

# Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería

Enero - Marzo 2019

ISSN - EN TRÁMITE



No 111

**Elementos Pasivos de Microondas e Implementación de Antenas para Telefonía Celular y Wi-fi**

**Retos de la bioética frente al desarrollo biotecnológico: El Cuerpo y la Autonomía Consideraciones para la Intervención Clínica y la Investigación en Salud con Sujetos Humanos**

**Marie Curie: Domadora de Radiaciones**



# Contenido

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

No. 111. Enero - Marzo 2019

---

<b>Editorial</b>	3		
<hr/>			
<i>Elementos Pasivos de Microondas e Implementación de Antenas para Telefonía Celular y Wi-fi</i>	5	<i>Estado del arte en la aplicación de la energía de microondas para el secado de poliéster grado botella (PET)</i>	38
Miguel Ángel Cortes Arteaga Othón Gandarila Carrillo		Cosme Zamorano Romero Joaquín Palacios Alquisira	
<i>Retos de la bioética frente al desarrollo biotecnológico: El Cuerpo y la Autonomía. Consideraciones para la Intervención Clínica y la Investigación en Salud con Sujetos Humanos</i>	24	<i>Una mirada a la problemática de los suelos de la Ciudad de México (CDMX)</i>	53
D en C María de la Luz Sevilla González D en C Nelson Eduardo Alvarez Licona		Irma Reyes Jaramillo	
<i>Marie Curie: Domadora de Radiaciones</i>	33	<i>Caracol de jardín (Cantareus aspersus), especie introducida en México</i>	63
Martin Guevara Martínez		J. Saharaim Corzas Cruz Sonia Emilia Silva Gómez	

**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*

M. en B. E. Arturo Leopoldo Preciado López

*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,  
M. en B. E. Arturo Leopoldo Preciado López,

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. 111,**

Enero - Marzo 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 Marzo de 2019. Tamaño del archivo 100 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: Enero - Marzo 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

Iniciamos un nuevo año, siendo éste, un inicio difícil para nuestra querida Universidad, aun así, el equipo de la Revista Contactos continúa trabajando, conservando así la calidad de la revista, no solo en contenido, sino también en su publicación ininterrumpida, desde su creación, para el deleite de nuestros lectores.

En este inicio de año, agradecemos, como siempre, la compañía de nuestros queridos lectores y el entusiasmo de nuestros amables autores quienes junto con el apoyo de las divisiones de CBI y CBS de la UAM Iztapalapa y el trabajo del equipo de la Revista han hecho de este proyecto un medio de divulgación científica importante y reconocido en varias instituciones de varios estados de nuestra querida República Mexicana.

Es el momento de invitar a nuestros lectores a descubrir, a través de las siguientes páginas, el contenido de un conjunto de artículos de temas variados e interesantes que forman este primer número del año 2019 y a su vez los invitamos a continuar con nosotros en los siguientes números de este año.

Deseando que la lectura de este número sea de su agrado.

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

1. Resumen escrito en español e inglés.
2. 4 palabras clave en español 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: Szabadvary, F. y Oesper, E., Development of the pH concept, *J. Chem. Educ.*, 41 [2], pp.105-107, 1964.

9. Cada referencia a un libro se ajustará al siguiente formato: Heisenberg, W., *Physics and Philosophy. The Revolution in Modern Science*, Harper 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.

# **Elementos Pasivos de Microondas e Implementación de Antenas para Telefonía Celular y Wi-fi**



**Miguel Ángel Cortes Arteaga  
Othón Gandarila Carrillo  
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.**

## Resumen

*En este proyecto se diseñaran algunos dispositivos pasivos de microondas y se analizará su comportamiento por medio de simulación y elaboración de circuitos. Así mismo, estudiaremos el comportamiento de los diferentes tipos de microcintas (antenas de parche), así como su patrón de radiación, como afecta la forma de la antena al mismo y los diferentes tipos de arreglos y comportamiento de las líneas de transmisión formadas por microcintas (Microstrip). La forma geométrica de la antena implica un análisis de línea de transmisión por lo que buscamos una expresión matemática que describa los campos específicamente para ciertas geometrías. Para esto, se ha realizado un estudio, para diseñar un parche alimentado por medio de línea Microstrip y sonda coaxial, todo esto con ayuda de las herramientas de simulación necesarias. También se diseñaran antenas para la operación de señales celular y Wi-Fi, con diferentes tipos de medidas, para así estudiar su comportamiento por medio de su resonancia, y poder determinar su ganancia y su ancho de banda de cada tipo de antena.*

## OBJETIVO

Describir los principios de diseño para diferentes tipos de antenas de parche o Microstrip, para formar antenas de tecnología impresa, conocer y entender su funcionamiento y sus características, así como las diferentes geometrías y ganancias, para poder aplicarlas y usarlas en la transmisión y recepción de señales Wi-Fi, así como en el uso de celulares.

El diseño de estas antenas debe ser de tal manera que funcione para banda ancha con una frecuencia central de 2.45 GHz. Debemos tomar en cuenta que la geometría de las antenas debe ser rectangular, así como conocer las características del material de sustrato con el cual se desea fabricar.

Se debe lograr una ganancia de alrededor de 10dB en vertical a la antena, y una patrón de radiación debajo de los 3dB.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente el uso de las comunicaciones inalámbricas ha incrementado, ya sea por medio de voz, video, internet, datos, etc. Todo esto, está generando una gran demanda de ancho de banda, por lo que se requiere que las comunicaciones se

enfocan hacia las frecuencias de microondas para poder abastecer esta demanda, ya que a mayor velocidad se requiere de mayor ancho de banda.

La teoría electromagnética nos ayudará a entender el comportamiento de los circuitos de microondas ya que con esta podemos entender el comportamiento de la radiación de las microondas, y con esto poder entender cómo funciona la recepción de las antenas. Las microondas han ayudado a desarrollar muchos avances tecnológicos. Pero estas son solo una rama del campo electromagnético.

En este proyecto se estudiará el funcionamiento de las antenas de parche o también conocidas como antenas de microcinta o "Microstrip". Las cuales funcionan en el rango de microondas, estas son muy usadas en el área de telefonía y recepción de señal Wi-Fi. La ventaja de este tipo de antenas es que son pequeñas, de fabricación sencilla, se pueden crear diferentes tipos de arreglos con las mismas y se puede adaptar a diferentes frecuencias de resonancia y polarización.<sup>[1]</sup>

Para poder comenzar con el estudio de antenas "Microstrip". Tenemos que saber que son las **microondas**. a las ondas electromagnéticas; generalmente de entre 300 MHz y 300 GHz, que supone un período de oscilación de 3ns ( $3 \times 10^{-9}$  s) a 3ps ( $3 \times 10^{-12}$  s) y una longitud de onda en el rango de 1m a 1mm. Otras definiciones, por ejemplo las de los estándares IEC 60050 y IEEE 100 sitúan su rango de frecuencias entre 1 GHz y 300 GHz, es decir, longitudes de onda de entre 30 centímetros a 1mm.<sup>[1]</sup>

Una forma de clasificar las bandas de frecuencia de microondas, es por aplicaciones

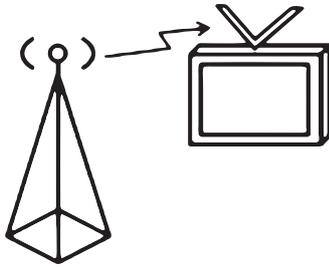
- Radio
- Televisión
- Uso publico

## Concepto de Antenas

Sabemos que las antenas son dispositivos los cuales captan la señal de radio y televisión pero como definimos una antena.

## ¿Qué es una antena?

Una antena es un dispositivo el cual emite y/o recibe ondas de radiofrecuencia. Las cuales convierten las señales eléctricas en ondas electromagnéticas y viceversa.



Ejemplo de antenas

Existen antenas de distintos tipos, pero todas ellas cumplen la misma misión: servir de emisor-receptor de una señal de radio. Cuando la comunicación fluye en ambas direcciones, se denomina bidireccional. Si dicha comunicación no se efectúa simultáneamente, sino alternativamente, se denomina comunicación semiduplex. Todas las comunicaciones dentro del ámbito WIFI son bidireccionales semiduplex.<sup>[2]</sup>

- ✓ Parámetros de una antena
- ✓ Patrón de radiación
- ✓ Ganancia
- ✓ Directividad
- ✓ Ancho de banda
- ✓ Polarización
- ✓ Impedancia de entrada
- ✓ Resistencia de radiación

Algunas de estas características, las podemos encontrar en los dispositivos pasivos de microondas.<sup>[3]</sup>

### Dispositivos pasivos de microondas

En la ingeniería de microondas existen dos tipos básicos de elementos pasivos de circuito, estos son los elementos concentrados. Que reciben su nombre debido a sus pequeñas dimensiones comparados con la longitud de onda, y los elementos distribuidos, cuyas dimensiones son comparables a la longitud de onda.

El diseño de circuitos de altas frecuencias puede realizarse con dispositivos concentrados, y con la teoría convencional de circuitos y líneas de transmisión, tomando solo en consideración los efectos de segundo orden en los dispositivos, que se manifiestan cuando la longitud de onda es un poco mayor que sus dimensiones.<sup>[6]</sup>

### Características

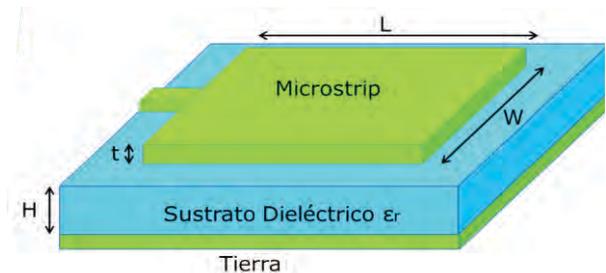
Esta forma de diseñar es particularmente aplicable en frecuencias RF con elementos discretos de circuito, o bien, en circuitos integrados monolíticos

de microondas (MMICS). Cuando la longitud de onda es del mismo orden de magnitud que los elementos y dispositivos empleados (elementos distribuidos), además de tener una distribución de corriente no homogénea sobre los elementos, pueden manifestarse uno o más de los siguientes efectos electromagnéticos.

- Resonancia
- Difracción
- Radiación
- Reflexión
- Acoplamiento electromagnético

### Microstrip o Antenas de parche

La tecnología de antenas de Microcintas (Microstrip), recibieron una considerable atención en la década de los 70's, aunque esta idea puede remontarse a 1953 y obtuvo su patente en 1955. Las antenas de parche o antenas microstrip, son antenas fabricadas con circuito impreso. Son un tipo de línea de transmisión eléctrica, la cual se fabrica usando una placa de circuito impreso (PCB), consiste en una franja de conducción separada de un plano de tierra, por medio de un sustrato dieléctrico. Se utilizan para transmitir señales de microondas usadas por diferentes tipos de componentes, como antenas, acopladores, filtros, divisores de frecuencia, etc. Todo esto puede ser formado por microstrip. La tecnología microstrip hasta ahora es más económica que la tecnología tradicional de guía de onda, con la ventaja de que es más ligera y compacta. Este tipo de antena se encuentra dentro de los dispositivos pasivos de microondas.



Antena microstrip con parche rectangular

### Aplicaciones

Este tipo de antenas tienen diferentes aplicaciones, ya que es una tecnología que nos permite reducir costos y aumentar eficiencia, de equipos que requieran de estas antenas, a continuación veremos las ventajas y aplicaciones para las antenas de parche.

## VENTAJAS.

- ✓ Pequeño tamaño y poco peso
- ✓ Ajustable a superficies no planas
- ✓ Fabricación sencilla y económica a gran escala
- ✓ Robustez mecánica (montado en superficies rígidas)
- ✓ Sencillez de realización de arreglos.
- ✓ Fácil integración en equipos y circuitos integrados de microondas
- ✓ Versátiles en la elección de la frecuencia de resonancia o la polarización
- ✓ Se usan para frecuencias elevadas en el rango de microonda u ondas milimétricas
- ✓ Frecuencias de operación de 400Hz a 40 GHz

## APLICACIONES

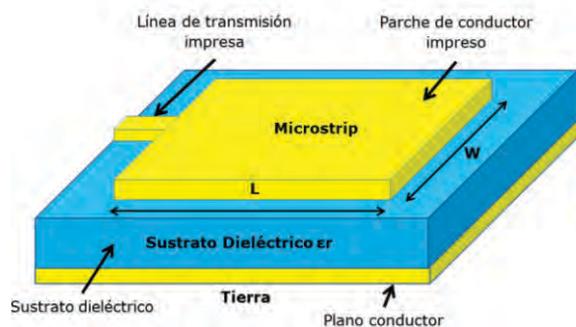
- ✓ Antenas embarcadas en misiles
- ✓ Altimetros radar en aviones
- ✓ Antenas de exploración radar en satélites
- ✓ Sistemas GPS
- ✓ Telefonía móvil
- ✓ Comunicación Wi-Fi
- ✓ Comunicaciones móviles por satélite

### Alimentación de microstrip

Las antenas de parche tienen diferentes formas de conectarse o alimentarse, podemos conectarlas por medio de una línea microstrip, usando una sonda coaxial o alimentación por proximidad.

### Línea microstrip

Esta consiste en conectar el parche de antena, por medio de una línea de transición de tipo microstrip. La cual debe ser delgada, ósea más pequeña que el parche.

