente original*, que es: "Artículo 11.- Es disponente original la persona con respecto a su propio cuerpo". Y en el Artículo 9º: "Artículo 9º.- En ningún caso se podrá disponer de órganos, tejidos y sus derivados, productos y cadáveres, en contra de la voluntad del disponente originario". La autonomía como un derecho. Así, y a partir de este reconocimiento respecto a la autonomía, establece una serie de *disponentes secundarios* en su artículo 13º. Fundamentada en el derecho a decidir sobre nuestro cuerpo, que es *nosotros mismos*, los sujetos sanos pueden participar en investigaciones en salud con autorizar el uso de sus tejidos, que implica la toma de muestras si así lo desean, pero esto solo se debe permitir si se realiza la indicación, y esto no es opcional, de que los sujetos a los que se les invita a participar en este protocolo deben llevarse a su casa para tomar la decisión de participar o no, así que en el *En el Consentimiento Informado se debe indicar al inicio del documento, con letras mayúsculas, que la decisión de participar o no en el protocolo la debe tomar en su casa, que es un lugar que asegura la intimidad y la privacidad, y con la asesoría que considere. Y que contará con el tiempo que requiera para tomar la decisión de participar o no en el estudio*". Otro

criterio que debe de estar presente en la toma de decisiones del CEI respecto a la participación de los tejidos de sujetos sanos, es el reconocimiento de que no exista coerción y la capacidad de tomar decisiones.

Es frecuente que en los protocolos que se presentan para evaluación en los C.E.I. incluyan en la metodología procedimientos de tomas de muestras que se realizan en el contexto clínico y sus posibles complicaciones, esta información no deberá de incluirse en los protocolos, basta con establecer que las muestras serán los remanentes de procedimientos clínicos.

2.- El que no sea posible o sea impracticable la obtención del consentimiento para dicha investigación, se puede resolver con acudir al *"Reglamento de la Ley General de Salud en materia de control sanitario de la disposición de órganos, tejidos y cadáveres de seres humanos"*, que en su Artículo 13 establece en orden de preferencia los disponentes secundarios, quienes pueden autorizar el uso de los tejidos humanos que se solicitan, ocupando el segundo lugar "La Autoridad Sanitaria Competente", facultando de esta manera al Comité de Ética en Investigación de la institución de salud de donde proceden los tejidos, a permitir que se realice el estudio, utilizando los tejidos almacenados, sin la implementación del consentimiento informado. También se puede resolver con lo que esta indicado en la Declaración de Helsinki, Fortaleza, Brasil, 2013, que en su Art. 32 instruye, "32. Para la investigación médica en que se utilice material o datos humanos identificables, como la investigación sobre material o datos contenidos en biobancos o depósitos similares, el médico debe pedir el consentimiento informado para la recolección, almacenamiento y reutilización. Podrá haber situaciones excepcionales en las que será imposible o impracticable obtener el consentimiento para dicha investigación. En esta situación, la investigación sólo puede ser realizada después de ser considerada y aprobada por un comité de ética de investigación. Es

importante cuando se acude a este recurso el justificar or que es imposible o impracticable la obtención de la carta de consentimiento Informado.

3) Respecto al uso patrimonial que algunos investigadores hacen con los tejidos, intercambiándolos por participar en la publicación de los resultados de la investigación. Además de éticamente reprochable, es ilegal como lo establece en el *Reglamento de la Ley General de Salud en materia de control sanitario de la disposición de órganos, tejidos y cadáveres de seres humanos*, que en su Artículo 22 indica: "Se prohíbe el comercio de órganos o tejidos desprendidos o seccionados por intervención quirúrgica, accidente o hecho ilícito", lo que implica que en la trayectoria del objeto (tejidos) ha pasado de cuerpo a cosa que tienen propietario, para convertirse en mercancía, "El termino comercio describe dos tipo de intercambio: 1) los que están mediados por alguna clase de dinero, en los cuales comprar y vender son elementos clave, y 2) el trueque en el cual dos bienes o servicios son cambiados uno por el otro, sin ninguna intervención ni uso de dinero" (Diccionario de Antropología, 2000, p. 123).

Se llegan a presentar protocolo donde grupos de investigadores solicitan a los sujetos de estudio que cedan sus tejidos para el uso de estos grupos de investigadores, sin embargo esta solicitud es ilegal de acuerdo a lo establecido en la legislación. *La Ley General de Salud*, que en su Art. 100, inciso V, establece que la investigación en salud: "*V. Sólo podrá realizarse por profesionales de la salud en instituciones médicas que actúen bajo la vigilancia de las autoridades sanitarias competentes*". Lo que está en congruencia con la cobertura en salud, ya que la responsabilidad de la institución de salud sobre sus pacientes, es la forma de hacer efectivo el derecho a la salud (Art. 4º. Constitucional). Y se establece en el *Reglamento de la Ley General de Salud en materia de control sanitario de la disposición de órganos, tejidos y cadáveres de*

*seres humanos*, establece en sus Consideraciones Generales: "Que el control sanitario de la disposición de órganos, tejidos y sus derivados, productos y cadáveres de seres humanos, como una de las materias de Salubridad General, compete, de acuerdo con la Ley General de Salud, a la Secretaría de Salud". Este reglamento indica en su artículo 8° que "Corresponde a la Secretaría controlar, programar, coordinar, supervisar y evaluar las actividades a que se refiere este Reglamento organizar y operar servicios y vigilar su funcionamiento, dentro del marco del Sistema Nacional de Salud, teniendo en consideración que en caso de conflicto entre los intereses individuales y los de la sociedad, prevalecerán los de ésta en los términos de la Ley y del presente ordenamiento. Y en su Artículo 6° define quienes son los Disponentes de los tejidos, y por lo tanto, quienes están autorizados a conceder o no los tejidos para realizar investigaciones en salud, definiendo al "Disponente" en su inciso IX: "Disponente: Quien autorice, de acuerdo con la Ley y este Reglamento, la disposición de órganos, tejidos y sus derivados, productos y cadáveres"; instrumentando en su artículo 9° el derecho a la autonomía, al indicar que sobre nuestro cuerpo nadie sin nuestro consentimiento, "Artículo 9.- En ningún caso se podrá disponer de órganos, tejidos y sus derivados, productos y cadáveres, en contra de la voluntad del disponente originario". Así y después de asentar el derecho de uno sobre si mismo, en sus artículo 11° indica que el "disponente originario es la persona con respecto a su propio cuerpo y los productos del mismo". Y en su artículo 12° que "el disponente originario podrá, en cualquier tiempo, revocar el consentimiento que haya otorgado para fines de disposición de sus órganos, tejidos y sus derivados, productos o de su propio cadáver, sin que exista responsabilidad de su parte. En caso de que el disponente originario no haya revocado su consentimiento en vida, no tendrá validez la revocación que, en su caso, hagan los disponentes secundarios a que se refiere el artículo siguiente". Dicho reglamento en su

artículo 13° indica quienes serán los disponentes secundarios, "Artículo 13.- Serán disponentes secundarios, de acuerdo al siguiente orden de preferencia, los siguientes: "El cónyuge, el concubinario, la concubina, los ascendientes, descendientes y los parientes colaterales hasta el segundo grado del disponente originario; II.- La autoridad sanitaria competente; III.- El Ministerio Público, en relación a los órganos, tejidos y cadáveres de seres humanos que se encuentren bajo su responsabilidad con motivo del ejercicio de sus funciones; IV.- La autoridad judicial; V.- Los representantes legales de menores e incapaces, únicamente en relación a la disposición de cadáveres; VI.- Las instituciones educativas con respecto a los órganos, tejidos y cadáveres que les sean proporcionados para investigación o docencia, una vez que venza en plazo de reclamación sin que ésta se haya efectuado; y VII.- Los demás a quienes las disposiciones generales aplicables les confieren tal carácter, con las condiciones y requisitos que se señalan en las mismas" (Reglamento, de la Ley General de Salud en materia de control sanitario de la disposición de órganos, tejidos y cadáveres de seres, 1983).

Como se puede apreciar nunca están presentes los particulares, por lo que estos grupos de investigadores violentan la ley al pretender obtener la autorización del almacenamiento y uso de los tejidos, aún los que voluntariamente sean cedidos para investigaciones futuras, así se llegan a presentar protocolos en los utilizan la figura de donación, participación altruista o argumentos de este tipo para justificar la sesión de tejidos humanos a particulares, aún siendo equipos de investigadores de la misma institución de cobertura.

Para evitar este uso ilegal de los tejidos, se debe establecer como política de la institución de salud de cobertura, que todos los tejidos que sean cedidos para la investigación estarán bajo la custodia de la institución de salud de donde proceden los sujetos de estudio y por lo tanto sus tejidos. Es importante preveer, cuando así se

tiene considerado, que los tejidos provenientes de investigaciones puedan ser utilizados en estudios futuros, ya que se tiene que consentir el acceso a estos otros usos no contemplados en la investigación para la que fueron solicitados originalmente, dando al sujeto (*disponente original*) las distintas opciones para que puedan ser o no utilizados sus tejidos y bajo que condiciones.

En el Comité de Ética en Investigación del Instituto Nacional de Perinatología, *Isidro Espinosa de los Reyes*, se diseñó un instrumento que permite instrumentar esta solicitud de almacenamiento de tejidos producto de investigaciones:

"Formato de solicitud para almacenar muestras de sangre/tejido

"Solicitamos su autorización para mantener los remanentes de las muestras que se han autorizado a tomar para este estudio con fines de su posible uso en investigación en el futuro. Las muestras se conservarán bajo la custodia del ----  
----(*nombre de la institución de salud de cobertura*)-----

Usted no tiene que aceptar esto para poder participar en el estudio que se le ha propuesto y su decisión de aceptar o de no aceptar, no afectará el tratamiento que usted requiere.

Por favor escoja alguna de las opciones siguientes:

Acepto que guarden mis muestras para su uso futuro en investigación para aprender acerca del tratamiento y la prevención de

Acepto que guarden mis muestras para su uso futuro en investigación para aprender acerca del tratamiento y la prevención de cualquier enfermedad (artritis, diabetes, enfermedades del corazón, enfermedades mentales, etc.)

Acepto que guarden mis muestras pero cualquier uso que se requiera debe ser comentado conmigo, para otorgar mi autorización expresa.

No acepto que guarden ninguna de las muestras que me tomen.

Nombre y firma del participante

Nombre y firma del investigador

Fecha

Otro conflicto ético que se llega a presentar en los protocolos que se evalúan en los C.E.I. relacionados con el almacenamiento y uso posterior de los tejidos, es cuando se pretende almacenarlos en lugares externos a la institución de salud de cobertura, esto se llega a presentar en los protocolos multicéntricos y multinacionales, donde se solicita que las muestras biológicas se lleven a lugares fuera de la institución de salud de cobertura e incluso o fuera país, para su almacenamiento y posterior estudio. Este tipo de solicitud no puede ser avalada por el C.E.I. ya que es su responsabilidad cuidar por el respeto a la dignidad, el bienestar y la protección de los derechos de los sujetos de investigación (Art. 13 LGSMIS), ¿cómo se puede supervisar el uso que se haga con los tejidos almacenados fuera de las instituciones que tiene como encargo el vigilar el uso que se haga con ellos?. Las partes del cuerpo, una vez separadas de sí, se convierten en cosa que tiene poseedor, el que es referido en la legislación como disponente, que es quien puede o no aceptar que se disponga de él y en que condiciones. ¿Cómo cuidar que la información personal contenida en los tejidos, sea protegida, en el Artículo 24 de la Declaración de Helsinki, se indica que "Debe tomarse toda clase de precauciones para resguardar la intimidad de la persona que participa en la investigación y la confidencialidad de su información personal" y la información genética lo es. También ante la posibilidad, que como resultado de la investigación se obtenga un producto que pueda

ser comercializado; si observamos la investigación como un proceso productivo, en el que todos los que participan en la producción tiene derecho a obtener beneficio, ¿como se les hará llegar los beneficios que les corresponde a los donadores de los tejidos, como partícipes del proceso productivo?. Se llegan a presentar protocolos donde la participación que se les solicita a investigadores, ya que son los que proponen la investigación ante el C.E.I siendo el investigador principal adscrito, que la institución de cobertura participe tomando muestras de tejidos de sus pacientes, que los envíen y que estos sean almacenados en otra institución, para ser utilizados en otras u otras instituciones, sin la supervisión de la institución de cobertura. Se llegan a proponer el almacenamiento de tejidos y su utilización en otras investigaciones en varios países extranjeros.

### CONCLUSIONES:

La pertenencia del cuerpo es la pertenencia de uno mismo, de ahí que cuando se alude a tener acceso al cuerpo, esto solo puede darse si se consiente.

Entendiendo al cuerpo como cuerpo pensante, donde se dan los procesos perceptivos y cognitivos, es donde se construye la conciencia del ser y la creatividad simbólica, que es lo que caracteriza a los humanos.

De ahí que la autonomía, instrumentada como un derecho, es fundamento de la regulación que existe en la legislación nacional, para que se tenga acceso al uso y almacenamiento de tejidos humanos con fines de investigación, de ahí su abordaje desde perspectivas éticas y jurídicas.

A partir de que las partes de cuerpo separadas de él son cosa, será decisión de los disponentes, iniciando con el originario y después los secundarios de acuerdo a la legislación, quienes podrán consentir el acceso a los tejidos humanos.

Los conflictos éticos que se llegan a presentar en la evaluación de los protocolos en salud que evalúan los C.E.I. están relacionados con el tipo de tomas de muestras que se pueden autorizar para ser estudiadas, sin poner en riesgo a los sujetos de investigación. Y el que no sea posible contactar con el consentimiento informado.

Diversos problemas éticos que se presentan en la evaluación de los C.E.I., están relacionados con uso patrimonial que algunos investigadores hacen con los tejidos, intercambiándolos por participar en la publicación de los resultados de la investigación para la que serán utilizados, lo que además de éticamente reprochable, es ilegal.

Se llegan a presentar protocolos donde grupos de investigadores solicitan a los sujetos de estudio que cedan sus tejidos para el uso de estos grupos de investigadores, sin embargo esta solicitud es ilegal de acuerdo a lo establecido en la legislación.

Para evitar el uso ilegal de los tejidos, se debe establecer como política de la institución de salud de cobertura, que es de donde proceden los tejidos que estos sean cedidos para la investigación estarán bajo la custodia de la institución de salud de donde proceden los sujetos de estudio y por lo tanto sus tejidos.

Es importante prever, cuando así se tiene considerado, que los tejidos provenientes de investigaciones puedan ser utilizados en estudios futuros, ya que se tiene que consentir el acceso a estos otros usos no contemplados en la investigación para la que fueron solicitados originalmente, dando al sujeto (*disponente original*) las distintas opciones para que puedan ser o no utilizados sus tejidos y bajo que condiciones.

Es ilegal el autorizar que se almacenen tejidos humanos para su uso posterior en otras investigaciones en instituciones externas a la institución de salud de cobertura. No se cumpliría con lo establecido en el Art. 4°.

constitucional, que es el Derecho a la Salud, ya que ¿como cuidar que la información personal contenida en los tejidos, pudiendo obtenerse de ahí información gnética, que son datos personales que deben ser protegidos. Si observamos la investigación como un proceso productivo ¿como se les hará llegar los beneficios que les corresponde a los donadores de los tejidos?.

### **BIBLIOGRAFÍA:**

Bourdieu, Pierre; El sentido práctico; Madrid: Taurus, 1991. p. 104.

Cardoza y Argón, Luis. El Rio. México: Fondo de Cultura Económica, 1986. pp. 807 - 816  
Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Secretaría de Gobernación. Marzo de 2014.

Declaración de Helsinki, Frotaleza Brasil, 2013.  
Diccionario de Antropología. México: Siglo XXI, Editor Thomas Barfield, 2000. p. 123.

García Morente, Manuel. Ensayo sobre la vida privada. Madrid: facultad de Filosofía de la Universidad Complutense, 1992. p. 19  
Heidegger, Martín; Arte y Poesía; México: Fondo de Cultura Económica, 1958. p. 41.

Laín Entralgo, Pedro. Sobre la Amistad. Madrid: Espasa Calpe, Colección Austral, 1986. p. 165 - 171.

Laín Entralgo, Pedro. Cuerpo y Alma. Madrid: Espasa Calpe, Colección Austral, 1995. p. 313  
Ley General de Salud, Diario Oficial de la Federación el 7 de febrero de 1984.

Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud. Diario oficial de la Federación de fecha 3 de febrero de 1983.