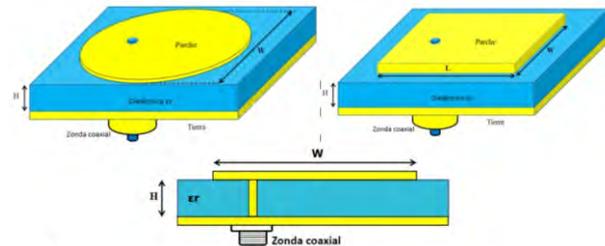


Modelo de una antena de línea microstrip

La fabricación de este tipo de antena es fácil de realizar, solo que la desventaja es que en la línea de alimentación, tiene radiación espuria por parte del conector coaxial, la cual tiene un ancho de banda alrededor de 2% y 5%. [5]

### Sonda coaxial

Este tipo de alimentación se realiza por medio de una sonda coaxial, la cual consiste en una perforación dentro del parche, en el cual conecta la tierra por medio de un conector coaxial.



Ejemplos de antenas de parche, sonda coaxial

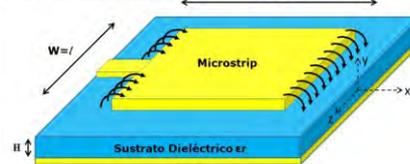
El circuito equivalente de la antena de sonda coaxial es equivalente solo que no incluye la línea de transmisión que se usa en la antena de línea microstrip.

### Principios de funcionamiento.

Este tipo de antenas son usadas para altas frecuencias ya que se adaptan a circuitos de microondas, son livianas y se pueden acoplar a superficies planas y no planas. Además son de fácil fabricación. En este caso se diseñaran de manera que tengan una frecuencia de operación, para señales de Wi-Fi.

En primer lugar hay que conocer las características de la antena para poder entender su funcionamiento, el tipo de dieléctrico que usaremos y como es que se alimentan las antenas, esto ya lo analizamos anteriormente. Los parches de las antenas regularmente son rectangulares o circulares, pero también pueden adoptar distintas formas y dimensiones, las cuales deben ser del orden de media longitud de onda. [5]

Analizaremos la distribución de los campos en el interior de la antena



Distribución de los campos eléctricos en la microstrip.

$$d = n \frac{\lambda d}{2}$$

Longitud d del parche

Sabemos que n es un número entero y  $\lambda d$  denota la media longitud de onda en el dieléctrico (con constante dieléctrica  $\epsilon_r$ ). Donde  $v_0$  es la velocidad de la luz en el vacío, entonces:

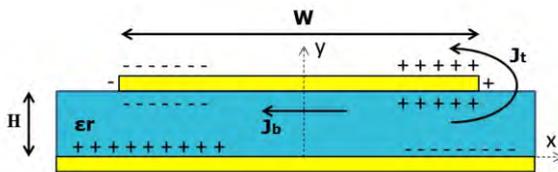
$$\lambda_d = \frac{v_0}{f \sqrt{\epsilon_r}}$$

Media longitud de onda en el dieléctrico

Características de los campos en la antena.

- Se propaga de un modo cuasi-TEM.
- La mayoría del campo se concentra en el dieléctrico.
- El dieléctrico debe ser eléctricamente delgado  $0.003\lambda_0 H < 0.05 \lambda_0$ , para evitar fugas y ondas superficiales.
- Permitividad alta  $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$ , para que las líneas de campo estén confinadas en torno a la línea microstrip.

Cuando se excita la microstrip, se crea una distribución de carga sobre la placa la cual se establece en las superficies superior e inferior, lo mismo sucede en la superficie de la placa de tierra.

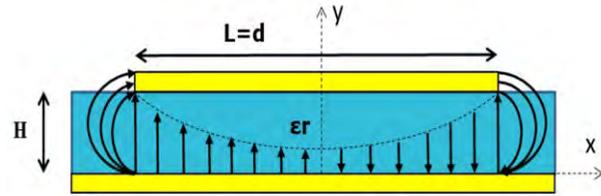


Distribución de cargas y densidad de corriente

Las cargas producen flujos de corriente en la superficie superior e inferior del parche  $J_b$  y  $J_t$ , pero si la anchura del parche es mucho mayor que el espesor del sustrato ósea  $H \ll W$ , se genera un flujo de corriente por debajo del parche y una pequeña corriente que fluye alrededor de los bordes. Conociendo las características de las cargas sobre la antena podemos interpretar el comportamiento de los campos eléctricos de la antena microstrip.

Como las dimensiones del parche no son infinitas las líneas de campo no son cerradas entonces se produce un efecto en los bordes, este efecto se manifiesta en

los cuatro costados y depende del grosor y la permitividad del dieléctrico.



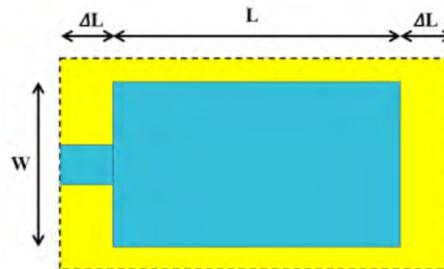
Distribución de los campos eléctricos en el dieléctrico

Algunas ondas viajan en el sustrato dieléctrico y algunas en el aire, sabemos que el sustrato contiene una constante  $\epsilon_r$ , y por lo tanto el parche tiene una constante  $\epsilon_0$ , por esto se define una constante dieléctrica efectiva  $\epsilon_{r,efec}$  el cual tiene contenido el efecto de ambos sustratos. Como  $W > H$ , la constante dieléctrica está definida por la Ecuación.<sup>[5]</sup>

$$\epsilon_{r,efec} = \frac{(\epsilon_r + 1)}{2} + \frac{(\epsilon_r - 1)}{2} \cdot \left(1 + 12 \frac{H}{W}\right)^{-\frac{1}{2}} ; \frac{W}{H} \gg 1$$

Siempre y cuando  $1 < \epsilon_{r,efec} < \epsilon_r$ .

La longitud efectiva ( $L_{efec}$ ) es un parámetro que debemos tomar en cuenta, esta es la longitud del parche más una pequeña extensión  $\Delta L$ , la cual depende de  $\epsilon_{r,efec}$  y la relación  $w/h$ , y se expresa de la siguiente manera.



Longitud efectiva de una microstrip rectangular

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{ref} + 0.3)}{(\epsilon_{ref} - 0.258)} \cdot \frac{\left(\frac{w}{h} + 0.264\right)}{\left(\frac{w}{h} + 0.8\right)}$$

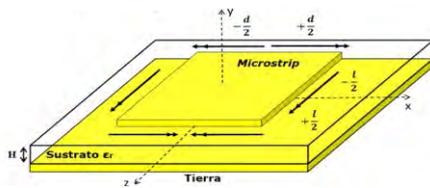
La expresión analítica de la longitud efectiva está dada por la siguiente ecuación:

$$L_{efec} = L + 2 \cdot \Delta L$$

Ahora para la frecuencia de resonancia de la antena, tenemos que está en función de la longitud,  $v_0$  es la velocidad de la luz en el espacio libre.

$$f_r = \frac{1}{2L\sqrt{\epsilon_r}\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} = \frac{v_0}{2L\sqrt{\epsilon_r}}$$

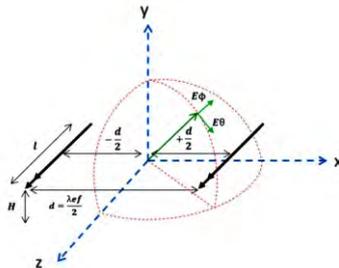
La antena puede ser modelada como una cavidad la cual es delimitada por el parche y el plano de tierra y las cuatro paredes verticales. La radiación de la antena será emitida por las cuatro ranuras que cierran la cavidad, cada ranura puede ser modelada como una lámina de corriente magnética, al considerarse la curvatura de las líneas de campo vistas anteriormente, estos se pueden descomponer en una componente en el eje x y otra en el eje y, las componentes en y están en contrafase en  $x = \pm \frac{d}{2}$ . Esto cancela sus contribuciones por lo que quedan únicamente las componentes según el eje x.



Láminas de corriente magnéticas equivalentes

También se pueden apreciar las corrientes situadas en  $z = \pm \frac{h}{2}$ . tienen sentidos opuestos y varían de respecto a la función  $\sin \frac{\pi x}{d}$  y por lo tanto no producen radiación en la dirección del eje y (el plano normal a la antena).<sup>[5]</sup>

Por lo tanto las antenas de parche pueden ser modeladas por dos láminas de corriente magnética, con una distribución de campos uniformes, con un ancho H, longitud L, en dirección al eje z, separadas por una distancia d y situadas sobre el sustrato dieléctrico. El modelo de la figura solo es válido para el campo radiado en la región  $z \geq 0$  y que el campo radiado en  $z < 0$  es nulo.



Equivalente electromagnético.

Entonces el parche equivale a dos ranuras de  $W \times \Delta L$ , la longitud L se elige para que haya una longitud de fase y la radiación de ambas ranuras de asume en fase por lo que tenemos que:

$$L = \frac{\lambda_g}{2}$$

Longitud en fase

La radiación de los flancos laterales se cancela entre sí. Entonces la anchura del parche está dada de la forma:

$$W = \frac{\lambda_g}{2}$$

Ancho del parche

### Fundamentos de diseño

#### Parche rectangular

Para comenzar con el diseño de la antena de parche, se tiene que especificar la frecuencia de resonancia, la constante del dieléctrico y el grosor del sustrato, el procedimiento se muestra a continuación.<sup>[5]</sup>

1.- Determinamos la anchura del parche usando la siguiente formula.

$$W = \frac{1}{2f_r\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r+1}} = \frac{v_0}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r+1}} = \frac{\lambda_0}{2} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r+1}}$$

$\lambda_0$  Es la longitud de onda  $\lambda_0 = \frac{v_0}{f_r}$  sabiendo que  $v_0$  es la velocidad de la luz en el espacio libre y  $f_r$  la frecuencia de resonancia.

2.- Determinar la constante dieléctrica efectiva  $\epsilon_{r,efec}$

$$\epsilon_{r,efec} = \frac{(\epsilon_r + 1)}{2} + \frac{(\epsilon_r - 1)}{2} \cdot \left(1 + 12 \frac{H}{W}\right)^{-\frac{1}{2}} ; \frac{W}{H} \gg 1$$

3.- Hallar la extensión de longitud  $\Delta L$

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{ref} + 0.3)}{(\epsilon_{ref} - 0.258)} \cdot \frac{\left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{\left(\frac{W}{h} + 0.8\right)}$$

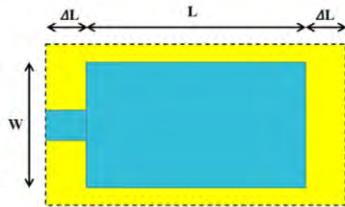
4.- Por ultimo determinamos la longitud efectiva de la ecuación siguiente.

$$L_{efec} = \frac{v_0}{2f_r \sqrt{\epsilon_{r,efect}}}$$

5.- Finalmente obtenemos la longitud L del parche

$$L_{efec} = L + 2 \cdot \Delta L$$

Por lo tanto hemos terminado el diseño para el parche rectangular.



Parámetros para el parche rectangular

### Parche circular

Basado en las ecuaciones del modelo de cavidad, realizamos el procedimiento para el diseño de esta antena de parche, se tiene que especificar la frecuencia de resonancia, la constante del dieléctrico y el grosor del sustrato, el procedimiento se muestra a continuación.

1.- Especificar la constante dieléctrica  $\epsilon_r$ , la frecuencia de resonancia  $f_r$  y el grosor del sustrato H.

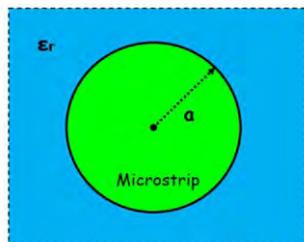
2.- Determinamos el radio del parche por medio de la siguiente ecuación.

$$a = \frac{F}{\left\{ 1 + \frac{2H}{\pi \epsilon_r F} \left[ \ln \left( \frac{\pi F}{2H} \right) + 1.7726 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}}$$

3.- Determinamos la constante F de la ecuación siguiente.

$$F = \frac{8.791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}}$$

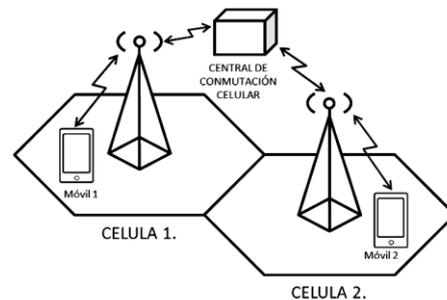
4.- Con esto terminamos el diseño de la antena de parche circular.



Parámetros para el parche circular

### Telefonía Móvil

La **telefonía móvil** o **telefonía celular** es la comunicación inalámbrica a través de ondas electromagnéticas. Se utiliza un dispositivo denominado teléfono móvil o teléfono celular. La telefonía móvil consiste en una red de comunicaciones o red de telefonía móvil, que a su vez se compone de una red de antenas distribuidas sobre la superficie terrestre, las cuales realizan la comunicación entre los teléfonos móviles. Los cuales nos permiten acceder a esta red de comunicaciones.



Esquema básico de telefonía móvil

Las antenas de telefonía se caracterizan por ser bi-direccionales (emisión o recepción) de baja potencia. Además por producir radiación RF, son montadas sobre postes, torres de transmisión, o en los techos de altos edificios, ya que necesitan estar a cierta altura para poder tener una cobertura más amplia.

Cuando una persona se comunica mediante un celular, éste se conecta a la antena más cercana, que a su vez envía la llamada hacia la central de telefonía que nos conecta con nuestro receptor. [10]

La energía eléctrica que utilizamos es corriente alterna con una frecuencia de 50 ó 60 Hz (Hertzios o ciclos por segundo). La radio AM tiene una frecuencia alrededor de 1 MHz, la radio FM tiene una frecuencia alrededor de 100 MHz. Los teléfonos móviles (celuláres) operan desde 800 a 2.600 MHz, dependiendo de la tecnología empleada y el país.

Las Bandas de frecuencia son diferentes en cada región, es por esto que mediante la información brindada por los vendedores y esta lista de las diferentes **bandas de frecuencia de Latinoamérica** podremos saber si funcionarán de manera adecuada en nuestros países. [11]

México:

2G:

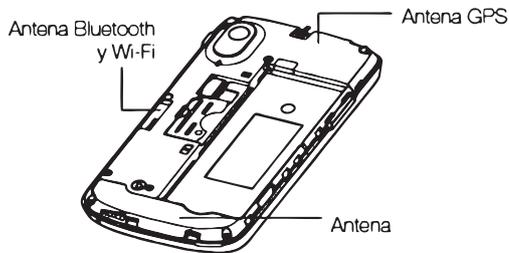
850 y 1900 MHz → Iusacell y Unefon,  
1900 MHz → Movistar y Telcel.  
850 MHz → Virgin Mobile.

3G:

850/900/1900/2100MHz → Telcel.  
800MHz y 1900MHz → Iusacell, Unefon, Movistar.  
1700MHz → Nextel.  
1900MHz → Virgin Mobile.

4G:

1700 MHz y 2100 MHz → Banda 4 AWS; Telcel,  
Nextel, Iusacell.  
1900 MHz → Banda 2 AWS; Movistar.



Antenas de un celular

Conociendo las bandas de frecuencia, podemos determinar si una antena de un equipo es de telefónica celular o señal Wi-Fi, también podemos saber de manera comercial cuales son las compañías con las que puede operar dicha antena.

### WI-FI.

En la actualidad, la tecnología Wi-Fi. Ofrece la mayor cantidad de beneficios al costo más bajo entre todas las tecnologías inalámbricas. Es económica, interoperable con equipos de diferentes fabricantes y puede ser extendida para ofrecer funcionalidades mucho más allá de las previstas originalmente por los fabricantes. Esto se debe a que WiFi utiliza estándares abiertos: enrutadores, Tablet PCs, laptops y teléfonos WiFi pueden interoperar ya que todos se adhieren al estándar 802.11. La mayoría de los dispositivos inalámbricos comerciales (teléfonos móviles, televisión, radio, etc.)<sup>[12]</sup>

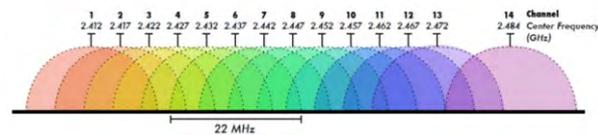
✓ Las bandas ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) permiten el uso de las porciones **2.4-2.5 GHz**, 5.8 GHz, y muchas otras frecuencias (no utilizadas en WiFi).

✓ Las bandas UNII (*Unlicensed National Information Infrastructure*) permiten el uso sin licencia de otras porciones del espectro de 5 Ghz.

La familia de protocolos 802.11. Son la base de WiFi.

- **802.11a** permite hasta 54 Mbps en las bandas no licenciada a 5 GHz.
- **802.11b** permite hasta 11 Mbps en la banda no licenciada a **2.4 GHz**.
- **802.11g** permite hasta 54 Mbps en la banda no licenciada a **2.4 Ghz**.
- **802.11n** permite hasta 600 Mbps en las bandas no licenciadas a 2.4 GHz y 5 Ghz

### Canales en 802.11(WiFi)

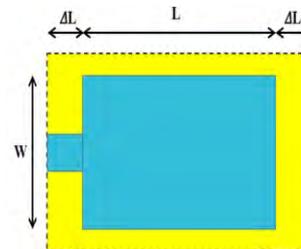


Canales estándar 802.11 Wi-Fi

### Cálculos

#### DIMENSIONES DE UN PARCHE CUADRADO.

Antes que nada hay que saber las características del material con el que vamos a trabajar, en este caso se usaran placas fenólicas que tienen las siguientes características.



Dimensiones del parche cuadrado.

El tipo de material es de PCB Rogers RO4003, el cual tiene las siguientes características.

- H=Altura = 0.813 mm = **0.000813 m**
- $\epsilon_r$  =Permitividad= 3.55.
- Frecuencia de transmisión es de 2450 MHz = **2.45 GHz**.
- **TanD =Tan  $\delta$ = 0.002**.
- **Resistividad =1.72x10<sup>-8</sup>**

**Las dimensiones de la placa fenólica son de 50 mm x 50 mm, Lefec = 0.05 m**

Sabiendo esto, calculamos las dimensiones del parche para L donde  $f_r$  es la frecuencia de operación o de resonancia.

$$L = \frac{v_0}{2f_r \sqrt{\epsilon_r}} = \frac{3 \times 10^8 \frac{m}{s}}{2 \cdot (2.45 \times 10^9) \cdot \sqrt{3.55}} = 0.0325 \text{ m} = \mathbf{32.5 \text{ mm}}$$

Sabemos la longitud del parche, también conocemos las dimensiones de la placa fenólica, obtenemos lo siguiente.

$$L_{efec} = L + 2 \cdot \Delta L$$

$$0.05 \text{ m} = 0.0325 \text{ mm} + 2 \cdot \Delta L$$

$$\Delta L = 0.05 \text{ mm} - 0.0325 = 0.00875 \text{ m} = \mathbf{8.75 \text{ mm}}$$

El ancho W de la antena controla la impedancia de entrada, en un parche cuadrado alimentado por encima de la forma, la impedancia de entrada será del orden de 300 ohm, al aumentar la anchura, la impedancia puede ser reducida, sin embargo, para disminuir la impedancia de entrada de 50 ohm a menudo se requiere de un parche muy amplio, la anchura más bien controla el patrón de radiación.

Ya que deseamos un parche cuadrado realizamos los cálculos siguientes.

$$L = \frac{\lambda_g}{2} \rightarrow \lambda_g = 2L$$

$$W = \frac{\lambda_g}{2} \rightarrow W = \frac{2L}{2} \rightarrow W = L = 0.0325 \text{ m} = \mathbf{32.5 \text{ mm}}$$

Si deseamos un parche rectangular obtenemos el ancho del parche usando la ecuación siguiente.

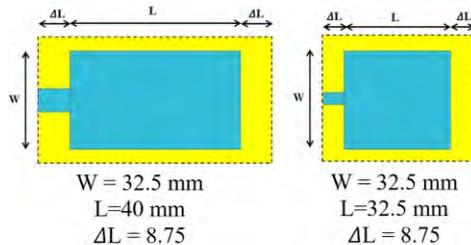
$$W = \frac{v_0}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m}}{2(2.45 \times 10^9)} \cdot \sqrt{\frac{2}{3.55 + 1}} = 0.040 \text{ m} = \mathbf{40 \text{ mm}}$$

El ancho del parche dependerá de la permitividad del material de la antena, para este caso el de las placas fenólicas o el material dieléctrico. En este caso hay diferentes valores para la permitividad del material fenólico.

Tipo de material	Permitividad dieléctrica $\epsilon_r$
Fenólicas (Rellenas de celulosa)	<b>3 - 15</b>
Fenólicas (Rellenas de vidrio)	<b>5 - 7</b>
Fenólicas (Rellenas de mica)	<b>4.7 - 7.5</b>

Permitividad de las placas fenólicas.

Por lo tanto las dimensiones de las antenas quedarían de la siguiente manera.



Dimensiones de las microstrip cuadrada

### DIMENSIONES DE UN PARCHE CIRCULAR.

Ahora vamos a diseñar un parche circular. Como vimos anteriormente, debemos conocer las características del material de la placa, en este caso son las mismas que la anterior.<sup>[13]</sup>

La permitividad dieléctrica de las placas fenólicas oscila entre los 3 y 15, pero las más comunes que se utilizan o que vamos a utilizar en las antenas de parche son de 3.55 y 3.66.

Calculo de la contante F para una permitividad de 3.55.

$$F1 = \frac{8.791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} = \frac{8.791 \times 10^9}{(2.45 \times 10^9) \cdot \sqrt{3.55}} = 1.904$$

$$a1 = \frac{F}{\left\{1 + \frac{2H}{\pi \epsilon_r F} \left[ \ln \left( \frac{\pi F}{2H} \right) + 1.7726 \right] \right\}^2} = \frac{1.904}{1.904} = 1.904$$

$$\frac{1.904}{\left\{1 + \frac{2(0.0813)}{\pi(3.55)(1.904)} \left[ \ln \left( \frac{\pi(1.904)}{2(0.0813)} \right) + 1.7726 \right] \right\}^2} = \frac{1.904}{1.0203} = \mathbf{1.87 \text{ cm}}$$

Calculo de la constante F para un permitividad de 3.66.

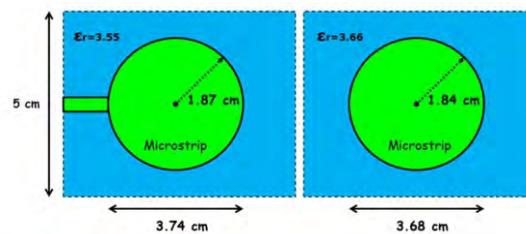
$$F2 = \frac{8.791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} = \frac{8.791 \times 10^9}{(2.45 \times 10^9) \cdot \sqrt{3.66}} = 1.875$$

$$a2 = \frac{F}{\left\{1 + \frac{2H}{\pi \epsilon_r F} \left[ \ln \left( \frac{\pi F}{2H} \right) + 1.7726 \right] \right\}^2} = \frac{1.875}{1.875} = 1.875$$

$$\frac{1.875}{\left\{1 + \frac{2(0.0813)}{\pi(3.55)(1.904)} \left[ \ln \left( \frac{\pi(1.904)}{2(0.0813)} \right) + 1.7726 \right] \right\}^2} = \frac{1.875}{1.0200} = \mathbf{1.84 \text{ cm}}$$

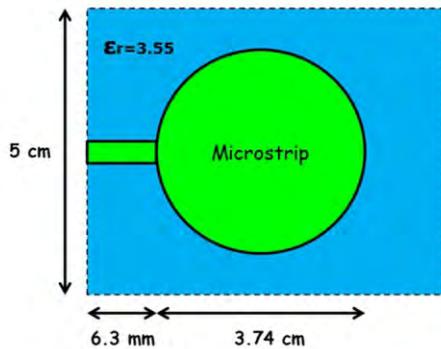
Estos son los radios de las antenas de parche circulares, por lo tanto el diámetro queda dado de la siguiente manera.

- D1 2(a1) 2(1.87 cm) 3.74 cm
- D2 2(a2) 2(1.84 cm) 3.68 cm



Dimensiones de la antena de parche circular

Consideramos que en el intervalo de permitividad [3.55, 3.66], la operación de la antena es la misma ya que el diámetro es en promedio de 3.7 cm

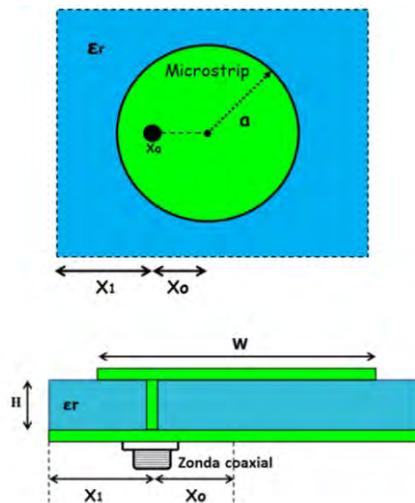


Dimensiones de la antena línea microstrip circular

Para el cálculo de la antena de parche con alimentación de sonda coaxial, se realiza de la misma manera los cálculos para las dimensiones, en este caso los haremos para una antena de simetría circular. Pero necesitamos calcular el punto de alimentación donde se instalara la sonda coaxial para la operación de la antena. Para esto necesitamos la siguiente ecuación. [14]

$$X_0 = \frac{0.2064}{\pi} \cdot \sin^{-1} \left( \sqrt{\frac{Z_0}{196}} \right)$$

Esta distancia está dada del centro, al punto de alimentación del parche



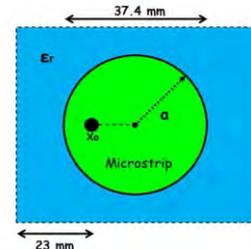
Punto de alimentación de la antena de zonda coaxial

Sabemos que la impedancia de entrada de la antena  $Z_0$  es de  $50 \Omega$ .

$$X_0 = \frac{0.2064}{\pi} \cdot \sin^{-1} \left( \sqrt{\frac{50}{196}} \right) = 1.9 \text{ mm} \cong 2 \text{ mm}$$

$$X = X_0 + X_1 = 25 \text{ mm} \Rightarrow X_1 = 25 \text{ mm} - X_0 = 25 \text{ mm} - 2 \text{ mm} = 23 \text{ mm} \Rightarrow X_1 = 23 \text{ mm}$$

Por lo tanto las dimensiones de la antena quedan de la siguiente manera.