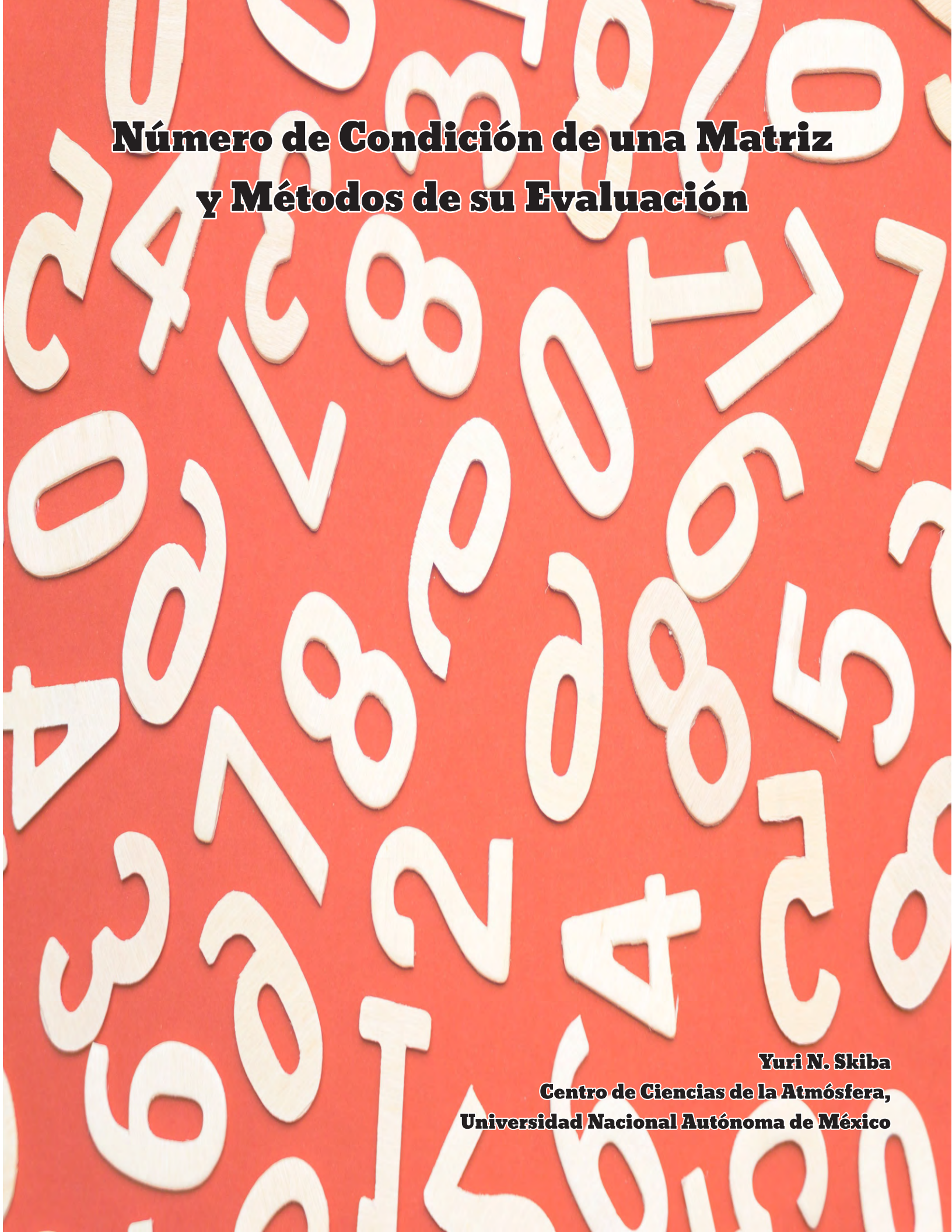
Reglamento de la Ley General de Salud en materia de control sanitario de la disposición de órganos, tejidos y cadáveres de seres humanos.

Diario oficial de la Federación de fecha 3 de febrero de 1983.

Sabater, Fernando. La tarea del héroe. Barcelona: Ediciones Destino, 2004. pp. 351 - 368.

William Carlos Williams. Veinte Poemas. México: Colegio Nacional / Ediciones ERA, 2008. pp. 11 - 171.





**Número de Condición de una Matriz  
y Métodos de su Evaluación**

**Yuri N. Skiba**  
**Centro de Ciencias de la Atmósfera,**  
**Universidad Nacional Autónoma de México**

**Abstract**

A system of linear algebraic equations  $A\vec{x} = \vec{b}$  is considered. The condition number of the matrix  $A$  is introduced. It is shown to be a very important matrix characteristic, since it is the main indicator of the stability of the solution of the system, a measure of the sensitivity of the system with respect to errors in the elements of matrix  $A$  and components of vector  $\vec{b}$ . The greater the condition number, the stronger this effect will be and the more unstable will be the process of finding the solution of the linear system. It is shown that the condition number of a matrix does not depend on the value of its determinant. Methods are proposed to calculate or estimate this important characteristic.

**Resumen**

Se considera un sistema de ecuaciones algebraicas lineales  $A\vec{x} = \vec{b}$ . Se introduce el número de condición de la matriz  $A$ . Se muestra que es una característica matricial muy importante, ya que es el principal indicador de la estabilidad de la solución del sistema, una medida de la sensibilidad del sistema con respecto a los errores en las entradas de la matriz  $A$  y componentes del vector  $\vec{b}$ . Cuanto mayor sea el número de condición, más fuerte será este efecto y más inestable será el proceso de encontrar la solución del sistema lineal. Se muestra que el número de condición de una matriz no depende del valor de su determinante. Se proponen métodos para calcular o estimar esta característica importante.

**Palabras clave:**

Sistema de ecuaciones lineales, Número de condición de una matriz, Estabilidad de la solución de un sistema, Evaluación del número de condición

**Key words:** System of linear equations, Condition number of a matrix, Stability of the solution of a system, Evaluation of the condition number

**1. Introducción****La condicionalidad de un sistema de ecuaciones lineales**

Sea  $A$  una matriz de  $n \times n$ . Es bien conocido que el determinante de una matriz  $A$  es una de sus características más importantes. En efecto, si la matriz  $A$  es singular, es decir, si  $\det A = 0$  entonces el sistema de ecuaciones de algebra lineal

$$A\vec{x} = \vec{b} \quad (1)$$

tiene un conjunto infinito de soluciones o no tiene ninguna solución. Los  $n$  eigenvalores (valores propios)  $\lambda_i$  de la matriz  $A$  también pueden dar información valiosa sobre sus propiedades. Son soluciones del problema de eigenvalores

$$A\vec{u}_i = \lambda_i\vec{u}_i$$

donde  $\vec{u}_i$  son vectores propios que corresponden a los valores propios  $\lambda_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ). En este trabajo se introduce otra característica muy importante de la matriz  $A$  del sistema (1).

**Definición 1.** El sistema de ecuaciones lineales (1) se dice *bien condicionado* si pequeños cambios en los coeficientes de la matriz  $A$  o en el lado derecho (es decir, en  $\vec{b}$ ) causan pequeños cambios en la solución. El sistema (1) se dice *mal condicionado* cuando pequeñas perturbaciones en  $A$  o/y en  $\vec{b}$  producen cambios relativamente grandes en la solución exacta  $\vec{x}$ .

En la siguiente sección mostraremos que la condicionalidad (buena o mala) del sistema (1) depende de la condicionalidad de su matriz  $A$ . Incluso en el caso de sistemas simples cuyas matrices son del orden de dos, las soluciones pueden ser muy sensibles a errores causados por varias fuentes (errores de redondeo, errores en métodos numéricos, etc.). De hecho, los investigadores a menudo encuentran este

problema en la solución numérica de los sistemas de ecuaciones lineales.

**Ejemplo 1.** Sea

$$\begin{bmatrix} 2 & 4 \\ 4 & 7.998 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 8 \\ 15.998 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Su solución es  $(x, y) = (2, 1)$ . Haremos pequeños cambios en la primera componente del vector  $\vec{b}$  del sistema (2):

$$\begin{bmatrix} 2 & 4 \\ 4 & 7.998 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 8.001 \\ 15.998 \end{bmatrix}$$

A pesar de que el error cometido es 0.001, la solución del sistema perturbado es fundamentalmente diferente de la solución del sistema (2):  $(x, y) = (0.0005, 2)$ . Ahora introducimos el mismo error en un elemento de la matriz del sistema (2):

$$\begin{bmatrix} 2 & 4 \\ 4 & 7.999 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 8 \\ 15.998 \end{bmatrix}$$

La solución del último sistema es otra vez fundamentalmente diferente de la solución del sistema (2):  $(x, y) = (0, 2)$ . Obviamente, el sistema (2) es mal condicionado, ya que pequeños cambios realizados en los coeficientes de la matriz o en el lado derecho, resultaron en grandes cambios en la solución del sistema. ■

**Ejemplo 2.** Consideremos el sistema lineal (1) con

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 \\ 7 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Su solución es  $(x, y) = (2, 1)$ . Después de hacer pequeños cambios en el lado derecho del sistema (3),

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4.001 \\ 7.001 \end{bmatrix},$$

obtenemos la solución  $(x, y) = (1.999, 1.001)$ . Ahora hacemos pequeños cambios en los elementos matriciales del sistema (3):

$$\begin{bmatrix} 1.001 & 2.001 \\ 2.001 & 3.001 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 \\ 7 \end{bmatrix}$$

La solución del último sistema es  $(x, y) = (2.003, 0.997)$ . Como se puede ver, el sistema (3) es bien condicionado, ya que pequeños cambios realizados en la matriz o en el lado derecho resultaron en pequeños cambios en la solución del sistema. ■

## 2. Número de condición de una matriz y estabilidad de la solución

En esta sección, veremos más ejemplos de sistemas de ecuaciones lineales. Introduciremos el número de condición de la matriz del sistema y mostraremos que este número es muy importante si se usan métodos numéricos (aproximados) para resolver el sistema. En general, la precisión de los cálculos está garantizada solo en el caso de una matriz bien condicionada. Y si la matriz es mal condicionada, entonces los cálculos se realizan sin ningún control y pequeños errores en los elementos de la matriz  $A$  y/o en el vector  $\vec{b}$  pueden causar errores grandes en la solución del sistema.

**Ejemplo 3** (Kahan, 1966). Sea

$$A = \begin{bmatrix} 1.2969 & 0.8648 \\ 0.2161 & 0.1441 \end{bmatrix} \quad \text{y} \quad \vec{b} = \begin{bmatrix} 0.8642 \\ 0.1440 \end{bmatrix} \quad (4)$$

la matriz y la parte derecha del sistema (1). Denotemos *el término residual*  $\vec{r} = \vec{b} - A\vec{y}$ , donde  $\vec{y}$  es una solución aproximada. Ya que  $\vec{r} = \vec{0}$  para la solución exacta  $\vec{x} = A^{-1}\vec{b}$ , es natural suponer que  $\vec{y}$  es buena aproximación de la solución exacta cuando el término residual  $\vec{r}$  es muy pequeño. Sin embargo, esto no es siempre una buena idea. Por ejemplo, para la

matriz (4) esta suposición no es cierta. En efecto, elegimos  $\bar{y} = (0.9911, -0.4870)^T$  (índice superior “T” denota la operación transpuesta). En este caso el vector residual es  $\bar{r} = (-10^{-8}, 10^{-8})^T$ , es decir, muy pequeño. No obstante, el vector  $\bar{y}$  queda lejos de la solución exacta  $\bar{x} = (2, -2)^T$ . ■

**Ejemplo 4.** Consideremos el sistema (1) con

$$A = \begin{bmatrix} 0.780 & 0.563 \\ 0.913 & 0.659 \end{bmatrix} \quad \text{y} \quad \bar{b} = \begin{bmatrix} 0.217 \\ 0.254 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Si elegimos  $\bar{y}_1 = (0.341, -0.087)^T$  como una solución aproximada, entonces el término residual es  $\bar{r}_1 = (10^{-6}, 0)^T$ . Y si elegimos  $\bar{y}_2 = (0.999, -1.001)^T$  como otra solución aproximada, entonces el término residual es  $\bar{r}_2 = (0.0013\dots, -0.0015\dots)^T$ . Al comparar  $\bar{r}_1$  con  $\bar{r}_2$  concluimos que el vector  $\bar{y}_1$  es una mejor aproximación a la solución exacta  $\bar{x}$  que el vector  $\bar{y}_2$ . No obstante, la solución exacta del sistema (5) es  $(1, -1)^T$  y, en realidad, el vector  $\bar{y}_2$  es la mejor aproximación entre dos vectores. ■

Surge la pregunta: “¿Por qué un sistema mal condicionado es tan inestable?” Es fácil visualizar que ocurre en un sistema mal condicionado, en el caso de dos ecuaciones. Geométricamente, las soluciones de cada ecuación se representan por una línea directa sobre el plano, y el punto de intersección de dos líneas es la solución del sistema. Dos líneas directas que corresponden a un sistema mal condicionado son casi paralelas. En este caso, si la inclinación de una de las líneas se cambia ligeramente (por ejemplo, por pequeños errores en  $\bar{b}$ ), entonces el punto de intersección se altera drásticamente (Fig.1).

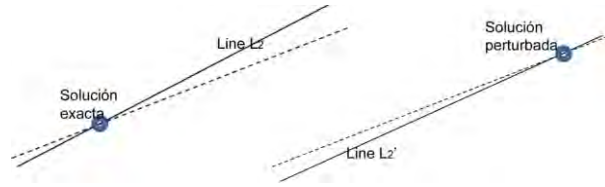


Fig.1. Impacto de una perturbación pequeña en  $b$ .

Con el fin de demostrar que un término residual muy pequeño  $\bar{r} = \bar{b} - A\bar{y}$  no siempre garantiza la proximidad de la solución aproximada  $\bar{y}$  a la solución exacta  $\bar{x} = A^{-1}\bar{b}$ , consideraremos un ejemplo más.

**Ejemplo 5** (Maubach, 2005). Demostramos que dos soluciones aproximadas pueden ser muy distintas a pesar de que sus términos residuales son iguales. El sistema (1) es  $2 \times 2$  con la matriz

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \varepsilon \end{bmatrix}$$

donde  $\varepsilon > 0$  es un número muy pequeño.

Sea  $\vec{w} = \vec{y} - \vec{x}$ . Tenemos

$$\begin{aligned} \|\vec{A}\vec{y} - \vec{b}\|^2 &= \|A(\vec{y} - \vec{x})\|^2 = \vec{w}^* (A^* A) \vec{w} = w_1^2 + \varepsilon^2 w_2^2 \\ &= (y_1 - x_1)^2 + \varepsilon^2 (y_2 - x_2)^2 \end{aligned}$$

donde

$\|\vec{w}\| = |\vec{w}| = (\vec{w}^* \vec{w})^{1/2} = \langle w, w \rangle^{1/2} = (|w_1|^2 + |w_2|^2)^{1/2}$  es la norma euclidiana del vector  $\vec{w}$  con dos componentes  $w_1$  y  $w_2$ ;  $\vec{w}^*$  es el adjunto (transpuesto y complejo conjugado) del vector  $\vec{w}$ ;  $\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle = y^* x$  es el producto escalar de dos vectores; y  $A^* = \bar{A}^T = \{\bar{a}_{ji}\}$  es la adjunta (transpuesta y compleja conjugada) de la matriz  $A = \{a_{ij}\}$ . Por lo tanto,  $\|\vec{A}\vec{y} - \vec{b}\| = a$  implica

$$\frac{(y_1 - x_1)^2}{a^2} + \frac{(y_2 - x_2)^2}{a^2 \varepsilon^{-2}} = 1,$$

es decir, todas las soluciones aproximadas  $\vec{y}$ , cuyas términos residuales son  $\|\vec{A}\vec{y} - \vec{b}\| = a$ , pertenecen a un elipse con los radios  $a$  y  $a/\varepsilon$ . Por ejemplo, dos vectores  $\vec{y}_1 = (x_1 + a, x_2)^T$  y  $\vec{y}_2 = (x_1, x_2 + a\varepsilon^{-1})^T$  corresponden al mismo término residual  $\|\vec{A}\vec{y} - \vec{b}\| = a$ , pero

$$\|\vec{y}_1 - \vec{x}\| = a \ll a\varepsilon^{-1} = \|\vec{y}_2 - \vec{x}\|.$$

De un lado,  $\det A = \varepsilon \ll 1$ . Por otro lado, veremos más adelante que nuestra matriz  $A$  es mal condicionada, ya que su número de condición en la norma espectral es enorme:  $\nu_2(A) = \varepsilon^{-1}$ . ■

**2.1. Control de los cálculos.** Ahora explicaremos la inestabilidad de la solución de un sistema mal condicionado (Forsythe et al., 1977; Ciarlet, 1995). Supongamos que la matriz del sistema (1) es no singular ( $\det A \neq 0$ ) y  $\vec{b} \neq 0$ . En este caso, el sistema tiene una sola solución  $\vec{x} \neq 0$ . Analicemos ahora un sistema perturbado

$$A(\vec{x} + \vec{\varepsilon}) = \vec{b} + \vec{\delta} \quad (6)$$

donde  $\vec{\varepsilon}$  es el error absoluto cometido en el cálculo de la solución  $\vec{x}$  del problema (1), y  $\vec{\delta}$  es el *error absoluto* cometido en vector  $\vec{b}$  (supongamos que no hay errores en la matriz  $A$ ). Claro que

$$A\vec{\varepsilon} = \vec{\delta}, \quad \text{y} \quad \vec{\varepsilon} = A^{-1}\vec{\delta}. \quad (7)$$

Dividiendo el error relativo  $\|\vec{\varepsilon}\|/\|\vec{x}\|$  cometido en  $\vec{x}$  por el error relativo  $\|\vec{\delta}\|/\|\vec{b}\|$  cometido en  $\vec{b}$ , y usando (1) y (7) obtenemos

$$\frac{\|\vec{\varepsilon}\|/\|\vec{x}\|}{\|\vec{\delta}\|/\|\vec{b}\|} = \frac{\|\vec{b}\|}{\|\vec{x}\|} \cdot \frac{\|\vec{\varepsilon}\|}{\|\vec{\delta}\|} = \frac{\|A\vec{x}\|}{\|\vec{x}\|} \cdot \frac{\|A^{-1}\vec{\delta}\|}{\|\vec{\delta}\|} \leq \|A\| \|A^{-1}\| \quad (8)$$

**Definición 2.** Sea  $A$  una matriz. El número

$$\nu(A) \equiv \text{cond} A = \begin{cases} \|A\| \|A^{-1}\|, & \text{si } A \text{ no es singular} \\ \infty, & \text{si } A \text{ es singular} \end{cases} \quad (9)$$

se denomina *número de condición de la matriz*  $A$ . ■

Se deduce de (8) y (9) que

$$\frac{\|\vec{\varepsilon}\|}{\|\vec{x}\|} \leq \nu(A) \frac{\|\vec{\delta}\|}{\|\vec{b}\|}, \quad (10)$$

es decir, el error relativo cometido en la solución  $\vec{x}$  del problema (1) se estima mediante el error relativo cometido en el vector  $\vec{b}$  multiplicado por el número de condición de la matriz. Por eso, cuando  $\nu(A)$  es pequeño o moderado, el error  $\|\vec{\varepsilon}\|/\|\vec{x}\|$  en la solución del problema (1) está acotado y depende continuamente del error  $\|\vec{\delta}\|/\|\vec{b}\|$  en  $\vec{b}$  (en el sentido de que  $\|\vec{\varepsilon}\|/\|\vec{x}\|$  tiende a cero junto con  $\|\vec{\delta}\|/\|\vec{b}\|$ ). En esta situación, la matriz  $A$  (y por consiguiente, el sistema (1)) se llama *bien condicionada* (véase Ejemplo 2). Sin embargo, si el número de condición de la matriz  $A$  es muy grande entonces el error en la solución  $\|\vec{\varepsilon}\|/\|\vec{x}\|$  ya no es controlable a pesar de que el error  $\|\vec{\delta}\|/\|\vec{b}\|$  es muy pequeño. En efecto, si  $\nu(A)$  es  $10^{12}$  y  $\|\vec{\delta}\|/\|\vec{b}\|$  es  $10^{-10}$  obtenemos

$$\frac{\|\vec{\varepsilon}\|}{\|\vec{x}\|} \leq 100,$$

y no hay control sobre la precisión de los cálculos. En la última situación, el sistema (1) y su matriz  $A$  se llaman *mal condicionados*, y pueden aparecer errores graves durante la solución numérica del problema (véase Ejemplo 1).