Dimensiones de la antena de zonda coaxial

### Simulación de la antena de línea microstrip cuadrada.

Ya que entendimos el comportamiento de las diferentes geometrías de las antenas, ahora debemos diseñar la que corresponde para el caso de las señales de Wi-Fi. Usamos el simulador QucsStudio, este nos ayudara a simular la antena requerida para la operación de frecuencias de **2.4-2.5 Ghz**.

Para simular la antena de línea microstrip en el QucsStudio, requerimos de hacer un diagrama con dos líneas de transmisión una representando la antena y otra representando la línea de transmisión que conecta al parche. La antena tiene dimensiones de  $W=L=33.08 \text{ mm}$  estas dimensiones se obtuvieron con la herramienta del simulador, para calcular las dimensiones la antena, podemos notar que son aproximadas a las calculadas y la línea de transmisión  $W=8 \text{ mm}$ ,  $L=3 \text{ mm}$ , esta medida se tomó de la antena ya fabricada, ya que la línea que une el conector con el parche microstrip es muy delgada, por lo que para simular dicha línea se agregó otro sustrato al diagrama, ya que con esto representamos una antena de línea microstrip. Se tomó una impedancia de entrada de  $50 \Omega$ , por características de diseño, ya que esta es la impedancia de acoplamiento para los equipos de transmisión y recepción.

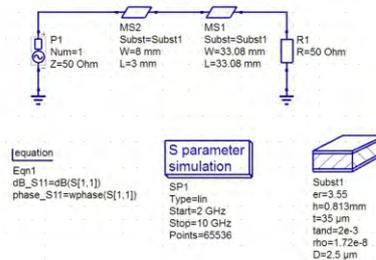


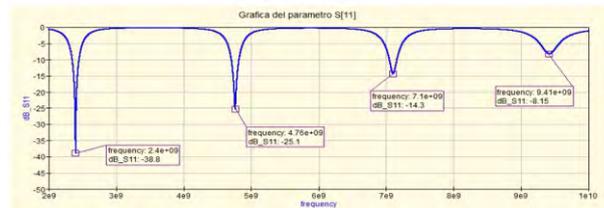
Diagrama antena de línea microstrip

Obtenemos la gráfica del parámetro  $S[1,1]$  en dB, el cual observamos que está dentro del ancho de banda Wi-Fi que es de **2.4-2.5 GHz**. Con una frecuencia de resonancia de 2.4 GHz. Y una ganancia de -38.9 dB.



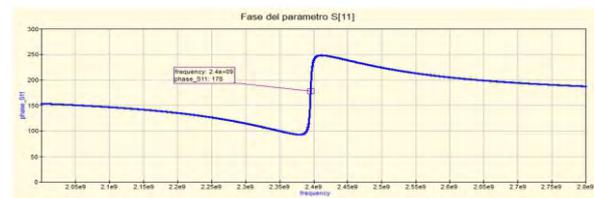
Ganancia de la antena en decibeles, línea microstrip

Para observar mejor las frecuencias de resonancia con ganancia en dB tomamos en el intervalo de 2 GHz a 10 GHz, las cuales son los armónicos y se repiten en múltiplos de **2.4 GHz** aproximadamente. Ya que el simulador nos entrega valores cercanos.



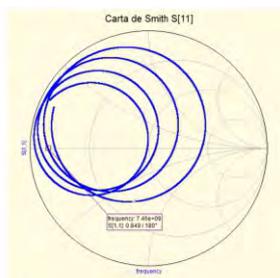
Frecuencia de resonancia parámetros S en dB, línea microstrip

La fase del parámetro  $S[1,1]$ , es igual a la longitud eléctrica de la línea que es de 178 aproximadamente  $180^\circ$  que es  $\lambda/2$ , con frecuencia de operación de 2.4 GHz.



Magnitud de la fase en decibeles, línea microstrip.

Ahora veremos el comportamiento de la antena, usando una carta de Smith.



Carta de Smith para línea microstrip

Se observa que la antena está diseñada dentro de los parámetros de operación. Con una impedancia óptima. Por lo tanto las dimensiones de la antena quedan de la siguiente forma

Microstrip  $\rightarrow W = L = 33.08 \text{ mm} = 3.3 \text{ cm}$

Línea de transmisión  $\rightarrow W = 8 \text{ mm}, L = 3 \text{ mm}$

Esta antena va a recibir frecuencias desde **2.4-2.5 GHz**, con una frecuencia de resonancia de 2.4 GHz que es la frecuencia de operación diseñada para este caso.

## METODO EXPERIMENTAL

En este capítulo observaremos el comportamiento de las antenas de parche o microstrip. Veremos cómo es su fabricación, observaremos el comportamiento de diferentes tipos de antenas de parche, obtendremos su respuesta en frecuencia para los diferentes tipos de señales como son de telefonía celular, Wi-Fi y las señales que hay en el ambiente.

Para esto necesitaremos el equipo necesario para realizar la fabricación, mediciones y transmisión de datos, los cuales requerimos para la elaboración del proyecto. A continuación se muestra la lista de materiales a ocupar.

Equipo y Material.

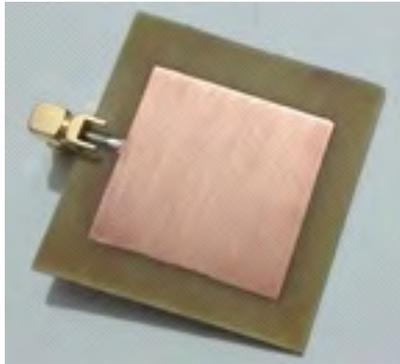
- ✓ 3 Conectores SMA hembra en L.
- ✓ 1 Conector SMA hembra recto.
- ✓ 1 Conector BNC hembra a SMA macho.
- ✓ 1 Analizador de espectro.
- ✓ 3 Placas fenólica de dos caras de 5x5.
- ✓ 1 Placa Fenólica de dos caras de 10x10.
- ✓ 1 Hoja de transferencia para circuito impreso.
- ✓ 1 Botella de cloruro Férrico.
- ✓ Cautín y Soldadura.
- ✓ Plancha.
- ✓ 1 Plumón de tinta permanente.
- ✓ 1 Computadora o laptop con Wi-Fi.

Una vez que tengamos el material listo, procedemos a armar las antenas con las características que se obtuvieron en los cálculos.

## Antena microstrip cuadrada para señal Wi-Fi

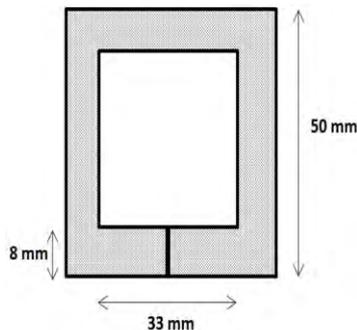
Ahora estudiaremos el comportamiento de una antena de parche o microstrip con geometría cuadrada, realizando las mismas pruebas con el analizador de espectro, tanto para frecuencias en el ambiente, para datos Wi-Fi y telefonía celular. En la

imagen podemos observar una antena microstrip de geometría cuadrada.



Antena de línea microstrip cuadrada

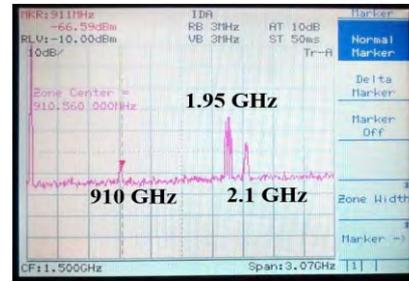
Las dimensiones de la antena son aproximadas a las teóricas, físicamente se tiene que el parche es de dimensiones  $w=33$  mm y  $L=33$  mm, que esta sobre un sustrato dieléctrico de  $W=L=50$  mm, con la cara trasera de cobre como tierra. Estas medidas son las que se diseñaron para que la antena funcionara a 2.45 GHz



Dimensiones de la antena microstrip cuadrada

### Espectro de la antena microstrip cuadrada

Conectamos la antena microstrip a un analizador de espectro y observamos su respuesta en frecuencia, no realizamos ninguna transmisión de datos, solo veremos las frecuencias que recibe la antena del ambiente.



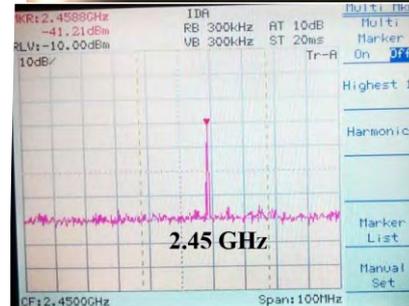
Espectro de frecuencias de la antena microstrip de señales celulares. Vemos que las frecuencias predominantes que detecta la antena en el ambiente son tres, esta antena de igual manera recibe señales de telefonía celular de buena calidad si hacer ninguna llamada, como sabemos las antenas de telefonía están mandando siempre información a los celulares, por lo que detectamos dichas frecuencias.

Estas son las frecuencias que recibe la antena sin transmisión de datos.

- 910 MHz con una ganancia de -66.59 dBm
- 1.95 GHz con una ganancia de -58 dBm
- 2.15 GHz con una ganancia de -63.9 dBm

### Espectro de antena microstrip cuadrada para Wi-Fi

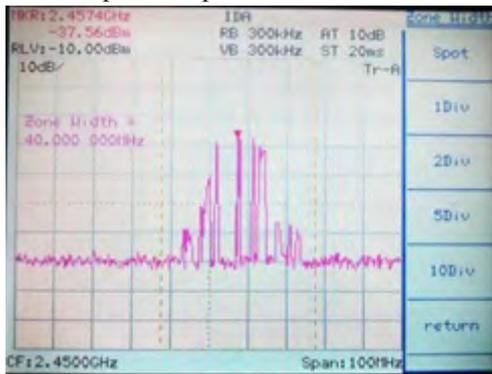
Realizamos el mismo procedimiento colocamos una computadora portátil o celular cerca de la antena, con la cual realizaremos pruebas para la transmisión de datos Wi-Fi. Reproducimos algún video y descargáramos archivos.



Respuesta en frecuencia de la antena con spam de 100 Mhz

Respuesta en frecuencia de la antena con spam de 100 Mhz Para poder observar de manera mas clara la respuesta de la antena, hacemos un spam de 100 MHz sobre la frecuencia de operación de 2.45 GHz para este caso. A simple vista tenemos una ganancia de -41dBm.

Ahora para poder ver con claridad el comportamiento de la respuesta en frecuencia de la antena, hacemos otro acercamiento para poder observar el ancho de banda y la ganancia de la antena cuando esta operando para frecuencias de Wi-Fi.

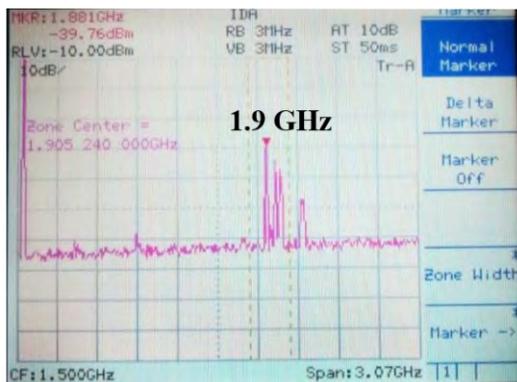


Respuesta en frecuencia de antena microstrip, para Wi-Fi

Podemos observar que la antena tiene una buena recepción para señales de Wi-Fi, y su operación sigue siendo de 2.45 GHz. Con una ganancia de -37.5 dBm y un ancho de banda de 40 MHz aproximadamente. La recepción de la antena se mantiene estable durante el proceso.

### Espectro de antena Microstrip cuadrada para celular

Para observar el comportamiento de la antena para señales de celular, realizamos una llamada cerca de la antena y observamos que es lo que sucede en el analizador de espectro.



Espectro de la antena microstrip cuadrada, para telefonía celular

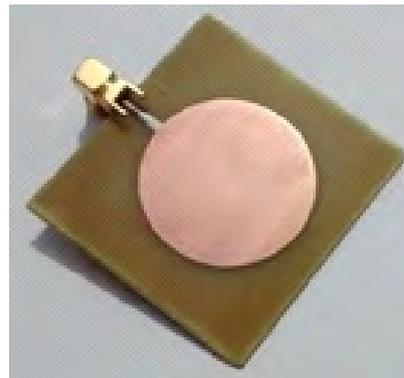
Observamos que la frecuencia de operación para la antena, cuando se realiza una llamada de celular, es de 1.9 GHz aproximadamente con una ganancia de -39 dBm, ya conocemos esta frecuencia de operación para los casos vistos anteriormente, por lo que podemos decir que esta frecuencia es de telefonía celular ya que está es la que usan ciertas compañías para la comunicación vía celular.

En este caso las señales extras que aparecen al realizar la llamada de celular, son muy pequeñas ósea que las frecuencias de 888 MHz y 900 MHz que hemos visto anteriormente con las otras antenas en el analizador de espectro no las capta, para esta antena se encuentran ausentes cuando se realiza la llamada. Podemos decir que la antena detecta mejor las señales en GHz, esto se puede deber a la geometría de la misma.

La antena de parche cuadrada tiene un buen funcionamiento tanto para las frecuencias de Wi-Fi, como para las frecuencias de celular. Tiene una buena ganancia así como estabilidad en su respuesta. El diseño de esta antena fue el adecuado, ya que opera a la frecuencia que nos interesa que es la de 2.45 GHz para señales de Wi-Fi.

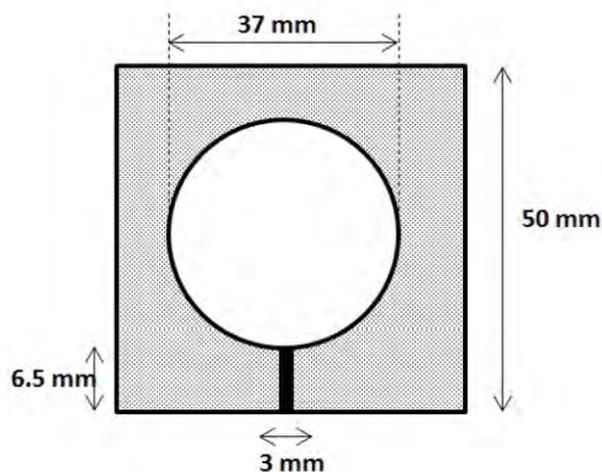
### Antena circular con línea microstrip para Wi-Fi

En este caso estudiaremos el comportamiento de la antena diseñada por medio de un analizador de espectros, con el cual observaremos las frecuencias que capta la misma para diferentes casos, primero cuando la antena recibe las frecuencias que hay en el ambiente, después observaremos el comportamiento cuando hay transferencia de información por medio de Wi-Fi y por ultimo observaremos el comportamiento de la antena por medio de telefonía celular.



Antena circular con línea microstrip

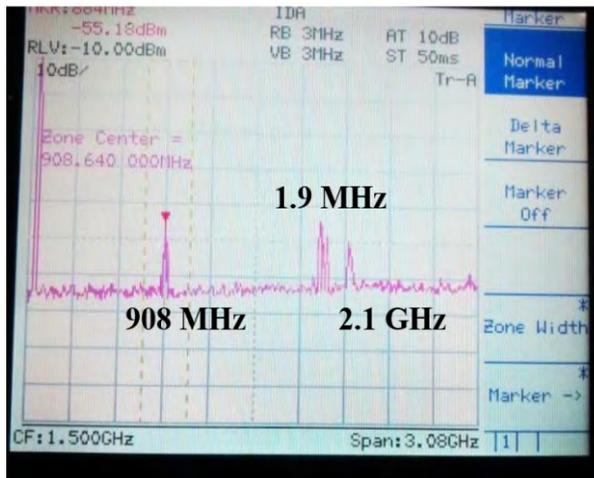
Esta antena consiste en un parche de cobre circular, de un diámetro de 37 mm, sobre una placa de sustrato dieléctrico de dimensiones de  $W=L=50\text{mm}$ . Con la cara trasera de cobre como tierra. Estas medidas son las que se diseñaron para que la antena funcionara a 2.45 GHz para frecuencias de Wi-Fi. Las dimensiones de la antena son las calculadas teóricamente, pero físicamente son aproximadas ya que pudimos observar esta variación es mínima no afecta los resultados.



Dimensiones de la antena microstrip circular

### Frecuencias de la antena sin transmisión de datos Wi-Fi

Analizamos las frecuencias que detecta la antena, sin transferencia de datos, en este caso observamos que se detectan tres frecuencias.



Espectro de la antena con un spam de 3GHz

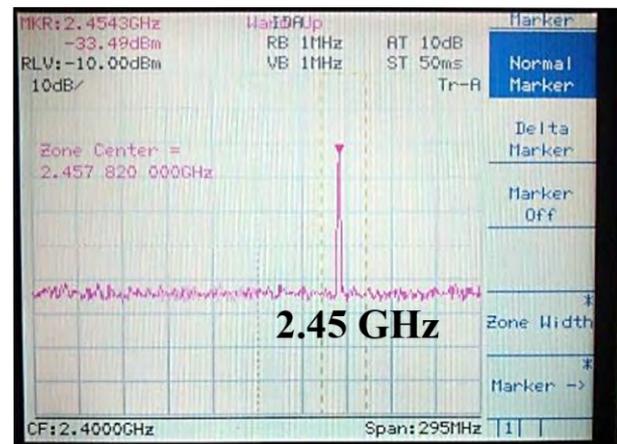
Sin conexión Wi-Fi obtenemos los siguientes datos para las frecuencias captadas.

- 908 MHz con ancho de banda aproximado de 120 MHz a -55 dBm
- 1.9 GHz con un ancho de banda aproximado de 156 MHz a -45 dBm
- 2.1 GHz con un ancho de banda aproximado de 120 MHz a -65 dBm

Como pudimos observar la antena responde a diferentes frecuencias, con una ganancia aceptable si queremos usarla para recepción celular, ya que su banda de frecuencias es amplia, en este caso la respuesta en frecuencia es para un ancho de banda de 400 MHz a 2.1 GHz, está dentro del rango de frecuencias de telefonía celular.

### Frecuencias de la antena con transmisión de datos Wi-Fi

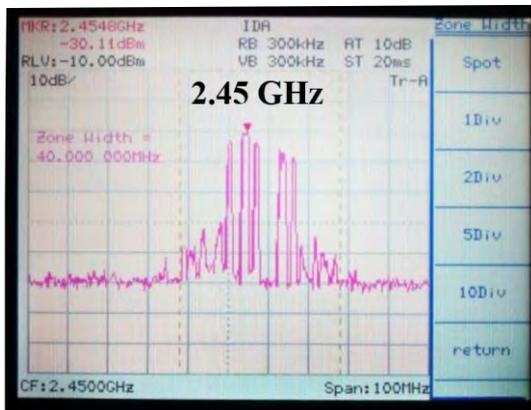
Para este caso, colocamos una computadora portátil o celular cerca de la antena, con la cual realizaremos pruebas para la transmisión de datos Wi-Fi. Para esto podemos reproducir algún video y descargar archivos, por medio de la misma laptop o algún celular.



Respuesta Wi-Fi de la antena.

Observamos que en el analizador de espectro, la respuesta de la antena, al detectar señales de WI-FI, es de 2.45 GHz, esta es la frecuencia a la que se diseñó la antena, para su operación. Tiene una magnitud de 33.5 dBm. La respuesta es inmediata a la hora de transmitir datos.

Ahora, observamos la señal con un spam de 100MHz, esto para ver de manera detallada cómo se comporta la antena y poder observar el patrón de frecuencias que se obtiene al realizar la transmisión de datos mediante Wi-Fi.

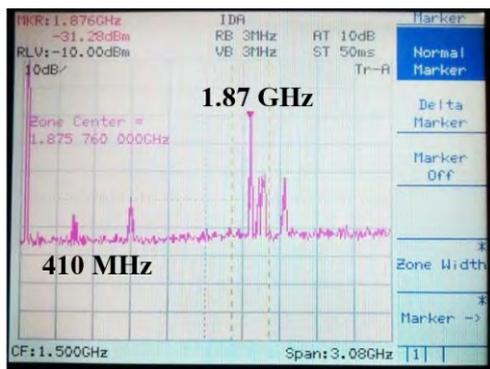


Respuesta en frecuencia con un spam de 100 Mhz

El ancho de banda de la antena para la recepción Wi-Fi, para este caso es de 40 MHz y una ganancia de -30.74 dBm aproximadamente.

#### Frecuencias de la antena con transmisión celular

Realizamos una llamada por medio de un teléfono celular y observamos la respuesta en frecuencia de la antena.



Respuesta en frecuencia de la antena para señal celular

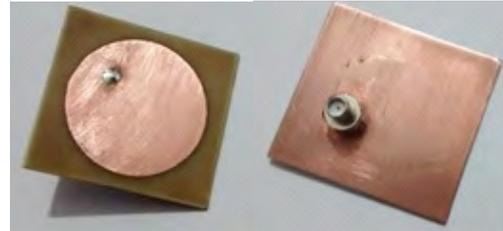
En este caso aparecen dos frecuencias una de 410 MHz y la de mayor respuesta de 1.87 GHz, que está cerca de 1.9 GHz que corresponde a una de las frecuencias de operación de telefonía celular. Tiene un ancho de banda de 300 MHz, Por lo tanto podemos comprobar que la antena tiene una buena respuesta, tanto para celular como para señales Wi-Fi.

Podemos decir que la antena microstrip responde de manera adecuada, para lo que requerimos en la telefonía celular y funciona para la recepción de señales de celular.

#### Antena circular con sonda coaxial para señal Wi-Fi

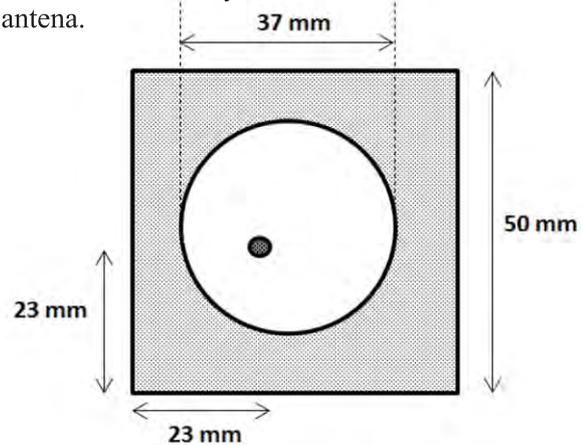
Para esta antena haremos las mismas pruebas, para ver el comportamiento de este tipo de antena, para

los mismos casos. Señales que capta la antena en el ambiente, señales por transmisión de datos Wi-Fi y señales de telefonía celular. La que nos interesa más es el comportamiento de la antena para Wi-Fi.



Antena circular con sonda coaxial

La fabricación de esta antena de parche consiste en un parche de cobre circular de diámetro igual a 37mm y un conector SMA hembra que atraviesa el circuito impreso, el cual está soldado a las dos caras de la placa de cobre, la línea a la antena circular y la tierra a la cara de cobre. Las dimensiones de la antena son las calculadas teóricamente, pero físicamente son aproximadas, ya que pudimos observar que esta variación mínima y no afecta los resultados de la antena.

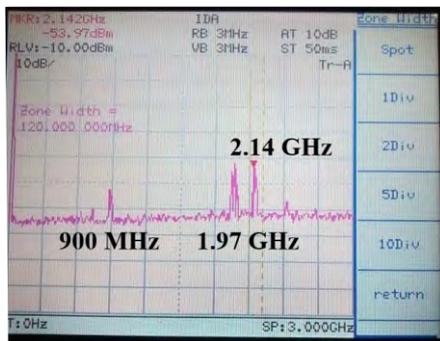


Dimensiones microstrip circular de sonda coaxial

#### Espectro de la antena circular de sonda coaxial

Observamos que la antena capta 3 frecuencias como en el caso anterior, como sabemos estas frecuencias son de telefonía celular, esto nos indica que la antena tiene un funcionamiento adecuado





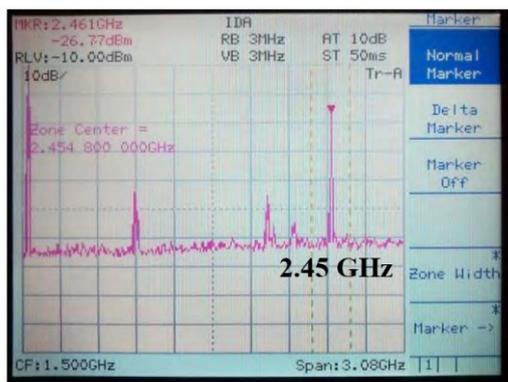
Sin conexión Wi-Fi obtenemos los siguientes datos para las frecuencias detectadas

- 900 MHz con ancho de banda aproximado de 120 MHz a -65.7 dBm
- 1.97 GHz con un ancho de banda aproximado de 155 MHz a -53.9 dBm
- 2.14 GHz con un ancho de banda aproximado de 120 MHz a -53.9 dBm

Estas son las frecuencias captadas por la antena. Sabemos que estas señales de deben a frecuencias que son usadas para telefonía celular que están dispersas todo el tiempo en el ambiente.

### Frecuencias de la antena de sonda coaxial para Wi-Fi

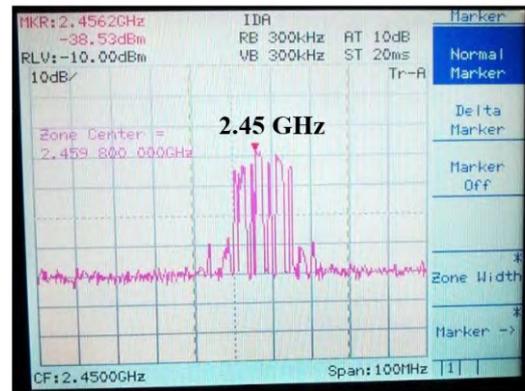
Ahora de la misma forma colocamos una computadora portátil o celular cerca de la antena, con la cual realizaremos pruebas para la transmisión de datos Wi-Fi. Reproducimos algún video o descargáramos archivos.



Respuesta en frecuencia con señal Wi-Fi

En el analizador de espectro, vemos la respuesta en frecuencia de la antena para los datos Wi-Fi, la frecuencia de operación es de 2.45 GHz que es la frecuencia requerida para la comunicación Wi-Fi. Tenemos una ganancia de -26.7 dBm.