El análisis permite contestar la pregunta sobre el extraño comportamiento de las soluciones en

los ejemplos 3 y 4. En efecto, lo que pasa en dichos ejemplos se debe a la condicionalidad mala de las matrices (4) y (5), cuando la estimación (10) no controla los cálculos, y un error pequeño en el vector  $\vec{b}$  produce un error bastante grande en la solución  $\vec{x}$ .

Ahora mostraremos que el número de condiciones (9) también es una característica importante al evaluar la respuesta del sistema (1) a los errores cometidos en los elementos de la matriz  $A$ . De hecho, supongamos que el vector  $\vec{b}$  es exacto, pero  $A$  contiene un error  $\delta A$ :

$$(A + \delta A)(\vec{x} + \vec{\varepsilon}) = \vec{b}$$

Así, en lugar de la solución exacta  $\vec{x} = A^{-1}\vec{b}$ , tenemos una solución aproximada  $\vec{x} + \vec{\varepsilon} = (A + \delta A)^{-1}\vec{b}$ , o  $\vec{\varepsilon} = \{(A + \delta A)^{-1} - A^{-1}\}\vec{b}$ .

Sustituyendo  $B = A + \delta A$  en la identidad  $B^{-1} - A^{-1} = A^{-1}(A - B)B^{-1}$ , se obtiene

$$\vec{\varepsilon} = -A^{-1} \delta A (A + \delta A)^{-1} \vec{b} = -A^{-1} \delta A (\vec{x} + \vec{\varepsilon})$$

Por lo tanto,  $\|\vec{\varepsilon}\| \leq \|A^{-1}\| \|\delta A\| \|\vec{x} + \vec{\varepsilon}\|$ . Se deduce que

$$\frac{\|\vec{\varepsilon}\|}{\|\vec{x} + \vec{\varepsilon}\|} \leq \nu(A) \frac{\|\delta A\|}{\|A\|}$$

y si  $\nu(A) \frac{\|\delta A\|}{\|A\|} < 1$  entonces

$$\frac{\|\vec{\varepsilon}\|}{\|\vec{x}\|} \leq \nu(A) \frac{\|\delta A\|}{\|A\|} \left( 1 - \nu(A) \frac{\|\delta A\|}{\|A\|} \right)^{-1} \quad (11)$$

Por lo tanto, si  $\nu(A) \frac{\|\delta A\|}{\|A\|} \ll 1$  entonces

$\left( 1 - \nu(A) \frac{\|\delta A\|}{\|A\|} \right)^{-1}$  es cerca a uno, y el error relativo en la solución está nuevamente limitado por el error relativo en la matriz  $A$  multiplicado por el número de condición (9).

Es fácil demostrar que en el caso general cuando se presentan ambos tipos de errores

$(\delta A$  y  $\delta)$  y  $\nu(A) \frac{\|\delta A\|}{\|A\|} < 1$ , la estimación (11)

acepta la forma

$$\frac{\|\vec{\varepsilon}\|}{\|\vec{x}\|} \leq \nu(A) \left( \frac{\|\delta\|}{\|\vec{b}\|} + \frac{\|\delta A\|}{\|A\|} \right) \left( 1 - \nu(A) \frac{\|\delta A\|}{\|A\|} \right)^{-1} \quad (12)$$

Es obvio que, (10) y (11) se deducen de (12) en los casos particulares cuando  $\delta = 0$  y  $\delta A = 0$ , respectivamente. Así, el número de condición  $\nu(A)$  es una medida de la sensibilidad del sistema de ecuaciones lineales, determinada por su matriz, a los errores en las entradas de la matriz y el vector del lado derecho de la ecuación. Además, cuanto mayor sea el número de condición, más fuerte será este efecto y más inestable será el proceso de encontrar una solución para un sistema lineal.

**2.2. Límite inferior para el número de condición.** Según (9), el número de condición  $\nu(A)$  depende de una norma matricial  $\|A\|$  elegida

$$\nu(A) = \|A\| \|A^{-1}\| \quad (13)$$

Notemos que

$$\nu(A) = \|A\| \|A^{-1}\| \geq \|AA^{-1}\| = \|E\| \geq \|E\|_2 = 1 \quad (14)$$

donde  $E$  es la matriz identidad, y

$$\|A\|_2 = \max_{\|\vec{x}\|=1} \langle \vec{Ax}, \vec{Ax} \rangle^{1/2} \quad (15)$$

se llama norma espectral de  $A$ .

Así,  $\nu(A) \geq 1$  y  $\nu(A)$  no puede ser menor que uno en ninguna norma matricial. Para una computadora específica, también puede especificar el límite superior, cuyo exceso puede llevar a decisiones deliberadamente

falsas: la solución se considera no confiable si  $\nu(A) \geq \delta^{-1}$  o incluso  $\nu(A) \geq \delta^{-1/2}$ , donde  $\delta$  es un único error de redondeo (precisión de la computadora). Es importante tener en cuenta que el escalamiento de la matriz  $A$  multiplicándola por un escalar no cambia su número de condición.

**Ejemplo 6.** Especificamos el número de condición de una matriz simétrica, no singular  $A$  usando la norma espectral (15). Ya que  $A$  es simétrica, (15) se convierte en

$$\|A\|_2 = \max_{1 \leq i \leq n} |\lambda_i(A)|$$

donde  $\lambda_i(A)$  es un eigenvalor de la matriz  $A$ . Como  $(A^{-1})^T = (A^T)^{-1} = A^{-1}$ , la matriz inversa también es simétrica. Además,

$$\begin{aligned} \|A^{-1}\|_2^2 &= \max_{\|\bar{x}\|=1} \langle A^{-1}\bar{x}, A^{-1}\bar{x} \rangle = \left\{ \min_{\|\bar{x}\|=1} \langle A^{-1}\bar{x}, A^{-1}\bar{x} \rangle \right\}^{-1} \\ &= \left\{ \min_{\|\bar{y}\|=1} \langle A\bar{y}, A\bar{y} \rangle \right\}^{-1} = \left\{ \min_{\|\bar{y}\|=1} \langle A^2\bar{y}, \bar{y} \rangle \right\}^{-1} = \frac{1}{\min_{1 \leq i \leq n} |\lambda_i(A)|^2} \end{aligned}$$

Así, el número de condición de una matriz simétrica  $A$  en la norma espectral es

$$\nu_2(A) = \max_{1 \leq i \leq n} |\lambda_i(A)| / \min_{1 \leq i \leq n} |\lambda_i(A)| \quad (16)$$

y se llama *número de condición espectral* de  $A$ . La fórmula (16) es válida para cualquier matriz normal ( $AA^* = A^*A$ ) no singular ( $\det A \neq 0$ ).

En el caso particular cuando

$A = \text{diag}\{d_1, d_2, \dots, d_n\}$  es una matriz diagonal,

$$\nu_2(A) = \max_{1 \leq i \leq n} |d_i| / \min_{1 \leq i \leq n} |d_i|. \blacksquare$$

**Ejemplo 7.** Demostramos que cualquier matriz unitaria  $n \times n$  es perfectamente condicionada en la norma espectral. En efecto, sea  $U$  una matriz unitaria, es decir,  $UU^{-1} = E$ . Es bien conocido que en la norma euclidiana,

$$\|\bar{x}\| \equiv |\bar{x}| = |U\bar{x}| \equiv \|U\bar{x}\|$$

para cualesquier  $\bar{x}$  y matriz unitaria  $U$  (Skiba, 2005). Por lo tanto, la norma espectral de  $U$  y de su matriz inversa  $U^{-1} = U^*$  son iguales a uno. Así, el número de condición espectral de  $U$  es

$$\nu(U) \equiv \nu_2(U) = \|U\|_2 \|U^{-1}\|_2 = 1 \quad (17)$$

Sin embargo, si  $\nu(U)$  de una matriz unitaria  $U$  de orden  $n$  se estima en la norma de Frobenius,

$$\|U\|_F = \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |u_{ij}|^2 \right)^{1/2},$$

entonces el número de condición  $\nu_F(U)$  ya depende del orden de  $U$ :

$$\nu_F(U) = \|U\|_F \|U^{-1}\|_F = n \quad (18)$$

En efecto (Skiba, 2018),

$$\|U\|_F = \|UE\|_F = \|E\|_F = \sqrt{n}$$

$$\text{y } \|U^{-1}\|_F = \|U^{-1}E\|_F = \|E\|_F = \sqrt{n} \blacksquare$$

Se puede demostrar que para la norma espectral, la igualdad  $\nu_2(A) = 1$  se cumple si y solo si  $A = \alpha Q$  o  $A = \alpha U$ , donde  $\alpha$  es un número,  $Q$  es una matriz ortogonal y  $U$  es una matriz unitaria.

Sean  $Q$  y  $U$  dos matrices unitarias u

ortogonales. Se deduce de las fórmulas

$$\|A\|_2 = \|QAU\|_2 \quad \text{y} \quad \|A\|_F = \|QAU\|_F$$

que

$$\nu_2(A) = \nu_2(QAU) \quad \text{y} \quad \nu_F(A) = \nu_F(QAU) \quad (19)$$

donde  $\nu_2(A)$  y  $\nu_F(A)$  son los números de condición de una matriz  $A$ , calculados usando la norma espectral y la norma de Frobenius, respectivamente.

Las siguientes desigualdades tienen lugar (Voevodin y Kuznetsov, 1984):

$$\max\left\{\frac{\nu(A)}{\nu(B)}, \frac{\nu(B)}{\nu(A)}\right\} \leq \nu(AB) \leq \nu(A)\nu(B) \quad (20)$$

**Ejemplo 8.** Consideremos la matriz de Hilbert

$$H_n = [h_{ij}] = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} & \dots & \frac{1}{n} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & \dots & \frac{1}{n+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{1}{n} & \frac{1}{n+1} & \dots & \frac{1}{2n-1} \end{bmatrix}, \quad h_{ij} = \frac{1}{i+j-1}. \quad (21)$$

Aparece al minimizar el error  $e$  de aproximación de una función  $f(x)$  en el intervalo  $0 \leq x \leq 1$  por un polinomio algebraico  $\sum_{i=1}^n c_i x^{i-1}$  (Skiba, 2018):

$$e = \int_0^1 \left\{ \sum_{i=1}^n c_i x^{i-1} - f(x) \right\}^2 dx$$

Horn y Johnson (1999) mencionan que el número de condición de  $H_n$  empeora cuando la dimensión  $n$  aumenta y asintóticamente coincide con la función exponencial  $e^{cn}$ , donde la constante  $c$  es aproximadamente igual a 3.5. Por ejemplo,  $\nu_2(H_n)$  crece como  $e^{3.5n}$ :

$$\nu_2(H_3) \approx 5 \cdot 10^2, \quad \nu_2(H_6) \approx 1.5 \cdot 10^7, \quad \nu_2(H_8) \approx 1.5 \cdot 10^{10},$$

Notemos que la norma de Frobenius  $\|H_n\|_F$  tiende a infinito cuando  $n$  aumenta, ya que

$$\|H_n\|_F^2 \geq \sum_{k=1}^n \frac{1}{k},$$

y la serie del lado derecho diverge. Sin embargo, para el radio espectral  $\rho(H_n) = \max_{1 \leq i \leq n} |\lambda_i(A)|$  de la matriz de Hilbert es válida la estimación

$$\rho(H_n) = \pi + O\left(\frac{1}{\log n}\right) \quad \text{cuando } n \rightarrow \infty.$$

Así, a pesar de que los elementos de la matriz (21) son uniformemente acotados en  $n$ , y su radio espectral no es grande, la matriz es mal condicionada cuando  $n$  es grande. El hecho es

que  $H_n$  es simétrica y, según (16), su número de condición espectral es

$$\nu_2(H_n) = \rho(H_n) / \min_i |\lambda_i(H_n)|$$

Entonces el valor propio del módulo más pequeño  $\min_{1 \leq i \leq n} |\lambda_i(H_n)|$  de la matriz de Hilbert tiende a cero cuando  $n \rightarrow \infty$ . ■

**2.3. Equivalencia de los números de condición.** En virtud de la equivalencia de dos normas matriciales arbitrarias (Skiba, 2005), se cumplen desigualdades

$$C \|A\|_p \leq \|A\|_q \leq K \|A\|_p \quad (22)$$

para cualquier matriz  $A$ , donde  $C$  y  $K$  son dos constantes universales positivas que dependen solo de las normas elegidas  $\|\cdot\|_p$  y  $\|\cdot\|_q$ , y no dependen de  $A$ . Se deduce de (22) la equivalencia de los números de condición

$$C^2 \nu_p(A) \leq \nu_q(A) \leq K^2 \nu_p(A) \quad (23)$$

donde  $C$  y  $K$  son las constantes de (22). Así, los números de condición de una matriz  $A$  calculados en dos normas diferentes, también son equivalentes, es decir, si  $A$  es bien (o mal) condicionada en una norma y las constantes  $C$  y  $K$  no son enormes o muy pequeñas, entonces, según (23),  $A$  también es bien (mal) condicionada en otra norma.

### 3. Estimación del número de condición

Como sabemos ahora, el número de condición  $\nu(A) = \|A\| \|A^{-1}\|$  de la matriz  $A$  es un indicador importante de la estabilidad de la solución del sistema (1). A pesar de que es muy útil conocer esta característica, su cálculo no es trivial, ya que el factor  $\|A^{-1}\|$  está desconocido, ya que la matriz inversa  $A^{-1}$  es desconocida. De hecho, el cálculo de la matriz inversa  $A^{-1}$  resuelve el problema (1), ya que formalmente  $\bar{x} = A^{-1} \bar{b}$ . Por lo tanto, el cálculo del número de condición



utilizando su definición, requeriría mucho más trabajo que el cálculo de la solución en sí misma, cuya precisión debe evaluarse. En este sentido, en la práctica, el número de condición se estima económicamente como un subproducto del proceso de solución del sistema (1).

En virtud de lo anterior, es deseable contar con un conjunto de métodos para la estimación aproximada del número de condición. Ahora consideramos algunos de estos métodos.

**Ejemplo 9.** Calculemos el número de condición de la matriz triangular de Toeplitz

$$T = \begin{bmatrix} 2 & -1 & \dots & 0 & 0 \\ -1 & 2 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 2 & -1 \\ 0 & 0 & \dots & -1 & 2 \end{bmatrix} \quad (24)$$

de orden  $n$ . La matriz es simétrica y definida positiva, es decir, todos sus eigenvalores son positivos. Es bien conocido que los eigenvalores de  $T$  se hallan mediante la fórmula

$$\lambda_k(T) = 2\left(1 + \cos \frac{k\pi}{n+1}\right) = 2(1 + \cos kh) \quad (25)$$

donde  $h = \pi / (n+1)$  (Smith, 1978). Ya que  $\cos(n+1)h = \cos\pi = -1$ , y, por lo tanto,  $\cos nh = \cos n\pi / (n+1) = -\cos h$ . Usando (25) obtenemos

$$\begin{aligned} \min_{1 \leq i \leq n} |\lambda_i(T)| &= \lambda_n(T) = 2(1 - \cos h) \\ \max_{1 \leq i \leq n} |\lambda_i(T)| &= \lambda_1(T) = 2(1 + \cos h) \end{aligned} \quad (26)$$

Según (16), tenemos

$$\nu_2(T) = \frac{1 + \cos h}{1 - \cos h} \quad (27)$$

Si  $h$  es pequeño, entonces  $\cos h \approx 1 - h^2 / 2$ , y

$$\nu_2(T) = \frac{4 - h^2}{h^2} = O(h^{-2}), \quad (28)$$

es decir, la matriz de Toeplitz (24) es bien condicionada si, por ejemplo,  $h = 10^{-3}$  y el error de redondeo de la computadora es  $10^{-10}$ . Matrices de Toeplitz surgen a menudo al aproximar el problema unidimensional de contorno para el operador de Laplace. ■

### 3.1. Determinante y el número de condición.

Es preciso notar que el determinante y el número de condición son dos características matriciales bastante independientes. Los siguientes dos ejemplos muestran que  $\nu(A)$  es un mejor criterio para estimar la degeneración de matrices cuadradas que el determinante.

**Ejemplo 10.** Consideremos la matriz diagonal  $D_n = \text{diag}(10^{-1}, 10^{-1}, \dots, 10^{-1})$  del orden  $n$ . Es perfectamente condicionada, ya que, según (16),  $\nu_2(D_n) = 1$  para cualquier  $n$ . Sin embargo,  $\det(D_n) = 10^{-n}$ , es decir, el determinante tiende a cero al aumentar  $n$ . Así, una matriz casi singular puede ser perfectamente condicionada. ■

**Ejemplo 11.** Sea  $aQ$  una matriz ortogonal de orden  $n$ , donde  $a$  es un número. Entonces

$$\det(aQ) = a^n \det Q = \pm a^n,$$

es decir, el determinante de la matriz  $aQ$  puede ser arbitrariamente pequeño (si  $|a| < 1$ ) o grande (si  $|a| > 1$ ), aunque la matriz  $aQ$  es perfectamente condicionada. ■

### 3.2. Estimación del número $\nu(A)$ desde

**abajo.** Ahora escribimos un método que usa la desigualdad (10) y estima el número de condición  $\nu(A)$  de la matriz  $A$  desde abajo, es decir, a veces permite demostrar que este número es enorme.

**Ejemplo 12.** Consideremos la matriz

$$A = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & \dots & -1 & -1 \\ 0 & 1 & -1 & \dots & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & -1 & -1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (29)$$

del orden  $n$ , cuyo determinante es uno. Demostremos que  $A$  es mal condicionada. Examinemos el sistema (1) con la matriz (29) y el vector columna  $\vec{b} = (-1, -1, \dots, -1, 1)^T$  con todas sus componentes iguales a  $-1$ , excepto la última componente que es uno. En una forma más detallada, este sistema tiene el aspecto siguiente:

$$\begin{aligned} x_1 - x_2 - x_3 - \dots - x_n &= -1 \\ x_2 - x_3 - \dots - x_n &= -1 \\ \dots & \\ x_{n-1} - x_n &= -1 \\ x_n &= 1 \end{aligned} \quad (30)$$

El sistema (30) tiene la única solución  $\vec{x} = (0, 0, \dots, 0, 1)^T$  que se puede obtener fácilmente mediante la sustitución regresiva.

Supongamos ahora que en la sustitución regresiva usada para resolver el sistema (30) se ha cometido un solo error: en lugar del número  $b_n = 1$  se ingresó el número  $b_n = 1 + \delta$ , donde  $\delta > 0$  es muy pequeño en comparación con la unidad. Entonces, en vez de la solución exacta  $\vec{x} = (0, 0, \dots, 0, 1)^T$  del sistema (30) obtendremos la solución perturbada  $\vec{x} + \vec{\varepsilon}$  del sistema  $A(\vec{x} + \vec{\varepsilon}) = \vec{b} + \vec{\delta}$ , donde  $\vec{\delta} = (0, 0, \dots, 0, \delta)^T$  y el error  $\vec{\varepsilon} = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n)^T$  satisface el sistema lineal

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 - \varepsilon_2 - \varepsilon_3 - \dots - \varepsilon_n &= 0 \\ \varepsilon_2 - \varepsilon_3 - \dots - \varepsilon_n &= 0 \\ \dots & \\ \varepsilon_{n-1} - \varepsilon_n &= 0 \\ \varepsilon_n &= \delta \end{aligned} \quad (31)$$

De aquí obtenemos

$$\varepsilon_n = \delta, \varepsilon_{n-1} = \delta, \varepsilon_{n-2} = 2\delta, \dots, \varepsilon_{n-k} = 2^{k-1}\delta, \dots, \varepsilon_1 = 2^{n-2}\delta$$

Usando la  $\infty$ -norma vectorial, a saber,

$$\|\vec{x}\|_\infty = \max_{1 \leq i \leq n} |x_i|, \quad \text{obtenemos}$$

$$\|\vec{\varepsilon}\|_\infty = 2^{n-2}\delta, \|\vec{x}\|_\infty = 1, \|\vec{\delta}\|_\infty = \delta, \|\vec{b}\|_\infty = 1 \quad (32)$$

y según (10),

$$v_\infty(A) \equiv \|A\|_\infty \|A^{-1}\|_\infty \geq \frac{\|\vec{\varepsilon}\|_\infty / \|\vec{x}\|_\infty}{\|\vec{\delta}\|_\infty / \|\vec{b}\|_\infty} = 2^{n-2} \quad (33)$$

Por ejemplo, si  $n = 102$  (el orden de la matriz es bastante pequeño), (33) lleva a  $v_\infty(A) \geq 2^{100} > 10^{30}$ , es decir, la matriz es mal condicionada. Además, según (32),  $\|\vec{\varepsilon}\|_\infty = 2^{100}\delta > 10^{30}\delta$ .

Particularmente, supongamos que el único error cometido en la sustitución regresiva es muy pequeño:  $\delta = 10^{-15}$ . Sin embargo, el error cometido en la solución es enorme:  $\|\vec{\varepsilon}\|_\infty > 10^{15}$  (en comparación con  $\|\vec{x}\|_\infty = 1$ ). ■

### 3.3. Estimación del número $v(A)$ desde arriba.

Consideremos ahora otro método que tiene la aplicación limitada, pero permite fácilmente evaluar el número de condición  $v(A) = \|A\| \|A^{-1}\|$  desde arriba y, por lo tanto, es muy útil para demostrar que la matriz de un sistema es bien condicionada.

Sea  $A\vec{x} = \vec{b}$  un sistema para resolver. Introducimos otra matriz,  $B = E - A$ , y representamos el sistema original como

$$\vec{x} = B\vec{x} + \vec{b} \quad (34)$$

El método que describimos ahora es válido sólo para un grupo de las matrices  $A$  que satisfacen la condición

$$\|B\| = \|E - A\| < 1 \quad (35)$$

en una norma matricial. A condición de que (35) se cumple, el problema (34) tiene una solución única  $\vec{x}_*$  y

$$\|\vec{x}_*\| \equiv \|A^{-1}\vec{b}\| \leq \frac{\|\vec{b}\|}{1 - \|B\|} \quad (36)$$

para cualquier vector  $\vec{b}$ . El denominador en (36) es positivo debido a (35). Al usar la norma matricial subordinada se obtiene

$$\|A^{-1}\| = \max_{\vec{b} \neq 0} \frac{\|A^{-1}\vec{b}\|}{\|\vec{b}\|} \leq \frac{1}{1 - \|B\|}$$

Por otro lado,

$$\|A\| = \|E - B\| \leq \|E\| + \|B\| < 1 + \|E\|. \text{ Entonces,}$$

según (9),

$$\nu(A) = \|A\| \|A^{-1}\| \leq \frac{1 + \|E\|}{1 - \|B\|} \quad (37)$$

**Ejemplo 13.** Evaluamos el número de condición de la matriz  $A = E - B$ , donde

$$b_{ij} = \frac{0.8}{n} \cdot (-1)^{i+j}, \quad 1 \leq i, j \leq n \quad (38)$$

son los elementos de la matriz  $B$ . Tenemos

$$\|B\|_{\infty} \equiv \max_i \sum_{j=1}^n |b_{ij}| = \sum_{j=1}^n \left| \frac{0.8}{n} \right| = 0.8$$

y también,

$$\|B\|_2 \leq \|B\|_F \equiv \left( \sum_{j=1}^n b_{ij}^2 \right)^{1/2} = 0.8$$

Por lo tanto, la condición (35) se cumple tanto en la norma espectral como en la norma de

Frobenius. Entonces, de acuerdo con la fórmula (37),

$$\nu(A) = \nu(E - B) \leq \frac{1 + 1}{1 - 0.8} = 10$$

Así, el número de condición de la matriz  $A$  es pequeño, es decir,  $A$  es bien condicionada. ■

**3.4. Simetrización de un sistema de ecuaciones.** Consideremos el sistema (1) con una matriz normal no singular  $A$ . Tratando de mejorar la estructura de la matriz del sistema, se puede transformar (1) al sistema

$$A^* A \vec{x} = A^* \vec{b} \quad (39)$$

con la matriz hermitiana  $A^* A$ . Sin embargo, es válida la siguiente afirmación:

**Teorema 1.** La simetrización de una matriz  $A$  del sistema (1) sólo aumenta el número de condición de la matriz  $A^* A$  del sistema nuevo (39):

$$\nu_2(A^* A) \geq \nu_2(A) \quad (40)$$

**Demostración** (véase, por ejemplo, Skiba, 2018). Ya que  $A$  es normal entonces, según el teorema general de factorización, existen matrices unitarias  $U, V$  y una matriz diagonal  $D = \text{diag}\{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n\}$  tales que

$$A = VDU^* = VDU^{-1}$$

donde  $\mu_i = \sqrt{\lambda_i(A^* A)} \geq 0$  son los números singulares de la matriz  $A$ . Por lo tanto,

$$A^* = UDV^*, \quad A^{-1} = UD^{-1}V^* \\ \text{y} \quad (A^*)^{-1} = VD^{-1}U^*.$$

Así pues,

$$A^* A = UDV^*VDU^* = UD^2U^*, \\ (A^* A)^{-1} = A^{-1}(A^*)^{-1} = UD^{-1}V^*VD^{-1}U^* = UD^{-2}U^*$$

Las transformaciones unitarias no cambian la norma espectral de una matriz y, por lo tanto,

$$\nu_2(A) = \|A\|_2 \|A^{-1}\|_2 = \|VDU^*\|_2 \|UD^{-1}V^*\|_2 = \|D\|_2 \|D^{-1}\|_2$$

Al tomar en cuenta las ecuaciones

$$\begin{aligned} \nu_2(A^*A) &= \|A^*A\|_2 \|(A^*A)^{-1}\|_2 = \|UD^2U^*\|_2 \|UD^{-2}U^*\|_2 \\ &= \|D^2\|_2 \|D^{-2}\|_2 = \|D\|_2^2 \|D^{-1}\|_2^2 \end{aligned}$$

y la desigualdad  $\nu_2(A) \geq 1$  (véase (14)) se obtiene

$$\nu_2(A^*A) = \|D\|_2^2 \|D^{-1}\|_2^2 = \nu_2^2(A) \geq \nu_2(A) \quad \blacksquare$$

En la demostración de la desigualdad (40) se usa la norma espectral de las matrices. Pero, en la realidad, solo se usa la propiedad de que las transformaciones unitarias no cambian la norma espectral. Ya que las transformaciones unitarias tampoco cambian la norma de Frobenius, se obtiene

$$\nu_F(A^*A) \geq \nu_F(A). \quad (41)$$

Así, la simetrización de la matriz  $A$  del sistema (1) sólo aumenta el número de condición de la matriz  $A^*A$  del sistema nuevo (39), lo que hace que su solución sea aún más sensible a los errores en los elementos de la matriz  $A$  y las componentes del vector  $\vec{b}$ , como se muestra el siguiente ejemplo.

**Ejemplo 14.** Consideremos el sistema

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 2 & 2.01 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \\ 4 \end{bmatrix} \quad (42)$$

cuya matriz no es simétrica. La solución es  $(x, y) = (2, 0)$ . Perturbamos ahora la última componente del vector  $\vec{b}$  del sistema (42) con un error pequeño 0.01:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 2 & 2.01 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \\ 4.01 \end{bmatrix} \quad (43)$$

La solución del sistema perturbado (43) cambia drásticamente:  $(x, y) = (1, 1)$ , es decir, la matriz del sistema (42) es mal condicionada, y su solución es inestable. Después de la simetrización el sistema (42) acepta la forma

$$\begin{bmatrix} 5 & 5.02 \\ 5.02 & 5.0401 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10 \\ 10.04 \end{bmatrix} \quad (44)$$

Por supuesto, tiene la misma solución que (42):

$(x, y) = (2, 0)$ . Ahora introducimos el mismo error (0.01 en el sistema (43)) en la parte derecha del sistema (44):

$$\begin{bmatrix} 5 & 5.02 \\ 5.02 & 5.0401 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10 \\ 10.05 \end{bmatrix} \quad (45)$$

La solución del sistema perturbado (45) ya es  $(x, y) = (-500, 500)$ . La comparación de las soluciones  $(x, y) = (1, 1)$  y  $(x, y) = (-500, 500)$  de dos sistemas perturbados (43) y (45) con la solución exacta  $(x, y) = (2, 0)$  muestra que el sistema simetrizado (44) está mucho más inestable que el sistema original (42). ■

#### 4. Conclusiones

Este artículo analiza una característica importante de un sistema de ecuaciones algebraicas lineales  $A\vec{x} = \vec{b}$ . La característica está asociada con la matriz  $A$  del sistema y se denomina número de condición de la matriz. Este es el principal indicador de la estabilidad de la solución del sistema con respecto a pequeños errores en la matriz  $A$  y el vector  $\vec{b}$ . Dicha inestabilidad crece junto con el número de condición de la matriz. Si la matriz  $A$  es mal condicionada, entonces es prácticamente imposible encontrar su solución con suficiente precisión, siempre que los cálculos se realicen en presencia de errores (al menos errores de

redondeo). Se muestra que el número de condición no depende del valor del determinante de  $A$ . También se demuestra que la simetrización de la matriz  $A$  solo puede empeorar su número de condición. En el trabajo, se consideran métodos para calcular o evaluar esta importante característica del sistema.

### Agradecimientos

Esta investigación fue apoyada por la beca 14539 del Sistema Nacional de Investigadores (SNI-CONACyT, México).

### Referencias

Ciarlet, P.G., *Introduction to Numerical Linear Algebra and Optimization*. Cambridge, Cambridge University Press, 1995.

Forsythe, G.E., Malcolm, M.A. and Moler, C.B., *Computer Methods for Mathematical Computations*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1977.

Horn, R.A. and Johnson, Ch.R., *Matrix Analysis*. Cambridge, Cambridge University Press, 1999.

Kahan, W., Numerical linear algebra, Canadian Math. Bulletin, 9, pp. 757-801, 1966.

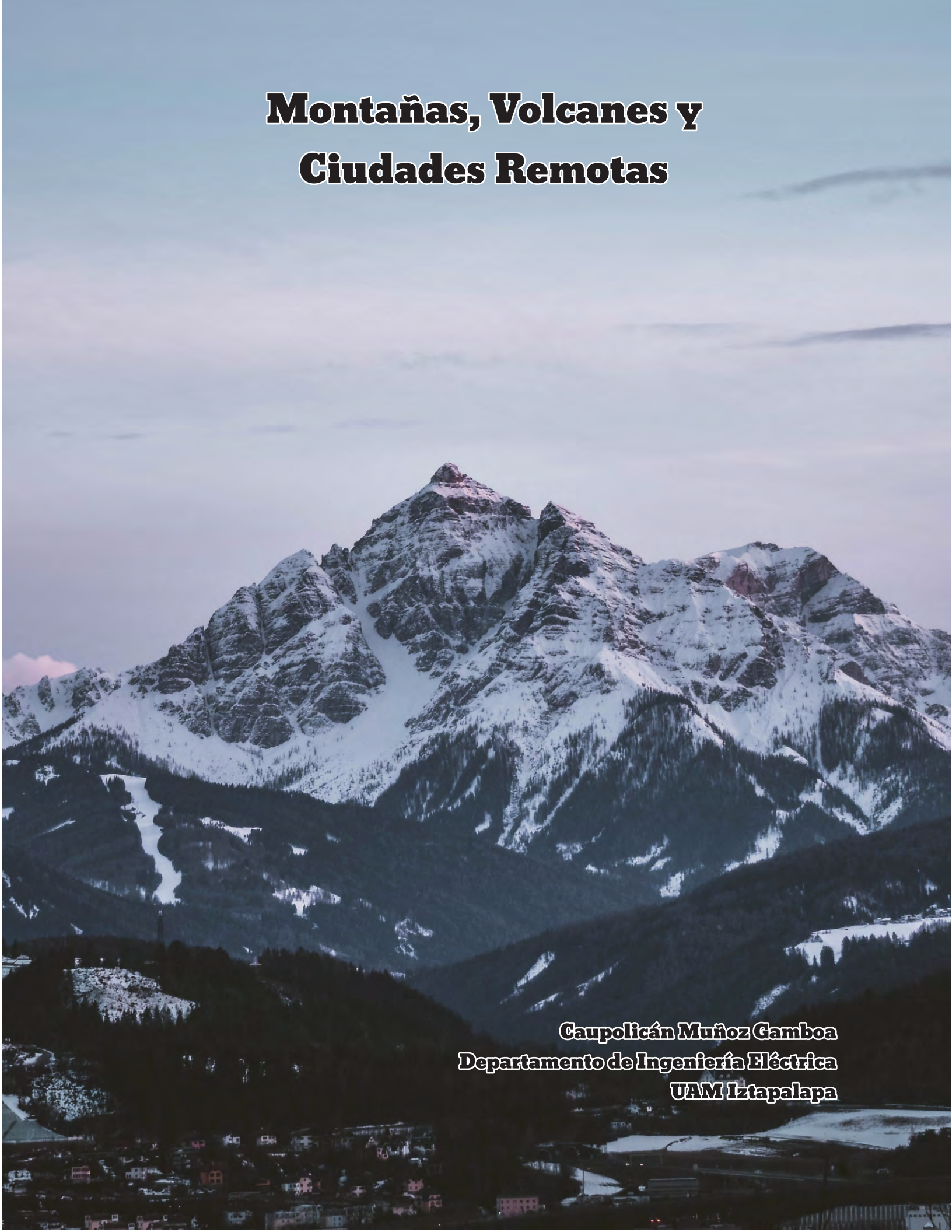
Maubach J.M., *Numerical Methods in Scientific Computing*. University of Pittsburgh, 2005.