Hacemos un acercamiento reduciendo el spam. Para ver mejor la respuesta de la antena. Así como las características del espectro. Capturamos paso por paso el espectro ya que como la respuesta es muy rápida no se alcanza a distinguir la señal

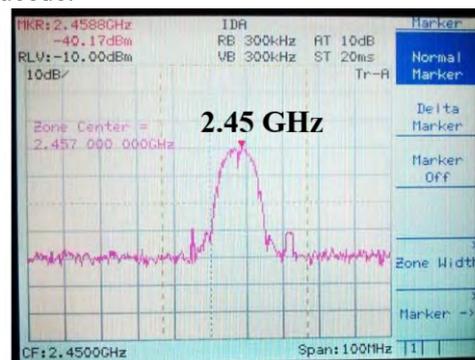


Respuesta en frecuencia, antena de sonda coaxial para Wi-Fi

Tenemos a la frecuencia de 2.45 GHz la cual diseñada para este tipo de antena, observamos que la ganancia es de -38.5 dBm y un ancho de banda de 40 MHz aproximadamente y a un spam de 100 MHz, observamos claramente la operación de la antena cuando se transmiten datos por medio de Wi-Fi, hay diferentes picos que varían durante la transmisión, lo que nos indica que tiene buena recepción, estos resultados se obtienen cuando se reproduce un video.

Ahora podemos decir que la antena de sonda coaxial también tiene una buena operación y funcionamiento para la frecuencia deseada de 2.45 GHz que es la más utilizada para estos casos, y la que requerimos para el diseño de esta antena.

Qué pasa si realizamos una descarga y una reproducción de video al mismo tiempo con una computadora portátil y un celular y observamos lo que sucede.

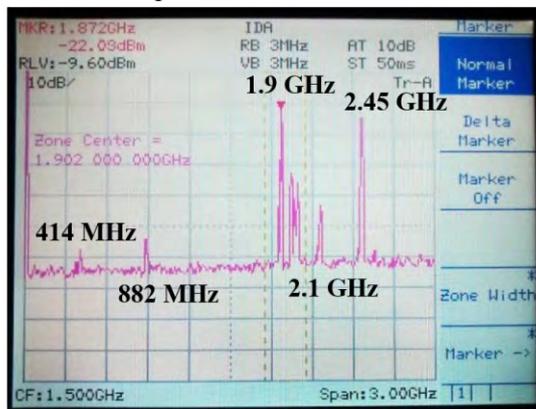


Espectro de la antena de sonda coaxial

En este caso vemos que el espectro es más estable y podemos captar de mejor manera la respuesta en frecuencia, obtenemos una ganancia de  $-40.17$  dBm con un ancho de banda de  $40$  MHz aproximadamente y su frecuencia de operación a  $2.45$  GHz. Podemos notar que con mayor flujo de información, la antena reacciona de mejor manera y puede recibir las señales de varios equipos al mismo tiempo.

### Frecuencias de la antena de sonda coaxial para celular

Para observar el comportamiento de la antena para señales de celular, realizamos una llamada cerca de la antena y observamos que es lo que sucede en el analizador de espectro.



Frecuencias extras de telefonía celular

Las frecuencias que aparecen al realizar la llamada de celular son las siguientes.

- $882$  MHz con una ganancia de  $-63.8$  dBm
- $414$  MHz con una ganancia de  $-66.9$  dBm

Estas frecuencias las podemos considerar como señales de telefonía celular. Ya que están dentro del rango de las frecuencias usadas por las compañías telefónicas. En las imágenes anteriores, se puede observar que se realizó la llamada de celular al mismo tiempo que se realizaba transmisión de datos Wi-Fi. En este caso son las frecuencias de  $2.45$  GHz y  $1.9$ GHz.

### CONCLUSIONES

En este proyecto se realizó el estudio de los dispositivos pasivos de microondas, las antenas de parche en este caso son dispositivos pasivos de microondas, estas se puede utilizar para diferentes aplicaciones, nos enfocamos en el diseño de antenas de parche que se usaran para recepción de señales

Wi-Fi. Estas antenas dependen mucho de las dimensiones y el material del sustrato. Esto nos va a dar la frecuencia de operación a la que deseamos que la antena funcione, para obtener los cálculos de manera sencilla, nos ayudamos con las herramientas necesarias, en este caso se usaron simuladores para líneas de transmisión como el QucsStudio, estos simuladores nos ayudan a obtener las dimensiones de la antena necesarias para que opere a cierta frecuencia, así como también obtener la frecuencia de resonancia o de operación, sus parámetros S y su carta de Smith para ver su comportamiento a diferentes de impedancias.

Las antenas de parche se simularon para que respondan a una frecuencia de operación de  $2.45$  GHz el cual se usa para la transición de señal Wi-Fi. Cada antena debe tener un comportamiento similar y debe responder esta señal. También funcionan para frecuencias de telefonía celular. Al realizar las simulaciones, se obtuvo que las antenas tienen diferentes respuestas en frecuencia, las cuales dependen impedancia de entrada de la antena, esta impedancia de entrada puede ser la que un equipo nos otorga, para el acoplamiento de la antena y así pueda recibir las señales deseadas.

En nuestro caso como requerimos una frecuencia para Wi-Fi de  $2.45$  GHz, El simulador QucsStudio contiene una herramienta para simular las líneas de transmisión, en esta nos ayuda para determinar y calcular las dimensiones de la antena, ya que nos permite decidir la impedancia de entrada de la antena así como la fase a la que queremos que trabaje, esto nos ahorra muchos cálculos a la hora de diseñar las antenas, también como depende de la impedancia, nos ayuda a fijar la frecuencia de operación, y las dimensiones de la antena. Así podemos manipular la forma de la antena si queremos que sea rectangular o cuadrada.

Para el diseño de las antenas, realizamos los cálculos correspondientes para determinar las dimensiones de las antenas, se diseñó de manera teórica las antenas de geometría rectangular, cuadrada, circular y circular de sonda coaxial. Con los valores obtenidos se procedió a realizar las simulaciones de las mismas para después proceder a su fabricación. Los datos obtenidos para las antenas de manera teórica, simulada y práctica son aproximadamente iguales, con algunas variaciones pequeñas, ya sea en

ganancia, ancho de banda y frecuencia de resonancia.

Cuando realizamos las pruebas experimentales encontramos diferentes comportamientos, al conectar la antena al analizador de espectro, se observó que cada antena detecta diferentes frecuencias que hay en el ambiente, las antenas respondieron a las siguientes frecuencias.

- 410 MHz
- 800 MHz
- 850 MHz
- 900 MHz
- 1.9 GHz
- 2.1 GHz

Estas frecuencias están fuera del rango de operación de nuestra antena Wi-Fi, por lo que es fácil determinar que estas señales en el ambiente, son de telefónica celular, ya que las antenas de las diferentes compañías telefónicas, siempre están mandando información a todos los celulares. Por lo que el diseño de estas antenas funciona también para la recepción de señales de telefonía celular. Las compañías que transmiten a estas frecuencias son de Iusacell, Telcel, Movistar, Unefon, Nextel, entre otras.

Al realizar una llamada cerca de las antenas, se observó en el analizador de espectro, que estas responden de manera adecuada, ya que tiene una buena respuesta en frecuencia, buena ganancia y un ancho de banda amplio. El cual nos ayuda captar la mayor parte de frecuencias que mandan las antenas de telefonía. Por lo que concluimos, que este tipo de antena tiene un buen funcionamiento, para la recepción de señales de celular. La frecuencia que las antenas captaron al realizar la transmisión de señal celular fue de 1.9 GHz en todas y con un ancho de banda de 300 MHz, por lo que se puede decir, que la respuesta de frecuencia de las antena depende de la señal de compañía con la que estemos realizando la transmisión de señal celular. La ganancia de las antenas oscila entre los -20 dbm y -60 dbm, para el caso de señales de celular.

Ahora, el aspecto más importante de este proyecto es la recepción de señales Wi-Fi, estas antenas deben de tener una frecuencia de operación de 2.45 GHz, esta

frecuencia de señales Wi-Fi debe ser captada por las antenas, al realizar la pruebas experimentales, se observó su respuesta en el analizador de espectro, se obtuvo que la respuesta en frecuencia para todas las antenas fue de 2.45 GHz, por lo tanto el diseño de las antenas fue el adecuado, obtuvimos un ancho de banda de 40 MHz y una ganancia aceptable, cada antena tiene una amplitud variable, esto se debe a la calidad de la señal Wi-Fi y a la cantidad de equipos conectados en ese momento. La ganancia de las antenas para el caso de señales de Wi-Fi, se identificó esta oscila entre los -20 dBm y -40 dBm. Con estos resultados podemos concluir que las antenas de parche diseñadas para 2.45 GHz cumplen con las características de operación. Y pueden ser acopladas a equipos ya sea módems, aparatos de telefonía, entre otros, las antenas constan de una impedancia de entrada de 50  $\Omega$ . Para garantizar el correcto funcionamiento de las mismas.

Por lo tanto concluimos que las antenas de microstrip, son una alternativa para la transmisión de información, ya sea para Wi-Fi y telefonía Celular, estas son aplicaciones básicas, aunque todavía hay un rango muy amplio en el estudio de los dispositivos pasivos de microondas.

### Bibliografía

[1]<https://es.wikipedia.org/wiki/Microondas>

[2]<http://www.radiocomunicaciones.net/radio/teoria-de-antenas>

[3]<https://es.wikipedia.org/wiki/Antena>

[4] Teoría de líneas de transmisión e ingeniería de MICROONDAS.

Autor: Jose Abel Hernández Rueda.

Universidad Autónoma de Baja California.

[5] ANTENNA THEORY, ANALYSIS AND DESIGN, Third Edition.

Autor: Constantine A. Balanis.

[6] Circuit Simulation using QucsStudio. Tutorial for Beginners and Professionals

Author: Gunthard Kraus. Guest Professor at the Duale Hochschule Baden-Wuerttemberg (Friedrichshafen / Germany)

[7][https://es.wikipedia.org/wiki/Telefonía\\_móvil](https://es.wikipedia.org/wiki/Telefonía_móvil)

[8] <http://www.areatecnologia.com/telefoniamovil.htm>

[9] [http://www.tuotromedico.com/temas/antenas\\_telefonia.htm](http://www.tuotromedico.com/temas/antenas_telefonia.htm)

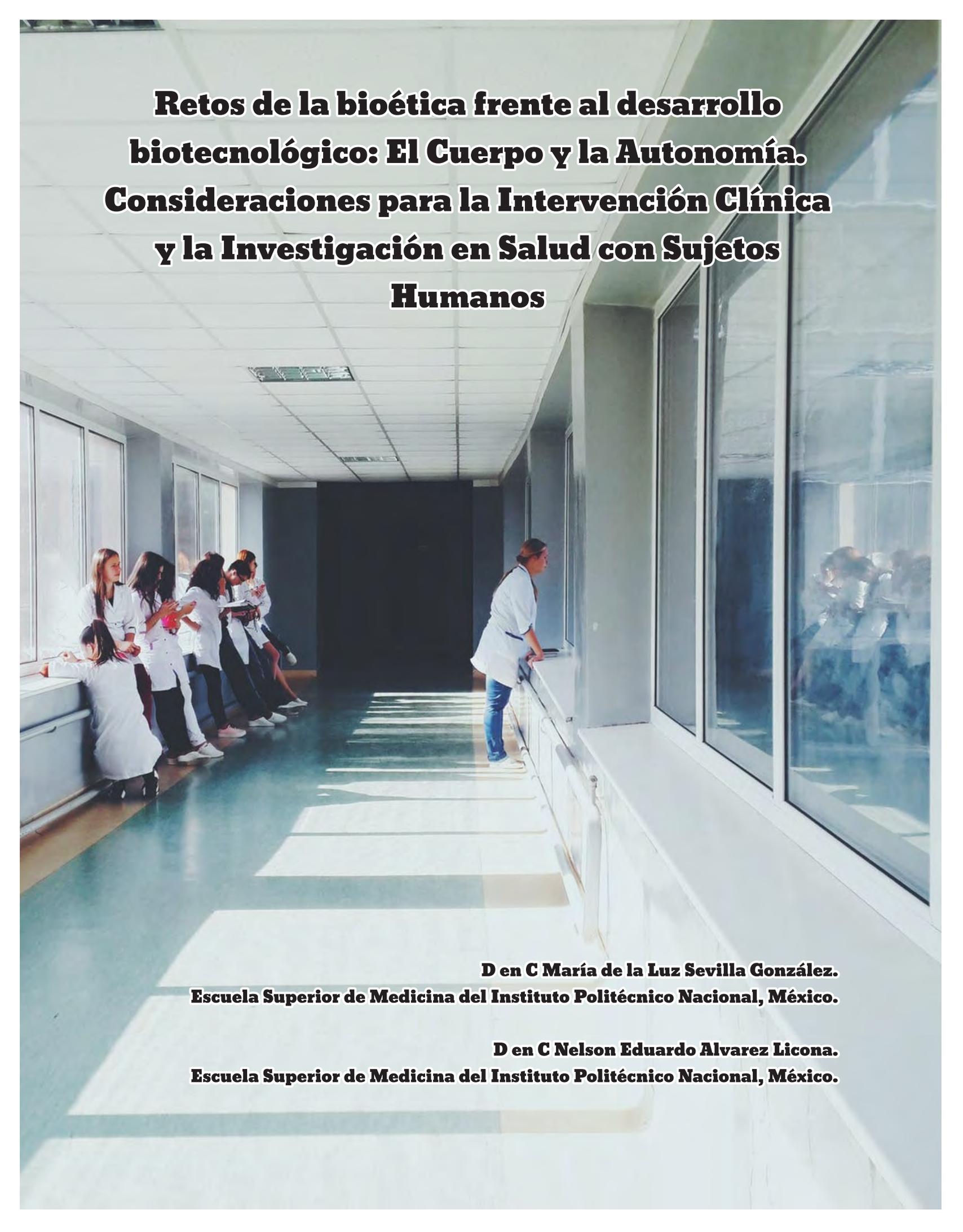
[10] <http://www.monografias.com/trabajos40/antenas-telefoniamovil/antenas-telefoniamovil2.shtml>

[11] <http://www.poderpda.com/wireless/que-bandas-utilizan-las-operadoras-en-latam/>

[12] [http://www.eslared.org.ve/walc2012/material/rack1/05-Introduccion\\_a\\_las\\_redes\\_WiFi-es-v2.3-notes.pdf](http://www.eslared.org.ve/walc2012/material/rack1/05-Introduccion_a_las_redes_WiFi-es-v2.3-notes.pdf)

[13] <https://www.rogerscorp.com/documents/726/acs/RO4000-LaminatesData-sheet.pdf>

[14] <https://es.slideshare.net/lonely113/diseo-de-antena-microstrip>



**Retos de la bioética frente al desarrollo  
biotecnológico: El Cuerpo y la Autonomía.  
Consideraciones para la Intervención Clínica  
y la Investigación en Salud con Sujetos  
Humanos**

**D en C María de la Luz Sevilla González.  
Escuela Superior de Medicina del Instituto Politécnico Nacional, México.**

**D en C Nelson Eduardo Alvarez Licona.  
Escuela Superior de Medicina del Instituto Politécnico Nacional, México.**

**Resumen**

El artículo trata del respeto a la autonomía, que se fundamenta en la consideración de la pertenencia del cuerpo, entendido como cuerpo pensante, al que solo se puede acceder con la voluntariedad de los sujetos sobre los que se interviene. En la legislación mexicana adquiere la categoría de derecho para la participación en intervenciones clínicas o como sujetos de investigación, es importante fomentar la investigación con sujetos humanos, bajo el requisito de mayor beneficio y seguridad para los participantes en estudios. Para que este derecho sea respetado se requiere que se formalice mediante consentimientos informados, que han de testificar que se respeta la seguridad, el bienestar, la dignidad y los derechos de los posibles participantes en este tipo de intervenciones.

Palabras clave: Cuerpo humano. Bienestar. Dignidad. Derechos. Intervención clínica. Investigación con sujetos humanos.

**Abstract**

The article deals with the respect for autonomy, which is based on the consideration of the membership of the body, understood as a thinking body, which can only be accessed with the voluntary nature of the subjects on which intervenes. Under Mexican law acquires the right category for participation in clinical interventions or as research subjects, under the requirement of greater benefit and security for study participants. For this right to be respected is required to be formalized through informed consent, which must testify that security is respected, well-being, dignity and rights of potential participants in such interventions.

Keywords: Human body. Welfare. Dignity. Rights. Clinical intervention. Research with human subjects.

**Introducción.**

*Soy cuerpo viviente y pensante, hombre de carne y hueso, y precisamente por serlo vivo y pienso desde mi aquí y mi ahora. Puesto que mi cuerpo ocupa espacio es espacioso, a la percepción de mí mismo pertenece radical e inexorablemente la conciencia de un <<aquí>>, lugar del espacio en el que vivo y pienso. Puesto que mi cuerpo es tempóreo, fluye en el tiempo, la percepción de mí mismo me remite a un ahora, al instante de tiempo cósmico y del tiempo histórico en el que estoy ejercitando la actividad de vivir y pensar (Lain, 1995: 314)*

La formalización que hacemos de lo que percibimos, depende de los criterios de interpretación que tenemos, los que se han formado en base a los procesos de aprendizaje que se corresponden a las estructuras propias de las sociedades de donde hemos tomado estos, 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: la cultura (Geertz, 2003: 20). De ahí que estos entramados de redes de significado van conforman el sentido común y están en relación a las condiciones de vida de los miembros que los comparten; la historia por ejemplo, encarna en nosotros al ser una perspectiva del ver acerca de los hechos del pasado, que nos permite interpretar el presente y dar sentido de continuidad al futuro. El futuro como referente, se manifiesta desde las imágenes, comportamientos, avances de las de las tecnologías y nuevos planteamientos de las ideas que se normalizan con el tiempo y su vulgarización, impactando en el sentido común al irse normalizando en los usos y costumbres. Así desde determinados contextos vamos conformando redes de significados que se van normalizando y perdiendo la referencia del origen de su surgimiento. 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. Así el sentido que damos a la realidad, manifiesta las estructuras que subyacen y se mantienen dentro de los grupos sociales, muchos de los cuales no son exclusivos sino que son compartidos por distintos grupos humanos, al ser el conocimiento producto de un *contínnum* que es compartido en cuanto a sus referentes que son materia social. De ahí que seamos parecidos al compartir condiciones sociales de existencia. Pero si bien la construcción de la realidad se crea a partir de elementos sociales que nos homogenizan en cuanto a la forma de interpretar lo que percibimos, dado que somos producto de la socialización, somos también 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 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, en este discurrir de la existencia.

Compartimos interpretaciones y muchas de ellas conllevan juicios valorativos a partir de la idea que de nosotros tenemos, que se va adquiriendo en base a un *nosotros*, que como fundamento de la identidad se fomenta dentro de la misma sociedad, reafirmando los elementos de homogeneidad que de la construcción de la realidad se tiene, al vernos reflejados en nuestros semejantes y al compararnos con los *otros*, como una valoración por lo general favorable hacia el *nosotros*, en la parcialización de los espacios y la adscripción a estos por los diferentes grupos a los que nos adscribimos con la designación del *nosotros* vamos homogenizando cosificaciones compartidas que se construyen como elementos de identidad social. Y sin embargo, existe la particularidad en la homogeneidad, *homología*, en la interacción.

aprendemos y nos apropiamos de comportamientos que resultan permitidos y aceptados en determinados grupos sociales, los *habitus* son producto de la historia colectiva, que conforma las estructuras objetivas que se reproducen en formas diversas, manteniendo en su fundamento estos elementos de identidad colectiva, que hacen que sean propias de determinados grupos sociales.

*En realidad, es una relación de homología, es decir, de diversidad en la homogeneidad reflejando la diversidad en la homogeneidad característica de las condiciones sociales de producción, la que une los habitus singulares de los diferentes miembros de una misma clase: cada sistema de disposiciones individual es una variante estructural de los otros, en el que se expresa la singularidad de la posición en el interior de la clase y de la trayectoria. El estilo <<personal>>, de la marca particular que llevan todos los productos de un mismo habitus, prácticas u obras, es solo una desviación con respecto al estilo propio de una época o una clase (Bourdieu, 1991: 104).*

No solo no debemos pensarnos en términos estrictos de homogeneidad, somos además un proceso de constante cambio, donde los diferentes elementos que nos conforman inciden en nuestra percepción e interpretación de la realidad, dependiendo de qué tan importantes son su presencia en un momento determinado, impactando en la construcción de nuestra identidad.

*"La identidad es un estado de realidad, un constructo que hacemos de lo que percibimos. Utilizo la categoría "estado", en razón de que manifiesta: calidad, condición, circunstancia, carácter, naturaleza, temperamento. Por su parte, la categoría constructo expresa: construcción, creación, disposición, ordenamiento. Entiendo al estado de realidad al momento de nuestra existencia en el cual estamos siendo, en el cual estamos existiendo. 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 a partir de los cuales interpretamos lo que percibimos, somos también una existencia propia, en la que formalizamos la realidad desde nuestra óptica particular. La identidad es una experiencia constante en la concreción de nuestro existir" (Alvarez, 2014, p. 27).*

Así en la consideración del cuerpo, 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 de otro, ya que el cuerpo no es solamente una realidad física, sino que es una construcción que tiene uno respecto a su *yo*. Así las funciones y las representaciones de las partes del cuerpo han de pasar por la interpretación valorativa que varía de acuerdo a las construcciones culturales y a la circunstancias en las que se interpreta la interacción de los sujetos, donde las partes del cuerpo son representadas por los distintos actores sociales en contextos particulares y con distintos significados, incluyendo las sensibles significaciones que son propias de experiencias estéticas. De ahí que la dignidad sea una construcción que se realiza en la intimidad del sujeto, donde las representaciones de las interacciones, en sus diferentes modalidades: tocar, ver, oler, percibir sabores, o de las provenientes de construcciones imaginarias acerca de lo que se cree que el otro

piensa respecto a uno; puedan agredir, ofender, menoscabar o respetar e incluso reafirmar la integridad del sujeto desde la representación de la construcción de la identidad que elabora; de ahí que dependa de la perspectiva del ver de quien observa, incluyendo al mismo sujeto observándose, en la construcción de la realidad que tiene un carácter contextual, que ha de ser tomado en cuenta para entender, estudiar y respetar la dignidad del otro. Por ejemplo en el caso de la desnudez, esta tiene una evaluación distinta del sujeto cuando ingresa a las salas de urgencia, donde ha de ser descubierto de su ropa para su revisión, en estas circunstancias será valorada de manera distinta a cuando el paciente ya se encuentra en piso, la diferencia se puede entender al instrumentar la categoría teórica de la identidad entendida como una construcción que está en constante movimiento, así en la valoración respecto a la desnudez inciden las prioridades que en ese momento determina el sujeto a partir de las circunstancias, en el primer caso al ingreso a las salas de urgencia está en juego la vida o la pérdida de una función; y en el segundo cuando ya se encuentra en piso y esta contingencia ha sido rebasada. Sin embargo ¿hablamos de mismo cuerpo? ¡Sí! en cuanto a cuerpo que ocupa un lugar en el espacio ¡No! en cuanto a construcción de realidad, entendido el cuerpo como fenómeno significativo, producto de construcciones valorativas que dependen de situaciones circunstanciales donde la valoración, que está en relación con la red de significados que hemos tejido socialmente, adquiere formas concretas en las experiencias particulares de los sujetos. Particularidad que va variando con el tiempo y nuevas experiencias, pues la vida es un constante discurrir y en este discurrir nuevos elementos han de ser considerados en la interacción de los sujetos, ya que la realidad empírica es experiencia vívida y no especulación sobre esta.

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 donde la individualidad se borrara en la confusión (con-fusión) de sentidos, funciones y significados. 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 evaluación, producto de nuestra integración de conocimientos significativos que parten de nuestra vida vívida en el discurrir de la existencia, donde están presentes no solo el conocimiento explicativo del funcionamiento de las cosas, sino 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.

El reconocimiento de la autonomía implica el respeto a la capacidad y al derecho de las personas a decidir respecto a su cuerpo. El respeto a la autonomía, entendido como el respeto a la libre determinación de los usos del cuerpo, que se corresponden a las representaciones y significaciones que son construcciones que los mismos sujetos elaboran respecto a su persona, se manifiesta como un derecho en la legislación mexicana instrumentado mediante la implementación de consentimientos informados que han de ser individuales y explícitos, válidos para todo sujeto competente. Donde nos encontramos ante dos posibles intervenciones en el cuerpo del otro: 1) en los casos de las intervenciones clínicas; 2) y en el caso de las intervenciones al realizar investigación en salud donde participan sujetos humanos, como sujetos de investigación.

#### **Consideraciones para la intervención clínica.**

En el caso que se corresponde a la intervención clínica, la legislación mexicana reconoce el derecho de los pacientes a no ser intervenidos libremente, se requiere para estos procedimientos del consentimiento por parte del paciente, que en principio debe ser verbal, pero debe de quedar constancia escrita de éste acuerdo. El que sea un consentimiento básicamente verbal esta en razón de que se funda en la confiabilidad que se realiza en esta aceptación del otro como auténtico, en la relación que se establece entre el médico y su paciente. Donde un sujeto Competente. Recibe de un profesional de la salud información. Que la capacita para tomar decisiones. Por lo que la información ha de ser: Comprensible. Suficiente. Adecuada a las

necesidades. Que ayude a decidir. En el marco de un diálogo donde la aceptación de la autenticidad del otro posibilita el encuentro de realidades en este estar siendo. De compartir en la medida que se tienen experiencias respecto al mismo fenómeno, que es el que se trata y sobre éste todos, los implicados tienen algo que decir, tanto el clínico, como el paciente. *"Uno puede encontrarse de dos maneras con la gente: desde la postura "ustedes no saben y yo sé", o desde otra postura "ustedes saben todo lo que todo lo que yo voy a decir, porque todo lo que voy a decir tiene que ver con ustedes y conmigo" (Maturana, 1997: 41).* En el primer caso nos encontramos ante la negación del otro creando la distancia que imposibilita el diálogo, ya que sobre la desconfianza no se pueden construir lo social, solo puede surgir la confrontación y la competencia, nunca el diálogo. En la otra postura, la posibilidad de comunicación está dada por la aceptación de la autenticidad del otro, en esta aceptación en la cual todos tenemos algo que decir, ya que hablamos de algún fenómeno que vivimos, si bien de manera distinta, al ser interpretada desde distintos referentes.