Skiba, Yu.N., *Métodos y Esquemas Numéricos. Un Análisis Computacional*. México, Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial, La Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2005.

Skiba, Yu.N., *Fundamentos de los Métodos Computacionales en Álgebra Lineal*. Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial, La Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2018.

Voevodin, V.V. and Kuznetsov, Yu.A., *Matrices and Calculations*. Moscow, Nauka, 1984 (en ruso).

# **Montañas, Volcanes y Ciudades Remotas**



**Caupolicán Muñoz Gamboa**  
**Departamento de Ingeniería Eléctrica**  
**UAM Iztapalapa**

## Resumen

Se presenta un panorama general de algunos accidentes geográficos relevantes por su ubicación o altitud que se encuentran situados en lugares especiales de nuestro planeta. Se incluyen distintas características extremas relacionadas con las alturas de montañas y volcanes, pero especialmente de los asentamientos humanos que se han apostado en pueblos y ciudades remotas, destacando las condiciones particulares de ellos. En esta forma se obtiene una descripción de algunos de los lugares más relevantes del planeta con el propósito de destacar esta información y presentarla en forma descriptiva. Para completar el contenido se incluyen las coordenadas de algunos de estos sitios para que puedan ser utilizadas por los lectores interesados.

## Summary

An overview of some of the relevant geographical features due to their location or altitude that are located in special places of our planet is presented. Different extreme characteristics related to the heights of mountains and volcanoes are included, especially of the human settlements that have been stationed in remote towns and cities, highlighting the particular conditions of them. In this way a description of some of the most relevant places on the planet is obtained in order to highlight this information and present it in a descriptive way. To complete the content coordinates of some of these sites are included so that they can be used by interested readers.

## Introducción

La geografía de nuestro planeta nos puede sorprender de muchas maneras a pesar de las ideas preconcebidas que podamos tener acerca de ella. Aunque consideremos a la Tierra como un sitio ideal para vivir, la verdad es que en muchos lugares se presentan condiciones extremas por lo que la flora y la fauna, así como los asentamientos humanos se ven muy limitados. No solamente debido a los máximos y mínimos valores de temperatura que se

experimentan en determinadas zonas, sino también respecto de la abundancia o escasez de agua líquida y de las alturas sobre el nivel del mar y su correspondiente falta de oxígeno que es vital para la vida. A pesar de todo, existen comunidades y pueblos que han elegido dichas condiciones extremas para vivir, por lo que en varios de estos puntos y a pesar de sus difíciles condiciones, se localizan asentamientos humanos exitosos.

La geografía de nuestro planeta incluye muchos accidentes topográficos de grandes magnitudes, empezando porque la Tierra tiene aproximadamente la forma de un esferoide oblato o elipsoide de revolución (el que se obtiene por rotación de una elipse alrededor de su eje más corto). Por eso se dice comúnmente que es una esfera achatada por los polos que no tiene una superficie perfectamente esférica ya que la distancia o diámetro entre los polos es de unos 12714 km, en tanto que en el ecuador dicha distancia resulta ser mayor por unos 40 km.

Lo anterior implica que según los expertos el punto más cercano al centro de la Tierra sería el fondo del océano Ártico (cerca del Polo Norte) que se encuentra a una distancia de 6354 km de éste, unos 4 km bajo el nivel del mar. Lo anterior es a pesar de que la Fosa de las Marianas (11° 21' 00" N, 142° 12' 00" E) presenta una profundidad de 11 km, pero está a 6366 km de este centro, o sea unos 12 km más distante. En el sentido contrario, resulta que el punto más alejado del centro de la Tierra es la cima del Monte Chimborazo (01° 28' 09" S, 78° 49' 01" O), que con solo 6268 msnm está a 6384 km del centro (figura 1), en tanto que la cima del Everest<sup>1</sup> (27° 59' 17" N, 86° 55' 31" E) con sus 8884 msnm está solamente a 6382.3 km del centro de la Tierra, unos 2 km más abajo (figura 2). Lo anterior es posible debido a la forma del planeta, ya que incluso el nivel del mar no se encuentra a la misma distancia del centro de la Tierra en todo el globo, por lo que es solamente una referencia relativa.

<sup>1</sup>El Monte Everest está situado en la frontera entre Nepal y China, por lo que su nombre occidental es controvertido ya que en Nepal se le conoce como Sagarmāthā (*La Frente del Cielo*), en el Tíbet como Qomolangma (*Madre del Universo*) y en China como Zhūmùlāngmǎ Fēng (*Pico Chomolungma*).



Figura 1 Volcán Chimborazo.



Figura 2 Monte Everest.

### Montañas

Las montañas se encuentran raramente aisladas porque se sitúan más comúnmente en grandes sistemas montañosos, razón por la cual las más importantes se encuentran en Asia, en la cadena del Himalaya, cumbres que abarcan una extensión de más de 2000 km incluyendo todo el sistema, el que comprende Bután, La India, Nepal, Pakistán y El Tíbet. En este complejo de altas cúspides está el Monte Everest, ya mencionado, que es considerado el más alto del mundo con sus 8848 msnm, por lo que destaca entre catorce que superan los 8000 msnm, sin contar los picos secundarios, montañas que los alpinistas del mundo sueñan con escalar<sup>2</sup>. En los picos de estos sistemas montañosos existen innumerables glaciares, como el Siachen ( $35^{\circ} 32' 26''$  N,  $76^{\circ} 57' 05''$  E), que con 76 km de largo es el segundo más largo de las áreas no polares

del mundo, estando actualmente bajo administración de la India desde 1984 después de un conflicto con Paquistán. Está en la cordillera oriental de Karakórum<sup>3</sup>, en el Himalaya de donde baja desde una altitud de 5753 msnm hasta 3620 msnm.

El honor de ser el más extenso de las áreas no polares del mundo le corresponde al Glaciar Fedchenko ( $38^{\circ} 46' 01''$  N,  $72^{\circ} 16' 59''$  E) un poco más largo con 77 km de longitud y cubriendo 700 km<sup>2</sup> en las montañas Pamir al norte de Tayikistán desde donde desciende de los 6200 msnm y concluye a 2900 msnm para alimentar con las aguas del deshielo al Río Balandkiik. A su vez, en la Antártida se encuentra el glaciar Lambert con 100 km de ancho, más de 400 km de largo y cerca de 2500 metros de profundidad por lo que resulta ser ampliamente el glaciar más grande del mundo.

En nuestra América existen varios cordones montañosos, entre los que se cuentan la Cordillera de Alaska, las Montañas Rocosas, las Sierras de México y la Cordillera de los Andes. En Alaska destacan, de 6168 msnm, el Monte McKinley ( $63^{\circ} 04' 10''$  N,  $151^{\circ} 00' 22''$  O) rebautizado desde agosto de 2015 como Monte Denali (*el Grande*, en lengua atabascana) y en el Yukón (Canadá) con 5959 msnm, el Monte Logan ( $60^{\circ} 34' 01''$  N,  $140^{\circ} 24' 19''$  O).

Por su parte, las Montañas Rocosas se extienden por más de 4500 km desde el norte de Columbia Británica, en Canadá, hasta Nuevo México, en Estados Unidos, donde la cima de mayor altitud es el Monte Elbert con 4401 msnm ( $39^{\circ} 07' 4.1''$  N,  $106^{\circ} 26' 42.8''$  O). En cuanto a México, en la Sierra Volcánica se encuentran el Pico de Orizaba o Citlaltépetl ( $19^{\circ} 01' 49.2''$  N,  $97^{\circ} 16' 5.2''$  O), con 5610 msnm y el Volcán Popocatépetl ( $19^{\circ} 01' 20.7''$  N,  $98^{\circ} 37' 40.4''$  O), con 5500 msnm (figura 3). En América del Sur, la Cordillera de Los Andes se extiende por más de 7500 km desde Venezuela hasta el sur de Chile y Argentina, donde sus cumbres nevadas terminan sumergiéndose en el mar. Sus dos

<sup>2</sup>De hecho, la mayor parte de las cumbres más altas del mundo que superan los 7000 msnm, las que totalizan más de 100 incluyendo los picos secundarios, se encuentra en el complejo montañoso del Himalaya.

<sup>3</sup>Los nombres de muchos complejos montañosos, glaciares, volcanes, montañas, lagos o lugares del mundo no están estandarizados, ya que son de otros idiomas y no siempre se han traducido o no existe una equivalencia universalmente aceptada en español.



picos más altos son el Cerro Aconcagua ( $32^{\circ} 39' 11.4''$  S,  $70^{\circ} 00' 39''$  O), con 6961 msnm y el Nevado Ojos del Salado ( $27^{\circ} 06' 33''$  S,  $68^{\circ} 32' 27''$  O), con 6891 msnm.



Figura 3 Volcán Popocatepetl.

En el Cáucaso se localizan las mayores cimas de Europa, destacándose entre ellas al Monte Elbrús ( $43^{\circ} 21' 00''$  N,  $42^{\circ} 26' 43''$  E), un estrato volcán con 5642 msnm, el que además cuenta con otras dos cimas con pocas diferencias de altura: Elbrús Este con 5621 y Elbrús Sudoeste con 5600 msnm. En Europa central se yerguen Los Alpes, como la segunda más importante cadena montañosa del continente, donde sobresale el Mont Blanc ( $45^{\circ} 49' 57.4''$  N,  $06^{\circ} 51' 54.6''$  E) con 4810 msnm, acompañado de otras cumbres, siendo el Matterhorn ( $45^{\circ} 58' 35''$  N,  $07^{\circ} 39' 32''$  E), uno de los más conocidos por su espectacular forma de pirámide, el que con 4478 msnm se localiza en la frontera entre Suiza e Italia por lo que también es llamado Monte Cervino. Los Alpes abarcan varios países, entre los que se encuentran Alemania, Austria, Eslovenia, Francia, Italia y Suiza, lo que implica que en sus laderas se han establecido históricamente diferentes asentamientos humanos debido a que las tierras colindantes son fértiles y disponen del agua de ríos y lagos. A su vez en la Antártida destaca el Macizo Vinson ( $78^{\circ} 38' 2.6''$  S,  $85^{\circ} 12' 48.5''$  O), con 4892 msnm, como la mayor altura, situado en la Cordillera Sentinel de los Montes Ellsworth. En África se encuentran el famoso Kilimanjaro ( $03^{\circ} 04' 00''$  S,  $37^{\circ} 21' 33''$  E) con 5892 msnm en

Tanzania casi en la frontera con Kenia, y el Monte Kenia ( $00^{\circ} 09' 7.7''$  S,  $37^{\circ} 18' 30.3''$  E), con 5199 msnm en Kenia. Finalmente, en Oceanía se levanta el Puncak Jaya ( $04^{\circ} 04' 43.5''$  S,  $137^{\circ} 09' 34.2''$  E), con 4884 msnm, en Nueva Guinea.

Cabe destacar que así como para los alpinistas son muy importantes las montañas de más de 8000 msnm, llamados comúnmente los *ochomiles* (*eight-thousanders*) de los cuales hay 14 en el mundo, también es importante el conjunto de las siete más altas, pero una de cada continente, conocidas como las siete cumbres (*seven submit*) aunque, exceptuando el Everest, no se encuentran entre las más altas del mundo. Ellas son:

1. En África, el Kilimanjaro en el macizo del Kilimanjaro (5892 msnm),
2. En América del Norte, el Monte Denaly (McKinley) en la Cordillera de Alaska (6168 msnm),
3. En América del Sur, el Cerro Aconcagua en la Cordillera de los Andes (6961 msnm),
4. En Antártida, el Monte Vinson en los Montes Ellsworth (4892 msnm),
5. En Asia, el Monte Everest en el Himalaya (8848 msnm),
6. En Europa, el Monte Elbrús<sup>4</sup> en el Cáucaso (5642 msnm), y
7. En Oceanía, el Puncak Jaya en la Cordillera de Nueva Guinea (4884 msnm).

Por último debe destacarse que el punto más bajo de la superficie de la tierra es la costa del Mar Muerto ( $31^{\circ} 33' 46''$  N,  $35^{\circ} 29' 27''$  E), ubicado en la frontera entre Israel, Palestina y Jordania que se encuentra a 424 metros bajo el nivel del mar. Es un gran lago salado situado en una depresión tectónica que es alimentado por el Río Jordán (figura 4). Tiene unos 80 km de largo y unos 16 km de ancho, con una superficie de más de 800 km<sup>2</sup>. Sus aguas contienen calcio, magnesio, potasio y bromo, pero a pesar de su fama como lago salado es pobre en sodios, sulfatos y carbonatos, por lo que es muy diferente del agua de mar, además de que en sus orillas hay depósitos de asfalto. Recibe escasa

<sup>4</sup>Aunque el Monte Elbrús (5642 msnm) se encuentra geográficamente en Europa, está en el extremo oriental del continente a sólo unos kilómetros de Asia. Por tal razón hay quienes defienden al Mont Blanc (4810 msnm) como el más alto del continente, a pesar de que su altura es considerablemente menor a la del Monte Elbrús.

agua del río Jordán, lo que unido a la evaporación por el clima extremo de la zona ha hecho que su nivel haya estado disminuyendo paulatinamente en los últimos años.



Figura 4 Río Jordán.

### Volcanes

Muchas de las actuales montañas fueron en su tiempo volcanes muy activos producto de diferentes causas como el movimiento de las placas tectónicas de la tierra, pero que en la actualidad se encuentran apagados o inactivos, aunque en el pasado hayan tenido erupciones importantes. En cuanto a los volcanes que actualmente manifiestan una ligera actividad, esta ocurre a través de fumarolas, explosiones de diversas intensidades, emisión de vapor de agua o ceniza volcánica a veces acompañados expulsión de rocas o de emisión de lava en pequeñas o grandes cantidades. Entre los muchos que están actualmente muy activos, destaca el Kilauea ( $19^{\circ} 24' 25''$  N,  $155^{\circ} 17' 00''$  O) en Hawái, en constante erupción desde 1983, aunque en los últimos años hemos sido testigos de actividad importante de otros volcanes, entre ellos el Monte Etna ( $37^{\circ} 45' 04''$  N,  $14^{\circ} 59' 36''$  E) en Sicilia (figura 5) y el Popocatépetl, aunque ha habido actividad reciente de distintas intensidades en volcanes de Ecuador, Indonesia, Centroamérica, Italia, Sumatra, Japón y Chile, y entre otros países muchos de ellos integrantes del llamado Cinturón de Fuego del Pacífico.



Figura 5 Monte Etna.

Otros volcanes se han hecho muy conocidos debido a su tamaño, porque han formado grandes calderas volcánicas o por su antigua actividad, aunque ahora tengan poca o casi ninguna. Los más destacados son El lago Toba en la Isla Indonesia de Sumatra ( $02^{\circ} 41' 04''$  N,  $98^{\circ} 52' 32''$  E); el Cráter del Yellowstone en Estados Unidos ( $44^{\circ} 24' 44''$  N,  $110^{\circ} 43' 24''$  O); y el Cráter del Ngorongoro en Tanzania ( $03^{\circ} 10' 22''$  S,  $35^{\circ} 34' 38''$  E). El primero es actualmente un enorme lago producto de una gran erupción volcánica producida hace unos 70 000 años, el que contiene en su interior a la gran isla de Samosir. Es de 30 por 100 km por lo que es el más grande de Indonesia y el lago de cráter más grande del mundo. Yellowstone es una gran caldera volcánica de 55 por 72 km que se encuentra situada en Wyoming en el muy conocido Parque Nacional Yellowstone, donde cubre actualmente una enorme extensión de unos 3000 km<sup>2</sup>. Fue declarado Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO en 1978. Presenta una moderada actividad subterránea e hidrotermal que se manifiesta principalmente en géiseres, ya que su última erupción importante data de hace 640 mil años, por lo que es además un destino turístico importante. El Ngorongoro es igualmente una caldera volcánica inactiva de 600 metros de profundidad, que cubre unos 260 km<sup>2</sup>, resultado de un volcán que explotó hace más de dos millones de años. Se encuentra situado al norte de Tanzania en un área declarada Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO en 1979 donde además se concentra una buena

parte de la fauna típica africana. Por último debe recordarse que las Islas del Archipiélago de Santorini (36° 25' 03" N, 25° 23' 39" E) son lo que queda de la gran erupción del volcán del mismo nombre ocurrida hace unos 3000 años (figura 6). El archipiélago conserva aún la forma de la caldera del volcán, la que cubre una superficie de más de 50 km<sup>2</sup>.



Figura 6 Caldera Santorini.

En cuanto a la altitud, el volcán más elevado del mundo es el Ojos del Salado (6893 msnm) ubicado en la Cordillera de los Andes, en el límite entre Argentina y Chile, aunque en Sudamérica hay cerca de cincuenta activos e inactivos que superan los 6000 msnm, casi todos ellos en la Cordillera de los Andes o en Argentina. Por otra parte, algunos de los que son más famosos por razones mitológicas, históricas, turísticas o por su peligrosidad, aunque no son los más elevados del mundo, son los siguientes:

1. Volcán Cotopaxi (00° 41' 1.5" S, 78° 26' 14" O) de 5897 msnm, en Ecuador,
2. Kilimanjaro de 5895 msnm, en Tanzania,
3. Popocatepetl de 5452 msnm, en México,
4. Monte Fuji (35° 21' 45" N, 138° 43' 50" E) de 3776 msnm, en Japón,
5. Monte Etna de 3290 msnm, en Sicilia, Italia,
6. Monte Vesubio (40° 49' 17" N, 14° 25' 32" E) de 1281 msnm, en Italia,
7. Kilauea (1247 msnm), en Hawái, y
8. Krakatoa (06° 06' 10" S, 105° 25' 22" E) de 813 msnm, en Indonesia.

El Cotopaxi (figura 7) es considerado el volcán activo más alto y peligroso del mundo, ya que en los últimos siglos ha experimentado varias erupciones violentas y se encuentra a sólo 60 km de Quito, la capital de Ecuador.



Figura 7 Volcán Cotopaxi.

El Kilimanjaro, declarado Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO en 1987, está formado por tres cráteres con un glaciar en su cima, al que tradicionalmente se le ha rodeado de diversas historias y misticismos. Nuestro vecino Popocatepetl se alza muy cerca de Puebla, México y otras ciudades importantes, por lo que nos ha fascinado por su belleza al mismo tiempo que nos ha demostrado en varias ocasiones su fortaleza mediante breves, pero no pequeñas exhalaciones de ceniza. El Monte Fuji (o Fujiyama, conocido popularmente en occidente como Fujiyama), que se considera activo, resulta ser el pico más alto de Japón, el que ha sido popularmente respetado como sagrado desde la antigüedad y también ha sido un tema muy utilizado en el arte japonés. El Monte Etna cubre una extensión de unos 1200 km<sup>2</sup>, se encuentra actualmente activo y siempre ha estado muy vinculado con la mitología griega, ya que se suponía que en su interior estaban las fraguas de Hefesto, cuya actividad provocaba frecuentes terremotos y erupciones de humo y lava. El Monte Vesubio, es uno de los más peligrosos del mundo ya que sus erupciones son explosivas y en sus proximidades se encuentra Nápoles y otras ciudades donde viven más de tres millones de personas, lo que hace recordar

que fue el culpable de sepultar las ciudades de Pompeya y Herculano. El Kilauea es el más activo del mundo con una erupción continua que implica poco riesgo, lo que lo convierte en un atractivo turístico, tiene una caldera con una profundidad de 165 metros y un diámetro variable entre 3 y 5 km. Finalmente, el Krakatoa es muy activo, por lo que ha sido responsable de varias erupciones devastadoras debido a lo cual se le ha hecho responsable de cambios climáticos globales.

La actividad geológica y otros procesos asociados a la estructura terrestre producen fenómenos terrestres y submarinos similares a los volcanes, aunque se caracterizan por producir emisiones de lodo, como la serie de Volcanes de Lodo del Parque Nacional de Gobustán, en Azerbaiyán ( $40^{\circ} 14' 09''$  N,  $49^{\circ} 07' 32''$  E) declarado Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO en 2007. Allí se encuentran cientos de estas formaciones geológicas las que generan desde emanaciones moderadas hasta fuertes exhalaciones de millones de metros cúbicos de gases y toneladas de lodo y agua, a mucha menor temperatura que los volcanes de lava ardiente, aunque a veces suelen producir intensas llamaradas. Además en el Parque se han encontrado petroglifos, tallas y pinturas rupestres que muestran imágenes de la vida prehistórica en el Cáucaso.

### Los Techos del Mundo

No solamente son destacables los volcanes y las elevadas alturas de las montañas, también se encuentran diversos puntos habitados que se localizan muy por encima de los 3000 msnm. Por ejemplo, La Paz capital de Bolivia ( $16^{\circ} 29' 44''$  S,  $68^{\circ} 08' 14''$  O), está situada en una hondonada excavada en el altiplano por el Río Choqueyapu, por lo que su altura varía entre 3300 y 3800 msnm (figura 8). El centro de la ciudad se ubica a 3500 msnm, por lo que se trata de la metrópoli más alta donde tiene asiento el gobierno de una nación. Asimismo, su aeropuerto, llamado El Alto ( $16^{\circ} 30' 48''$  S,  $68^{\circ} 11' 32''$  O) por razones obvias, se ubica en la

cercana ciudad del mismo nombre a una altura de más de 4000 msnm.



Figura 8 Iglesia de San Francisco, La Paz, Bolivia.

La Paz no es la población más alta del mundo, ya que de acuerdo con la Revista National Geographic Magazine el asentamiento humano más elevado es La Rinconada ( $14^{\circ} 38' 02''$  S,  $69^{\circ} 26' 49''$  O) con más de 30 000 habitantes, en la Región de Puno en Perú a 5100 msnm. Otras ciudades reclamadas como de gran altitud se encuentran en el Tíbet, entre las que se cuentan Tuiwa ( $28^{\circ} 34' 01''$  N,  $90^{\circ} 31' 48''$  E) con 5070 msnm y Wenquan ( $33^{\circ} 13' 47''$  N,  $91^{\circ} 51' 19''$  E) con 4870 msnm, ambas de muy pocos habitantes.

Por otro lado, Lhasa ( $29^{\circ} 39' 11''$  N,  $91^{\circ} 07' 46''$  E) capital administrativa de la Región Autónoma del Tíbet, en China, se encuentra a solamente a 3650 msnm, aunque debido a su altitud y su importancia política suele ser conocida con el apodo de *techo del mundo*. Pero tampoco El Alto es el aeropuerto más elevado, ya que esa distinción le corresponde al aeropuerto de Daocheng Yading ( $29^{\circ} 18' 43''$  N,  $100^{\circ} 03' 48''$  E) en el Tíbet, inaugurado en 2013 a 4411 msnm. Le siguen otros tres también en El Tíbet que igualmente han entrado en operación en años recientes: Qamdo Bangda ( $30^{\circ} 33' 13''$  N,  $97^{\circ} 06' 31''$  E) a 4334 msnm, el aeropuerto Kangding ( $32^{\circ} 06' 09''$  N,  $80^{\circ} 03' 06''$  E) a 4280 msnm y Ngari Gunsa ( $32^{\circ} 06' 31''$  N,  $80^{\circ} 03' 10''$  E) a 4274 msnm. En consecuencia El Alto detenta el quinto lugar. En contraste, en

Amsterdam (Holanda), el aeropuerto de Schiphol (52° 18' 38" N, 04° 46' 06" E) se encuentra a 3 metros bajo el nivel del mar, por lo que es el aeropuerto comercial de menor altitud del mundo.

En contraposición a estas elevadas localidades, Arica (18° 28' 30" S, 70° 18' 52" O) es una ciudad costera del norte de Chile cuyo aeropuerto está ubicado, como puede suponerse, al nivel del mar porque está muy próximo a la costa. Entre Arica y La Paz, Bolivia, hay vuelos internacionales regulares que son relevantes debido a que ambos aeropuertos están a gran diferencia de altura. Por ello, volar de Arica a La Paz implica transportarse desde la costa hasta 4000 msnm en apenas cuarenta minutos de vuelo. Tal situación es muy interesante porque se presta para realizar el sencillo experimento que se describe a continuación cuando se tiene la oportunidad de realizar dicho vuelo.

Una botella de plástico vacía, de las que normalmente contienen agua para beber, se cierra herméticamente en Arica poco antes de abordar el avión. En ese momento se la puede aplastar sin que el aire contenido en el interior ofrezca mucha resistencia, sin embargo, cuando se desembarca en el aeropuerto de El Alto la botella se encuentra sometida a gran presión como si contuviera agua gasificada. Esto se debe a que el interior de la botella conserva la presión atmosférica que hay en cualquier playa del mundo, por lo que al abrirla a 4000 msnm se siente el siseo característico que acompaña la apertura de una botella de agua carbonatada. También es interesante observar que los envases de plástico sellados como los que contienen bocado (del llamado papel aluminio), se inflan y algunos pueden reventarse por la diferencia de presiones al ir de Arica a La Paz, fenómeno que es particularmente notable al realizar el viaje por tierra.

Ya de regreso, es posible realizar el experimento inverso: la misma botella vacía se cierra herméticamente en El Alto y se observa lo que

ocurre al volar y al descender del avión en Arica. Es sorprendente comprobar cómo el plástico se ha comprimido como si lo hubieran aplastado, lo que también se presenta al cruzar por tierra la Cordillera de Los Andes, ya que la botella se va aplastando poco a poco al descender. La diferencia de presiones atmosféricas entre ambas ciudades o entre los pasos fronterizos y la costa es suficiente para producir estos curiosos fenómenos.

Pero la presión no sólo produce estos efectos. Resulta que a nivel del mar el agua hierve a 100° C, pero a la altura del aeropuerto de La Paz lo hace tan sólo a 87° C, mientras que en nuestra Ciudad de México, a 2240 msnm, hierve a 93° C. Asimismo, el oxígeno, que a nivel del mar se encuentra a una presión atmosférica de 760 mmHg y en una proporción del 21% del aire, a medida que se asciende continúa estando aproximadamente en la misma proporción pero como hay menor presión, al respirar hay también menos moléculas de oxígeno disponibles por cada inhalación. Por ello, cuando se practican los deportes de alta montaña o se visitan ciudades de gran altitud puede experimentarse el llamado *mal de altura*, *soroche* o *puna*, no solamente porque la diferencia de presiones puede inflarnos o aplastarnos como a la simple botella de plástico del ejemplo, sino más bien por la falta de oxígeno que es vital para la vida.

En el aeropuerto de El Alto se tiene una presión atmosférica de sólo 465 mmHg, lo que significa que el porcentaje de oxígeno se ha reducido casi un 40% en cada respiración. Cuando se visita La Paz o cuando se desea vivir allí, se requiere un tiempo de aclimatación que depende mucho de cada persona y de la altura a la cual se encuentra su residencia habitual. En nuestra congestionada ciudad estamos a 2240 msnm, de modo que el cambio puede pasar desapercibido para la mayoría de los habitantes de la Ciudad de México.

En contraste con estas alturas se encuentran las costas del Mar Muerto, en la frontera entre Israel

y Jordania, ya que es el punto más bajo de la tierra a más de 400 metros bajo el nivel del mar. Por esta razón en este lugar el agua hierve a unos 102° C, su presión atmosférica llega cerca de los 800 mmHg y en cada bocanada se inhala aproximadamente un 6% más de oxígeno.

### Ciudades y Lugares Remotos

Además de las ciudades de gran altura, también hay pueblos localizados en lugares extremos. Por ejemplo, en el sur del continente americano se encuentran pocos asentamientos humanos, por lo que las ciudades están escasamente pobladas y muy separadas unas de otras, lo que se debe a que tanto el clima como la geografía hacen que las condiciones de vida en esas latitudes sean muy severas. Sin embargo, en esta región se encuentran algunas de las ciudades más interesantes del continente.

La Cordillera de los Andes concluye su larga trayectoria a través de América del Sur generando desde Puerto Montt, en Chile, y en una extensión de más de 2000 km, un impresionante despliegue de islas, canales, fiordos, campos de hielo, glaciares, bosques, lagos, cumbres nevadas, cabos, penínsulas y bahías que van a morir con las últimas islas del continente en el legendario Cabo de Hornos (55° 58' 47.7" S, 67° 16' 20" O), aunque todavía hay que avanzar un poco más para llegar al Archipiélago de las Islas Diego Ramírez y encontrar el último punto de la placa continental en el Islole Águila (56° 32' 15" S, 68° 42' 30" O)<sup>5</sup>. Por cierto, el punto más austral de toda la masa continental, esto es sin contar las numerosas islas, es el Cabo Froward (53° 53' 45" S, 71° 18' 16" O), el que se encuentra situado en la Península de Brunswick en la ribera norte del Estrecho de Magallanes y a menos de 100 km al sur de Punta Arenas, en Chile. Esta última es una ciudad de poco más de 120 mil habitantes, cuya actividad se centra en la pesca, la ganadería, el turismo, la extracción de petróleo, gas y carbón, así como en las industrias derivadas de éstas. Al mismo tiempo es la última ciudad importante de la masa continental que mira hacia el estrecho,

primer paso natural entre los océanos Pacífico y Atlántico el cual debe su nombre al explorador que lo descubrió y que fuera también el primero en navegarlo.

En una posición más austral y separado del estrecho por la gran isla de Tierra del Fuego se encuentra el Canal de Beagle, segundo y último paso interoceánico, que lleva el nombre del barco que condujera a Darwin a través de los dos océanos. En la ribera norte del canal está el asiento de la ciudad argentina de Ushuaia (54° 48' 25" S, 68° 18' 13" O), enclavada entre las montañas y el mar. A pesar de su ubicación tan austral es una bella ciudad de gran actividad turística, aunque también industrial, que ha experimentado en los últimos años una impresionante explosión demográfica promovida por medio de beneficios económicos y privilegios especiales a sus habitantes, a las empresas que se establecen allí y a los que la visitan, que la han hecho crecer hasta llegar a más de 50 mil habitantes permanentes. Tiene una gran actividad cosmopolita, industrial, marítima y turística que la convierten en un lugar único en el continente, cuyos residentes defienden tenazmente con la frase *ciudad del fin del mundo*. También, en la orilla sur del Canal de Beagle, en la Isla Navarino y a unos 30 km hacia el Atlántico, se localiza Puerto Williams (54° 56' 06" S, 67° 36' 20" O), localidad originalmente fundada como una base naval de la marina chilena. En la actualidad tiene más de 2 mil habitantes y una modesta actividad comercial y turística, aunque su principal ocupación se refiere a las relacionadas con la conservación de la soberanía sobre las islas del extremo sur del continente.

Estas localidades no son los únicos centros poblados de la región, pero son posiblemente los más importantes y conocidos. Sin embargo, si se quiere avanzar más hacia el polo sur se encontrarán asentamientos civiles permanentes lo que significa que no están compuestos sólo de personal científico o militar transitorio, como las bases de investigación de diferentes países

<sup>5</sup> Cabe destacar que usualmente se considera que los continentes están definidos solamente por la masa continental (o sea, sin incluir las islas), aunque hay autores que las incluyen porque geológicamente pertenecen a ellos, ya que también forman parte de la placa continental (esto es, lo que incluye tanto a la masa continental como a las islas).

situadas en otros puntos del continente<sup>6</sup>, puesto que muchas de las cuales no son permanentes ya que son instalaciones militares, tienen el carácter de refugios, no permanecen activas en invierno o han sido cerradas temporalmente. El primero de estos asentamientos es el modesto poblado chileno de Villa Las Estrellas (62° 12' 02" S, 58° 57' 54" O), con menos de 100 habitantes permanentes que se localiza al sur de la Isla Rey Jorge (figura 9). Allí viven familias civiles que pueden desarrollar una actividad prácticamente normal con diversos servicios como la Escuela Básica Villa Las Estrellas que atiende a unos 15 niños residentes, el Hospital de la Fuerza Aérea, las Oficinas de Correos y del Registro Civil, la Biblioteca Pública N° 291, una sucursal del Banco de Crédito e Inversiones, la Radioemisora de FM Soberanía, la capilla católica Santa María Reina de la Paz, internet, telefonía fija y móvil, una hostería, un centro deportivo, el aeródromo civil y militar de la cercana Base Presidente Eduardo Frei Montalva, televisión local y del país, supermercado y bazar para la atención de los turistas, todo de acuerdo con el tamaño de la localidad, del clima y de su ubicación geográfica.



Figura 9 Villa las estrellas, Antártida.

Continuando hacia el sur y entrando a la masa continental, en el norte de la Península Antártica se encuentra el Fortín Sargento Cabral (63° 23' 53" S, 56° 59' 50" O), asentamiento civil de la Base Esperanza de Argentina con más de 60 habitantes civiles permanentes y un clima más riguroso (figura 10). Aunque también dispone de

servicios como un aeródromo, la capilla católica San Francisco de Asís, la Escuela Provincial N° 38, Presidente Julio Argentino Roca con educación secundaria a distancia, el Sanatorio Cruz del Sur, la radiodifusora LRA 36 Arcángel San Gabriel, la Oficina N° 2506 del Registro Nacional de las Personas y otra del Correo Argentino, por lo que igual que Villa Las Estrellas presta apoyo a los turistas que visitan la Antártida. Esto es posible debido a que en ambos asentamientos el clima es menos riguroso que en el resto del continente antártico porque, por ejemplo, en estos puntos el suelo es pedregoso y no se congela completamente durante todo el año, aunque nieve. Esta condición es aprovechada en otros puntos del continente por muchas de las bases antárticas de varios países, ya que estas condiciones climáticas permiten que la actividad humana se realice más cómodamente. Sin embargo, a pesar del clima riguroso y que ambos poblados están situados en el continente antártico, todavía hay que adentrarse mucho más en él para alcanzar el círculo polar (en 66° 33' 46" S, unos 300 km al sur).



Figura 10 Base Esperanza, Antártida.

No ocurre lo mismo en el Hemisferio Norte, donde el círculo polar ártico se encuentra casi dividiendo en dos la Península Escandinava, ya que atraviesa el aeropuerto de Rovaniemi en Finlandia. En esta región, conocida por el sol de medianoche en verano y las auroras boreales en invierno, viven unas quinientas mil personas. Incluso Reikiavik (64° 08' 48" N, 21° 56' 23" O), la capital de Islandia es la capital más septentrional del mundo, a unos 400 km del

<sup>6</sup> Las más destacadas son la Base Amundsen-Scott (89° 59' 51" S) a 2835 msnm y prácticamente en el Polo Sur Geográfico, con temperaturas entre -60° C y -30° C; la Base Vostok (78° 27' 52" S, 106° 50' 05" E) a 3488 msnm sobre el congelado Lago Vostok, supuestamente en el polo de inaccesibilidad de la Antártida (el más alejado de todas las costas) con las temperaturas más bajas de la tierra registradas entre -90° C y -40° C; y la Base McMurdo (77° 50' 45" S, 166° 40' 32" E) a nivel del mar, con temperaturas entre -40° C y 0° C. Todas ellas están ocupadas por poblaciones militares y científicas de 30 a 150, de 15 a 25 y de 200 a 1000 habitantes, respectivamente, dependiendo de la estación.

círculo polar ártico. Por otro lado, con más de 1000 habitantes Longyearbyen ( $78^{\circ} 13' 08''$  N,  $15^{\circ} 38' 28''$  E) en el archipiélago Svalbard, en Noruega, podría considerarse como la ciudad más boreal del mundo (figura 11), aunque con más de 5000 habitantes también está Tiksi, en Rusia ( $71^{\circ} 38' 13''$  N,  $128^{\circ} 52' 05''$  E) mucho más al sur. Adicionalmente hay que destacar que en Rusia y con más de 100 000, se encuentra Norilsk, ( $69^{\circ} 21' 00''$  N,  $88^{\circ} 12' 00''$  E).



Figura 11 Longyearbyen, Svalbard, Noruega

Además de lo anterior, en la Isla Ellesmere en Nunavut, Canadá, se encuentra Alert ( $82^{\circ} 29' 56''$  N,  $62^{\circ} 20' 35''$  O) a solo 840 km del Polo Norte, instalación militar con alrededor de 5 habitantes, la que cuenta con una carretera de 6 km que va al aeropuerto, siendo ambas las construcciones humanas situadas más al norte del planeta. Sin embargo, también Ny-Ålesund ( $78^{\circ} 55' 27''$  N,  $11^{\circ} 55' 16''$  E) con menos de 50 habitantes es una instalación civil de investigación ubicada al norte de Longyearbyen, por lo que sería el asentamiento humano más septentrional. Asimismo, en Noruega se localiza Hammerfest ( $70^{\circ} 39' 44''$  N,  $23^{\circ} 40' 50''$  E) ciudad que desde hace mucho tiempo fue considerada como la más septentrional del mundo porque cuenta con alrededor de 10 000 habitantes. Aunque experimenta noches y días de hasta 24 horas y en invierno sus temperaturas oscilan cerca de los  $0^{\circ}$  C, en verano presenta un clima muy agradable debido a la influencia notable de la corriente cálida del Golfo de México. Por ello y por la extrema latitud de la zona, se ha convertido en

un centro turístico importante para quienes quieren llegar hasta Cabo Norte ( $71^{\circ} 10' 15.3''$  N,  $25^{\circ} 46' 59.7''$  E), por lo que es un lugar de reunión de viajeros de todo el mundo. Esto ha impulsado la creación de diversos asentamientos turísticos en la región, siendo el poblado de Honningsvåg ( $70^{\circ} 58' 40''$  N,  $25^{\circ} 58' 42''$  E) con unos 2500 habitantes, uno de los más cercanos por lo que ha desarrollado una importante infraestructura, aunque además es un puerto de gran actividad pesquera y de procesamiento industrial del pescado (figura 12). Sin embargo, los turistas que pernoctan allí y cuyo objetivo final es llegar a Cabo Norte pueden realizar un corto desvío de unos kilómetros para pasar por Skarsvåg ( $71^{\circ} 06' 45''$  N,  $25^{\circ} 49' 22''$  E), el cual es un pequeño poblado pesquero con menos de 100 habitantes, por lo que es el asentamiento humano ubicado más al norte de la masa continental de Europa, el cual es accesible por la ruta europea E69.



Figura 12 Honningsvåg, Svalbard, Noruega.

Por cierto y a pesar que Cabo Norte es reconocido por muchos como el punto más septentrional de Europa, resulta que avanzando un poco más al norte y al oeste se encuentra el pequeño, desolado y cercano Cabo Knivskjellodden que, situado en  $71^{\circ} 11' 08''$  N,  $25^{\circ} 40' 32''$  E, es realmente el punto más septentrional de la masa continental europea, para el que no hay un acceso simple. Por su parte, el punto más septentrional de América se sitúa en el Promontorio Murchison al norte de la Península de Boothia, que es casi una isla. Es el



llamado Punto Zenith (72° 00' 06" N, 94° 39' 22" O) el que se encuentra en el Territorio Autónomo de Nunavut, Canadá, y el que es de muy difícil acceso. A su vez, en el Continente Asiático se emplaza el Cabo Chelyuskin (77° 43' 15" N, 104° 15' 23" E) situado en la Península Taimyr, al sur del archipiélago de Sévernaya Zemlyá (literalmente *tierra del norte*), en Rusia, a sólo 1370 km del polo norte, por lo que es el punto que se encuentra más próximo a éste de todas las masas continentales, esto es, sin considerar las islas.

En cuanto al punto más cercano al Polo Norte, considerando las islas de todo el mundo, existe mucha controversia puesto que las condiciones próximas a éste no siempre permiten comprobar la existencia de tierra firme, aunque esta situación está cambiando debido al calentamiento global. En todo caso actualmente se reconoce como dicho punto permanente a la Isla Kaffeklubben (literalmente *club de café*), situada en 83° 37' 09" N, 31° 11' 35" O al noreste de Groenlandia. Esto es porque, las islas que se han encontrado más al norte de ésta son muy pequeñas, pueden no ser estables ni permanentes, ya que en aguas poco profundas aparecen bancos de grava generados por la deriva del hielo o de las corrientes, que de la misma forma desaparecen. Por otra parte algunos países, como Dinamarca y Rusia, quieren extender sus límites territoriales para reclamar soberanía sobre el mar y el Polo Norte, por lo que demuestran sumo interés en encontrar islas más al norte.

Por ejemplo, en 1978 se informó la existencia de un pequeño banco de grava y sedimentos semipermanente de 15 por 8 metros que fue llamado Oodap Qeqert (83° 39' 59" N, 30° 39' 59" O), a sólo 705 km al sur del Polo Norte y 1360 metros al norte de la isla de Kaffeklubben; en 1996 la expedición Top of the World anunció el descubrimiento de una diminuta isla de 10 metros de largo y un metro de altura ubicada varios kilómetros al norte de Cape Morris Jesup en el norte de Groenlandia que denominaron

Atow1996 (83° 40' 34.8" N, 30° 38' 38.6" O); No obstante, en 1998 se habría encontrado una isla más grande de 35 por 15 metros y 4 de alto, llamada 83-42 (83° 42' 5.2" N, 30° 38' 49.4" O); en 2001 la expedición Return to the Top of the World halló otra en 83° 41' 06" N, 30° 45' 36" O; en 2003 se descubrió la Isleta Schmitt (83° 41' 59" N, 30° 44' 54" O) y en 2007 se encontró la Isla Stray Dog West (83° 39' 3.6" N, 34° 23' 13.2" O).

Todas estas pequeñas islas no parecen ser permanentes ya que las olas y el hielo cambian los bancos de grava alrededor de las aguas poco profundas, estos son cubiertos por el hielo o se hunden bajo el océano. En consecuencia, de acuerdo con lo anterior, la tierra permanente más septentrional parece ser la ya mencionada Isla de Kaffeklubben.

¿Qué mueve a los seres humanos a desafiar los elementos, a fundar pueblos tan apartados, donde hay noches o días muy largos de sólo unas pocas horas, dependiendo de la estación? O también ¿Por qué asentarse en lugares ubicados a gran altura sobre el nivel del mar donde el oxígeno escasea? O ¿Por qué vivir en sitios donde hay fríos y calores extremos? Posiblemente una de las razones más poderosas sea que en las alturas y en los extremos norte y sur del mundo, particularmente en nuestro continente americano, la naturaleza se encuentra prácticamente virgen y se dispone de uno de los paisajes más extraordinarios, extensos, desolados, impresionantes y sobrecogedores de la Tierra. Eso puede ser suficiente para sentirse especial, para hacer caso omiso a los efectos de la intensa radiación ultravioleta debida a la altura y a la latitud o a que la capa de ozono se ha tornado muy delgada, llegando a presentar grandes agujeros, para querer soportar las más duras condiciones de vida de un lugar en donde hasta el aire parece ser diferente.

### Bibliografía

1. Allsop, Mike (2014) *High Altitude*. Allen &

Unwin. Auckland, Nueva Zelanda.

2.Carcavilla Urquí, Luis (2016) *Montañas*. Editorial Catarata. Madrid, España.

3.Lahiri, Sukhamay, Prabhakar, Nanduri R. y Forster II, Robert E. (eds.) (2000) *Oxygen Sensing: Molecule to Man*. Kluwer Academic/Plenum Pubs. Nueva York, NY.

4.Lougheed, Vivien (2004) *Bolivia Adventure Guide*. Hunter Publishing, Inc. Edison, NJ.


5.Miller, Luree (2000) *On Top of the World: Five Women Explorers in Tibet*. The Mountaineers Books. Seattle, WA.

6.Swenson, Erik R. y Bärtsch, Peter (Editores) (2014) *High Altitude: Human Adaptation to Hypoxia*. Springer. Nueva York, NY.

7.Weil, Ann (2012) *Volcanoes*. Saddleback Educational Publishing. Costa Mesa, CA.

8.Wilber, Randall L. (2004) *Altitude Training and Athletic Performance*. Human Kinetics Pubs. Inc. Champaign, IL.

9.Zhong, Rui et al. *Adaption to High Altitude: An Evaluation of the Storage Quality of Suspended Red Blood Cells Prepared from the Whole Blood of Tibetan Plateau Migrants*. PLOS ONE, Open Access Journal. 10(12): e0144201. Diciembre 2015.



**Auxilio rápido para adultos mayores  
mediante un aplicación de telefonía  
celular**

**Dra. Elsa González Paredes  
Mtro. Miguel Ángel García Licona**

### Resumen

La posibilidad de que un adulto mayor experimente un estado de alerta por una emergencia, es mayor que para otros grupos de edad, dada la disminución de sus facultades corporales o mentales. Generalmente la atención rápida, profesional y eficiente tiene mejor probabilidad de aliviar la condición situacional del involucrado. Una herramienta tecnológica poderosa al alcance de un gran número de personas en México es el teléfono celular inteligente (smartphone) que utilizan diversos sistemas operativos, entre los más conocidos y populares se encuentra Android, cuyas características permiten el diseño de nuevas aplicaciones de manera más amigable. Este trabajo presenta el desarrollo e implementación de una aplicación, que mediante la presión de un dedo sobre un icono en la pantalla (touchscreen) del celular proporcione la ubicación de los hospitales más cercanos, se contacte telefónicamente al más próximo y establezca a su vez la ubicación del percance sufrido por un adulto mayor, que posibilite el envío de una ambulancia. La utilización de la aplicación propuesta tiene como propósito que el tiempo de respuesta a la emergencia sea más rápido oportuno.

**Palabras Clave:** Adultos mayores, Android, aplicación de alertas, Teléfonos Celulares Inteligentes.

### Abstract

The possibility of an older adult experiencing a state of alert for an emergency is greater than for other age groups, given the decrease in their bodily or mental faculties. Generally, fast, professional and efficient care is better likely to relieve the situational condition of the person involved. A powerful technological tool available to a large number of people in Mexico is the smart cell phone (smartphone) that uses various operating systems, among the best known and popular is Android, whose features allow the design of new applications in a more friendly way. This work presents the

development and implementation of an application that, by pressing a finger on an icon on the screen (touchscreen) of the cell phone, provides the location of the nearest hospitals, contacts the nearest one by telephone and establishes location of the accident suffered by an older adult, which makes it possible to send an ambulance. The purpose of using the proposed application is to make the emergency response time faster.

**Keywords:** Seniors, Android, Alerts application, Smartphones.

### Introducción

Es una desafortunada realidad que, de acuerdo a las estadísticas, en la Ciudad de México, más del 33% de los adultos mayores de 65 años se ven involucradas en accidentes y alertas de salud en el hogar o en cualquier otra parte de la ciudad cada año (Vigilangel, 2011). Las consecuencias de los percances que dañan la salud de las personas mayores dependen en mucho de la rapidez con que reciben auxilio especializado. Ante la frecuencia con que se presentan situaciones de emergencia en los adultos mayores, surgió la siguiente interrogación: ¿qué puede aportar la tecnología para mejorar la atención, cuidado y mantenimiento de la calidad de vida de los adultos mayores en México?

En el presente trabajo se decidió aprovechar la utilización intensa de los teléfonos móviles inteligentes (smartphones). De acuerdo con El Economista (28 de junio de 2019), se estima que existen actualmente 120.7 millones de líneas celulares, por tanto siete de cada diez mexicanos cuentan con un dispositivo móvil. Por lo que actualmente un porcentaje importante de la población en México se encuentra comunicada todo el tiempo, gracias a sus smartphones y a las diversas aplicaciones (apps) con las que éstos cuentan, ya que algunas de las apps pueden facilitar las actividades cotidianas de sus usuarios.

Para cuestiones de emergencias las herramientas tecnológicas existentes requieren rediseñarse o innovarse continuamente para mejorar su eficiencia. Muchas veces no se cree tan necesarias estas herramientas hasta que se presenta una emergencia en un adulto mayor al que debemos apoyar o que nos suceda algún accidente a nosotros mismos y nos preguntamos: ¿qué hacer?, ¿a dónde acudir?, ¿qué hospital o centro de atención es el más cercano?, ¿existe algún teléfono de emergencia? o sencillamente, ¿dónde ocurrió el percance?

Este trabajo tiene como propósito auxiliar en la resolución de estas cuestiones, particularmente a los adultos mayores, mediante el diseño de una aplicación para smartphones con sistema operativo Android que aparte de conectar a sus usuarios oralmente o por mensajes escritos sea capaz de proporcionar la ubicación de los hospitales más cercanos, contactar telefónicamente a esa institución y establecer la ubicación del percance para posibilitar el envío de una ambulancia. Se busca que el tiempo de respuesta a la emergencia sea menor y más oportuno.

### Antecedentes.

Algunas aplicaciones existentes con temas relacionados al objeto del estudio realizado son:

*Spotbros*: Esta aplicación conforma grupos de interés que trabajan en forma de "chats" en la ubicación de alguien con necesidad de auxilio. Pero al mismo tiempo la aplicación te permite enviar un aviso, al cuál le denominan "shout" a todas las personas que se encuentren a un kilómetro y medio de la ubicación del afectado y que podrían ayudar.

*WhatsApp*: Es de indudable ayuda. Lo ha demostrado ya el GERA (Grupo de Rescate en Altura de los bomberos de la Comunidad de Madrid). Sólo se le pide a la persona perdida, que llame al 1-1-2 comunicando que no sabe dónde está, para que comparta su ubicación GPS.

*SOS 112*: Es una aplicación que incorpora un geo localizador de desfibriladores y algunos videos de asistencia, para poder ubicar el más cercano a quien requiere de uno y poder atenderle una manera más rápida.

*MEC*: Si alguien lleva activada en su smartphone la aplicación MEC al subirse al automóvil, tendrá la garantía de que en caso de colisión, el dispositivo mandará una alerta a quien este registrado previamente vía email o llamada automática, lo que se prefiera.

*ICE*: Con esta aplicación se tienen organizados los datos médicos (grupo sanguíneo, alergias, medicación, etc) y los contactos que necesites donde el personal de emergencia pueda encontrarlos.

*Mis Avisos*: Mediante la aplicación puedes avisar a tu familia o amigos, en 4 rápidos e intuitivos pasos comunicas si te encuentras bien, en peligro o precisas auxilio.

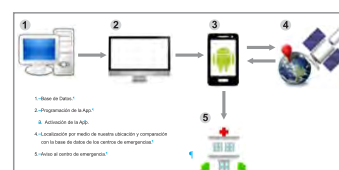
*Safety GPS*: Sin duda es la aplicación que maneja principios similares a la desarrollada en este trabajo, ya que en su caso mantiene comunicación entre las entidades federativas españolas de seguridad y los usuarios que las deciden seguir, que permite dar aviso ante una emergencia, como las médicas, de seguridad o inclusive de tráfico.

### OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de respuesta a emergencias en adultos mayores que proporcione la ubicación del siniestro, para dar aviso inmediato al centro de respuesta más cercano mediante una aplicación en Android.

### Desarrollo

Diagrama de funcionamiento de la app propuesta \*



Las aplicaciones desarrolladas para el sistema operativo Android, como todo han evolucionado, por tanto estas han tenido varias versiones, de la 1.xx a la 4.xx, siendo esta última la más versátil ya que la aplicación será compatible para dispositivos smartphones y las tablets, (Cristina, Dapoto y Tinetti, 2012).

Android Studio fue la segunda herramienta utilizada en el desarrollo de aplicaciones para Android, creada y difundida por Google con ventajas comparativas en la programación del dispositivo virtual, (Williamson 2013).

Eclipse fue el principal y primer IDE creado para desarrollar aplicaciones, de éste se creó el antes citado Android Studio, su principal virtud es la creación de bases de datos dentro de la aplicación pero a su vez tiene gran compatibilidad con otras (Millares, 2012). Por lo anterior se decidió utilizar como base de la app propuesta el sistema operativo Android y el IDE Eclipse.

Para la elaboración de la base de dato adecuada, se desarrolló primero una base en el lenguaje KML (Kyhole Markup Language) que es el lenguaje utilizado que permite ver gráficamente la base, programas como Google Earth lo utilizan, y debido a que se realizó por medio de la interfaz gráfica. Se realizaron pruebas hasta localizar un centro de emergencias específico en el mapa, al cuál se denominó "IMSS Clínica Familiar". Posteriormente se marcó el sitio por medio de la insignia H que se obtuvo en la siguiente dirección ([http://www1.df.gob.mx/iconos\\_mapas/hospitales.png](http://www1.df.gob.mx/iconos_mapas/hospitales.png)), característica de los hospitales en la CDMX, lo que se muestra mediante una imagen tipo fotografía aérea. En la misma imagen se anotó el nombre de la clínica, la dirección, teléfono y el nombre del Director en un menú que aparece a la vista oprimiendo sobre el icono H.

El mismo procedimiento fue desarrollado para los diferentes hospitales o clínicas de la Ciudad

de México y Área Metropolitana, lográndose un mapeo que se puede observar mediante imagen con la vista final de todos los hospitales localizados.

Una vez completa la base de datos en KML fue necesario mudarla a un lenguaje de programación nativo, para obtener más información y poder relacionarla con futuras programaciones. Fue entonces que la aplicación se convirtió al formato XML (eXtensible Markup Language).

El cambio de base de datos de KML a XML permite obtener las coordenadas exactas de los hospitales agregados en la base de datos (Douglas K. Barry, 2010). Una vez que se completó la programación en XML, se realizó el análisis de los recursos de este tipo de base de datos, con base en la información arrojada fue se decidió cambiar a la interface de MongoDB en la cuál las bases de datos creadas son del tipo "no relacionales", es decir, a diferencia de las demás bases de datos (incluyendo las de XML) no funciona por medio de tablas, sino por medio de objetos, lo cuál hace más fácil la consulta (Quinlan, 2008).

Ya terminada la aplicación en MongoDB se generó un archivo del tipo Json, dicho archivo nos indica que es un arreglo de objetos, para aprovechar la principal ventaja de este tipo de base de datos no relacional. El propósito de crear un archivo de este tipo es que nuestro servidor (Mongolab) fue diseñado principalmente para hostear las bases de datos realizadas en MongoDB (Create a Node.js Application on Azure with MongoDB using the MongoLab Add-On).

Mongolab funciona a través de la generación de una cuenta ya sea gratuita o de pago, lo que depende del número de consultas realizadas al día y del número de archivos cargados en la misma.

Otro de los beneficios de la utilización de Mongolab, es que genera una extensión del tipo URI la cuál se encarga de comunicar a nuestro servidor con la programación de la aplicación, permitiéndole a esta hacer la consulta de los hospitales en la base de datos.

En el mismo ambiente de Mongolab, se guarda en diferentes secciones el listado de los hospitales y a su vez el listado de los usuarios que podrían avisar de una emergencia, de esta forma se podrá tener un control más sencillo y amigable de ambos datos, permitiendo restringir, actualizar o bloquear en ambos casos.

En el listado de los hospitales podremos ver los datos principales de cada uno: nombre del hospital, teléfono, y sus coordenadas. Y en la lista de usuarios se verán los siguientes datos: nombre del usuario, contraseña, correo electrónico y teléfono.

La Programación de la App. Para el desarrollo de la app se realizó una programación robusta ya que se utilizaron varias librerías que permiten mostrar y usar los diferentes recursos de la misma.

Siguiendo con procedimiento del funcionamiento de la aplicación, el GPS es una parte fundamental del funcionamiento de la misma, es por eso que se tuvo que incluir la librería Como usar el GPS de un teléfono celular. en la cual se activa el uso del recurso del GPS (Contributing Writer, 2011).

Finalmente para que la clínica pueda recibir la notificación de una emergencia, se diseño e implemento, por medio de node.js, un servidor orientado a eventos el cual está siempre escuchando por algún suceso, en este caso siempre estará a la espera de si algún usuario tiene una emergencia. Este servidor lo subimos a la red mediante Heroku (plataforma que proporciona servicio de computación en la Nube, sólo requiere de una cuenta p

con varios lenguajes de programación y de servidores permitiendo a la app mandar la ubicación de la emergencia a Heroku . Una vez realizada la conexión entre servidor y heroku, se crea una interfaz gráfica creando una página de notificaciones de Internet, la cual se realizó en Java.

Conforme se fue avanzando en el proceso de la ubicación GPS, se modificó el aspecto de la aplicación varias veces generando mocks (representaciones audiovisuales de carácter ficcional que emulan la sensación de realismo) cada vez más adecuados para mejorar la visualización y uso del mapa en la determinación de la ubicación del sitio del percance.

De igual forma diseñamos un logotipo para la aplicación, capaz de instalarse en cualquier dispositivo Android. Al presionar sobre el logotipo siendo la primera vez que se utiliza la aplicación, aparecerá una primer pantalla, con la cual se inicia el registro como nuevo usuario. En la sección de registro, solo pedirá datos básicos los cuales permitirán corroborar al usuario una vez agregado (Vogel, L. 2012).

Una vez registrado y si usamos la aplicación por segunda vez nos mandará a una pantalla específica, que se mostrará cuando el usuario presione el boton de emegencia o logotipo, en ese momento, se ubica al usuario afectado por medio del GPS y simultáneamente se dará aviso a la clínica más cercana, además se envía un reporte a la página de notificaciones o emergencias con nombre de quién solicita ayuda, la hora en que solicitó, domicilio y el teléfono de contacto.

### Discusión

-En síntesis se puede asegurar que los objetivos se alcanzaron y que se puede ir mejorando la aplicación en cuanto a los números de los usuarios, el número de consultas al día, el número de estaciones donde se reciben los reportes, como de igual forma darle un enfoque

esta plataforma ofrece una alta compatibilidad

diferente al las aplicaciones tecnológicas ante una emergencia del sector salud.

-La aplicación se desarrolló para tener solamente cobertura en la CDMX y Área Metropolitana, con un total de 32 Centros de Emergencias.

-La aplicación propuesta, a diferencia de otras ya existentes en teléfonos celulares completa el círculo de atención de emergencias: alerta-ubicación del percance y del hospital más próximo- envío de auxilio rápido.

-La aplicación diseñada es lo suficientemente amigable para que un adulto, mayor la pueda utilizar rápidamente, en cualquier condición climática, las 24 horas de día y además es totalmente gratuita.

#### BIBLIOGRAFÍA

Barry, D. (2010) XML DataBase, Editorial MK, Segunda Edición. Massachusetts, Estados Unidos.

Cristina, F., Dapoto, S. y Tinetti, T. (2012). Definiciones Básicas y Desarrollo de Aplicaciones. Comisión de Investigaciones Científicas. Buenos Aires, Argentina.

Contributing Writer. (2011) Como usar el GPS de un teléfono celular.  
[http://www.ehowenespanol.com/gps-telefono-celular-localizar-alguien-como\\_12949/](http://www.ehowenespanol.com/gps-telefono-celular-localizar-alguien-como_12949/)

Millares, J. (2012). Bases de Datos en Android. Expo TuApp. Córdoba, España.

Notimex. (28 de junio de 2019). México cerró marzo de 2019 con 120.7 millones de líneas celulares. octubre 9, 2019, de El Economista: <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Mexico-cerro-marzo-de-2019-con-120.7-millones-de-lineas-celulares-81.8-son-de-prepago-20190628-0055.html>

Quinlan, T. (2008). Getting into SQL/XML. Oracle Technology Conference. Palo Alto, Estados Unidos.

Vigilangel. (2011). Servicio de Asistencia a Distancia para Adultos Mayores. Vigilangel. [http://www.vigilangel.com.mx/adulto\\_mayor.htm](http://www.vigilangel.com.mx/adulto_mayor.htm)

Vogel, L. (2012) Android Application Tutorial <http://www.vogella.com/tutorials/AndroidLocationAPI/article.html>

Williamson, L. (2013). Eclipse vs Android Studio. Android Builders Summit, San Jose, Estados Unidos.

White, B. (2013). "Android Basics". Uber Conference, Westminster, Estados Unidos.

Vigilangel. (2011). Servicio de Asistencia a Distancia para Adultos Mayores. octubre 3, 2019, de Vigilangel. Sitio web: [http://www.vigilangel.com.mx/adulto\\_mayor.htm](http://www.vigilangel.com.mx/adulto_mayor.htm)

Notimex. (28 de junio de 2019). México cerró marzo de 2019 con 120.7 millones de líneas celulares. octubre 9, 2019, de El Economista Sitio web: <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Mexico-cerro-marzo-de-2019-con-120.7-millones-de-lineas-celulares-81.8-son-de-prepago-20190628-0055.html>



# **Bioética en Ing. Biomédica**



**Alma Martínez**  
**Universidad Autónoma Metropolitana,**  
**Unidad Iztapalapa, Depto. de Ing. Eléctrica**

### Introducción

Para tener una visión de porqué es importante la relación que guarda la Bioética con la Ingeniería Biomédica, en este artículo se desglosarán, en varias secciones y de forma muy básica, los aspectos más relevantes que permitan accederla. Primero se contestarán las preguntas: ¿qué es la bioética?, y ¿cuál es su importancia?; después se abordará la respuesta a ¿cuál es el objetivo de la Ingeniería Biomédica? para finalmente relacionar la Bioética en el campo de la Ingeniería Biomédica.

### ¿Qué es la Bioética?

Para explicar qué es la Bioética se tomará la definición dada, en el 2014, por la Comisión Nacional de Bioética (CONBIOÉTICA).

Pero antes, se mencionará brevemente cuándo surge la Comisión Nacional de Bioética CONBIOÉTICA. En septiembre de 2005, por Decreto Presidencial, la CONBIOÉTICA se constituye como un órgano desconcentrado de la Secretaría de Salud con autonomía técnica y operativa, responsable de definir las políticas nacionales que plantea esta disciplina.



De acuerdo a su página web (<http://conbioetica-mexico.salud.gob.mx/interior/queeslacomision.html>) los objetivos de la CONBIOÉTICA son:

- Establecer políticas públicas en salud vinculadas con la temática bioética.
- Fungir como órgano de consulta nacional sobre temas específicos de bioética.
- Propiciar debates sobre asuntos bioéticos con la participación de los diversos sectores sociales.
- Fomentar su enseñanza, particularmente en atención médica y en atención en salud.
- Promover la creación de Comisiones Estatales de Bioética.
- Promover que en las instituciones de salud públicas y privadas, se organicen y funcionen Comités Hospitalarios de Bioética y Comités de Ética en Investigación con las facultades que les otorguen las disposiciones jurídicas aplicables.
- Apoyar la capacitación de los miembros de los Comités.
- Establecer y difundir criterios para el desarrollo de las actividades de los Comités.

En el 2014 la CONBIOÉTICA definió a la Bioética como la rama de la ética aplicada que reflexiona, delibera y hace planteamientos normativos y de políticas públicas para regular y resolver conflictos en la vida social, especialmente en las ciencias de la vida, así como en la práctica y en la investigación médica que afectan la vida en el planeta, tanto en la actualidad como en futuras generaciones.

### Importancia

La Bioética es una rama cada vez más estudiada de la ética que debe cumplir con los cuatro principios básicos: autonomía, no maleficencia, beneficencia y justicia.

**Autonomía:** Es la capacidad de las personas para tomar sus propias decisiones de acuerdo a sus creencias y forma de pensar. Son libres e independientes.

**Beneficencia:** Es "Hacer el bien", la obligación moral de actuar en beneficio de los demás. Es un principio de ámbito privado y su no-cumplimiento no está penado legalmente.

**No-maleficencia:** Es no producir daño y prevenirlo. Incluye no matar, no provocar dolor ni sufrimiento, no producir incapacidades. Es un principio de ámbito público y su incumplimiento está penado por la ley.

**Justicia:** Equidad en la distribución de cargas y beneficios. Incluye el rechazo a la discriminación por cualquier motivo. Es también un principio de carácter público y legislado.

La Bioética analiza de forma ética todos los procedimientos a los que son sometidos cualquier ser vivo, sea ser humano, animales o plantas y exige el consentimiento informado para que las personas tengan una comprensión amplia del propósito, procedimientos, riesgos y beneficios de las intervenciones, para que puedan tomar decisiones libres relacionadas con su participación. En éste punto cabe mencionar la función de los Comités de ética y de investigación regulados por la CONBIOÉTICA.



La función del Comité de ética es asegurar la protección de los derechos y el bienestar de los seres humanos que participan en los ensayos clínicos, como se define en la revisión actual de la Declaración de Helsinki y los reglamentos nacionales y otras disposiciones pertinentes, estos comités hacen revisiones previas de los protocolos de los ensayos, a aplicar no sólo en los seres humanos sino en plantas y animales para preservar su conservación.

La importancia de la Bioética radica en cuidar, los cuatro principios antes mencionados, ante un avance tecnológico (cada vez más rápido) e investigaciones con seres vivos.

### **Ingeniería Biomédica**

La ingeniería biomédica es una disciplina que aplica la ingeniería al campo de la medicina, se dedica, al diseño de equipos médicos, prótesis, dispositivos médicos y dispositivos de diagnóstico y terapia.

Una de las funciones del ingeniero biomédico es investigar para la innovación tecnológica médica.

Para el desarrollo de sus investigaciones se desarrollan protocolos, algunos de éstos se aplican a seres vivos y es aquí donde se une la bioética con la ingeniería biomédica.

### **Bioética y Biomédica**

Para el desarrollo de investigación en la disciplina del ingeniero biomédico se deben desarrollar una serie de protocolos, para poder aplicar éstos protocolos deben ser revisados por un comité de ética y de investigación certificado, dicho comité debe autorizar o no su aplicación, una vez que se autoriza el uso del protocolo se debe diseñar la carta de consentimiento informado, donde cada persona que está dispuesta a participar debe firmar su autorización para que el protocolo sea aplicado una vez que se le ha aclarado todas sus dudas y este consiente del proceso que se le aplicará, de los objetivos y la existencia o no, de efectos secundarios.



Si el protocolo incluye el manejo de animales, el comité de ética y de investigación debe cuidar el trato de dichos animales, analizar si existen, o no, efectos secundarios en la aplicación de dicho protocolo, el número necesario de los animales a trabajar, así como el cuidar que no sean especies en vías de extinción, de forma similar se trabajan las plantas.

El ingeniero biomédico tiene trato directo con médicos y pacientes y debe estar conciente de su trabajo ético en el desarrollo de tecnología médica.



#### **Fuentes**

<http://www.conbioetica-mexico.salud.gob.mx/interior/conbioetica.html>  
Perspectiva Global de la Bioética, María de la Luz Sevilla González, Instituto Politécnico Nacional. México. 2015. ISBN 978-607-414-502-1

# el catalejo



## UNA MIRADA CERCANA A LA CIENCIA

ESCÚCHANOS TODOS LOS MARTES DE 10:00 A 11:00 HORAS POR UAM RADIO  
EN LOS 94.1 DE FM O POR INTERNET EN [www.uamradio.uam.mx](http://www.uamradio.uam.mx)

REPETICIÓN: SÁBADOS DE 11:00 A 12:00 HORAS

**DATOS CURIOSOS, ENTREVISTAS Y MÁS**

ESCUCHA A EL CATALEJO A LA HORA QUE QUIERAS EN EL SITIO WEB :

**[www.ferienciassuami.com](http://www.ferienciassuami.com)**



Casa abierta al tiempo

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA**  
Unidad Iztapalapa



FABIOLA MARGARITA MARTÍNEZ LICONA

La evaluación del aspecto económico ha sido predominante en la toma de decisiones que se relacionan con la incorporación de tecnología al ámbito de la salud. Este libro fue diseñado para proporcionar al lector una panorámica general de los temas económicos y de su aplicación en la evaluación.

De venta en la **UAM Iztapalapa**

INTRODUCCIÓN

A LA

ECONOMÍA

DE LA SALUD PARA

INGENIEROS  
BIOMÉDICOS