*Hay algo que uno siempre sabe, aunque tal vez uno no se detiene a reflexionar en ello, o porque no quiere reflexionar o porque piensa que la reflexión va tomar mucho tiempo. Me refiero a dos cosas: la primera es que si uno se encuentra con otro, el otro lo puede escuchar a uno solamente en la medida en que uno acepta a otro; la segunda es que la aceptación del otro se da en la emoción y no en la razón (Maturana, 1997: 45).*

¿Por qué Humberto Maturana se refiere a que la aceptación del otro se da en la emoción?, la emoción es: *Todo estado, movimiento o condición por el cual el animal o el hombre advierte el valor (el alcance o la importancia) que una situación determinada tiene para su vida, sus necesidades, sus intereses (Abbagnano, 1974).* Porque en la emoción valoramos la importancia que para nosotros tiene una situación determinada, como lo indica la aceptación de la categoría. En base a la emoción, elegimos los referentes con los cuales formalizamos la percepción. En el contexto de la interacción clínica, el consentimiento informado testimonia un diálogo mediante un documento, pero este procedimiento deberá ser entendido como un proceso donde un sujeto competente, recibe de un profesional de la sanidad una información que le

ayuda a tomar decisiones. Así la información debe cubrir con ciertas características: debe ser comprensible, suficiente, adecuada para las necesidades y que ayude a decidir.

La información de los consentimientos informados para las intervenciones clínicas, han de cubrir con los siguientes requisitos: Descripción del proceso; Objetivos y forma de realizarlos; Riesgos, molestias y efectos secundarios; Beneficios a corto, mediano y largo plazo; Procedimientos alternativos; Efectos previsibles si no se realiza ninguno de ellos; Criterios de preferencia del médico; Posibilidades de ampliar toda la información; Libertad para reconsiderar la decisión.

La Ley General de Salud, en el Capítulo IX, *Derechos y Obligaciones de los Beneficiarios* establece distintas obligaciones, entre las que destacamos las referidas a la autonomía, entendida como un derecho:

*Artículo 77 bis 37.- 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;*

*"X. Ser tratado con confidencialidad;*

*"XI. Contar con facilidades para obtener una segunda opinión;"*

### **Consideraciones para la investigación con sujetos humanos.**

El respeto a la autonomía en las investigaciones en salud con sujetos humanos, el derecho se refiere a decidir participar o no como sujeto de investigación, en base a conocer claramente el procedimiento al que se le invita a participar. Este derecho ha sido establecido en todas las normativas internacionales, iniciando en el Código de Nüremberg, donde fueron enjuiciados 23 médicos y científicos nazis por la tortura y el asesinato de presos que tenían en los

campos de concentración y que fueron utilizados como sujetos de investigación en 1945 al finalizar la Segunda Guerra Mundial. El Código de Núremberg se destaca por ser la primera normativa internacional que establece mecanismos para la protección de los sujetos que participan en investigaciones médicas, son 10 puntos, siendo en el primero donde se establece que es absolutamente esencial el consentimiento a participar de los sujetos de investigación.

*1) El consentimiento voluntario del sujeto humano es absolutamente esencial. Esto quiere decir que la persona implicada debe tener capacidad legal para dar su consentimiento; que debe estar en una situación tal que pueda ejercer su libertad de escoger, sin la intervención de cualquier elemento de fuerza, fraude, engaño, coacción o algún otro factor coercitivo o coactivo; y que debe tener el suficiente conocimiento y comprensión del asunto en sus distintos aspectos para que pueda tomar una decisión consciente. Esto último requiere que antes de aceptar una decisión afirmativa del sujeto que va a ser sometido al experimento hay que explicarle la naturaleza, duración y propósito del mismo, el método y las formas mediante las cuales se llevará a cabo, todos los inconvenientes y riesgos que pueden presentarse, y los efectos sobre su salud o persona que puedan derivarse de su participación en el experimento.*

*El deber y la responsabilidad de determinar la calidad del consentimiento recaen en la persona que inicia, dirige, o implica a otro en el experimento. Es un deber personal y una responsabilidad que no puede ser delegada con impunidad a otra persona (Código de Núremberg, 1947).*

Código Núremberg va a ser perfeccionado por la Asociación Médica Mundial, mediante la Declaración de Helsinki donde la autonomía, entendida como un derecho se instrumenta mediante la voluntariedad explícita a participar, tomando en consideración otros elementos que permitan una evaluación justa en términos de un balance Riesgos - Beneficios. *La Declaración de Helsinki (2013) establece en sus artículos 7º y 8º La investigación médica está sujeta a normas éticas que sirven para promover y asegurar el respeto a todos los seres humanos y para proteger su salud y sus derechos individuales.*

Esta Declaración inicia su apartado sobre los Principios para toda Investigación Médica estableciendo en su Artículo 11: *11. En la investigación médica, es deber del médico proteger la vida, la salud, la dignidad, la integridad, el derecho a la autodeterminación, la intimidad y la confidencialidad de la información personal de las personas que participan en la investigación.* Indicando en el Artículo 22 la relación entre competencia y voluntariedad: *22. La participación de personas competentes en la investigación médica debe ser voluntaria. Aunque puede ser apropiado consultar a familiares o líderes de la comunidad, ninguna persona competente debe ser incluida en un estudio, a menos que ella acepte libremente.* Puntualizando en su Artículo 24 las condiciones para que el consentimiento sea debidamente informado:

*En la investigación médica en seres humanos competentes, cada individuo potencial debe recibir información adecuada acerca de los objetivos, métodos, fuentes de financiamiento, posibles conflictos de intereses, afiliaciones institucionales del investigador, beneficios calculados, riesgos previsibles e incomodidades derivadas del experimento y todo otro aspecto pertinente de la investigación. La persona potencial debe ser informada del derecho de participar o no en la investigación y de retirar su consentimiento en cualquier momento, sin exponerse a represalias. Se debe prestar especial atención a las necesidades específicas de información de cada individuo potencial, como también a los métodos utilizados para entregar la información. Después de asegurarse de que el individuo ha comprendido la información, el médico u otra persona calificada apropiadamente debe pedir entonces, preferiblemente por escrito, el consentimiento informado y voluntario de la persona. Si el consentimiento no se puede otorgar por escrito, el proceso para lograrlo debe ser documentado y atestiguado formalmente (Declaración de Helsinki, 2013).*

De aquí se toma como referente en todas las normativas internacionales para la protección de los sujetos de investigación que participan en la investigación médica. La legislación mexicana en muy puntual respecto al respeto a la voluntariedad para participar como sujetos de investigación, que se instrumenta mediante los consentimientos

informados que han de cumplir con una serie de requisitos para que estos sean válidos, y que serán revisados y dictaminada su viabilidad de acuerdo a lo establecido en la normativo nacional e internacional, junto con todo el protocolo, por Comités de Ética en Investigación de la institución de donde proceden los sujetos de investigación, ya que el derechos a la salud (Artículo 4º. Constitucional) se instrumenta mediante las instituciones de salud de cobertura.

El Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud (1983), en su apartado *De los Aspectos Éticos de la Investigación en Seres Humanos*, establece en su artículo 14 lo siguiente: *Art 14... V.- Contará con el consentimiento informado y por escrito del sujeto de investigación o su representante legal, con las excepciones que este Reglamento señala.* Estableciendo en el Artículo 20, que se debe entender por consentimiento informado. *Art. 20.- Se entiende por consentimiento informado el acuerdo por escrito, mediante el cual el sujeto de investigación o, en su caso, su representante legal autoriza su participación en la investigación, con pleno conocimiento de la naturaleza de los procedimientos y los riesgos a los que se someterá, con la capacidad de libre elección y sin coacción alguna.*

Estableciendo en el siguiente artículo las condiciones que ha de reunir el consentimiento informado para que este sea válido:

*Artículo 21.- Para que el consentimiento informado se considere existente, el sujeto de investigación o, en su caso su representante legal deberá recibir una explicación clara y completa, por lo menos de los siguientes aspectos:*

- I. La justificación y los objetivos de la investigación;*
- II.- Los procedimientos que vayan a usarse y su propósito, incluyendo la identificación de los procedimientos que son experimentales;*
- III.- Las molestias y los riesgos esperados;*
- IV.- Los beneficios que puedan observarse;*
- V.- Los procedimientos alternativos que pudieran ser ventajosos para el sujeto;*
- VI.- La garantía de recibir respuesta a cualquier pregunta y aclaración a cualquier duda acerca de los procedimientos, riesgos, beneficios y otros asuntos relacionados con la investigación y el tratamiento del sujeto;*
- VII.- La libertad de retirar su consentimiento en*

*cualquier momento y dejar de participar en el estudio sin que por ello se creen perjuicios para continuar su cuidado y tratamiento;*

*VIII.- La seguridad de que no se identificará al sujeto y que se mantendrá la confidencialidad de la información relacionada con su privacidad;*

*IX.- El compromiso de proporcionarle información actualizada obtenida durante el estudio aunque ésta pudiera afectar la voluntad del sujeto para continuar participando;*

*X.- La disponibilidad de tratamiento médico y la indemnización a que legalmente tendría derecho, por parte de la institución de atención a la salud, en el caso de daños que la ameriten, directamente causados por la investigación, y*

*XI.- Que si existen gastos adicionales, éstos serán absorbidos por el presupuesto de la investigación"* (Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud, 85; Decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud, 2014.).

El derecho se ha llevado, justamente, en la legislación mexicana, a tomar en cuenta la opinión de los menores de edad, esto siempre en base a una evaluación de riesgos-beneficios que se evalúan bajo la consideración de la edad del menor, su madurez emocional e intelectual y la gravedad de la decisión, para que el derecho a decidir, bajo la figura de la *Carta de Asentimiento*, sea instrumentado en los menores de edad. En el artículo 37 del REGLAMENTO de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud, el respeto a la aceptación de los menores a participar como sujeto de investigación, se instrumenta de la siguiente manera: **ARTÍCULO 37.-** *Cuando la capacidad mental y estado psicológico del menor o incapaz lo permitan, deberá obtenerse, además, su aceptación para ser sujeto de investigación, después de explicarle lo que se pretende hacer. El Comité de Ética en Investigación podrá dispensar el cumplimiento de estos requisitos por causas justificadas.*

En la Declaración de Helsinki (2013), se establece en el Artículo 4º: *El deber del médico es promover y velar por la salud, bienestar y derechos de los pacientes, incluidos los que participan médica. Los conocimientos y la conciencia del médico han de subordinarse al cumplimiento de ese deber.*

La carta de consentimiento informado se estructura privilegiando la seguridad, los derechos y el respeto a la dignidad del participante, *máximo*, cuando es una persona enferma. Esta consideración está presente en el REGLAMENTO de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud, se estructura a partir de la consideración de la vulnerabilidad de los sujetos que participan como *sujetos de investigación*, organiza las consideraciones en base a grupos vulnerables. En este Reglamento se establece en su *Artículo 71, inciso II, que en caso de investigaciones farmacológicas que La carta de consentimiento informado será obtenida del sujeto investigado, en su caso, de su representante legal o de su familiar más cercano en vínculo, excepto cuando las condiciones del sujeto le incapacite o impida otorgarlo, el representante legal o el familiar no estén disponibles y el dejar de usar el medicamento de investigación represente un riesgo casi absoluto de muerte*".

El derecho a decidir sobre la participación como sujeto de investigación la legislación mexicana recalca la condición de que la información suficiente y adecuada, además de que la participar se realice sin ninguna coerción.

La legislación mexicana, en el mismo reglamento, considera los casos en los que exista otro tipo de dependencia, para lo que propone en su *ARTICULO 24.- Si existiera algún tipo de dependencia, ascendencia o subordinación del sujeto de investigación hacia el investigador, que le impida otorgar libremente su consentimiento, éste debe ser obtenido por otro miembro del equipo de investigación, completamente independiente de la relación investigador-sujeto*". Alternativa que consideramos insuficiente, ya que la estructura jerárquica se extiende como red de significado para una gran mayoría de los pacientes hacia los miembros de la comunidad médica en cuanto a lo que representan para los pacientes y sus familiares, lo que puede resultar en una forma de coerción hacia el paciente, posible sujeto de investigación, ya que la interacción en el espacio hospitalario con una persona que porta una bata blanca, conlleva los elementos de identidad colectiva con los cuales los pacientes y familiares ubican a los sujetos de la interacción participando dentro de una estructura jerárquica en la cual están insertos y a la que se auto-

inscriben en una estructura de relaciones subordinadas respecto a los médicos, en la que no se puede garantizar que no haya algún tipo de coerción, aun siendo esta no intencionada; además del tiempo y el espacio, dentro de las instituciones de salud que no permiten que las decisiones se tomen con el plazo que requiera que el sujeto invitado a participar.

Algunas instituciones de salud controlan este sesgo acompañando el consentimiento informado con un documento complementario de información que permita que este sea discutido por el posible participante en su casa, con su familia y con las personas que considere de su confianza, para aceptar o no participar con el tiempo suficiente y en las condiciones de seguridad que eviten cualquier tipo de coerción y así una vez evaluada la invitación a participar en una investigación, acepte o rechace su colaboración en un espacio libre de presión, así se puede cumplir con la obligación de proporcionar información adecuada, suficiente y libre de coacción, respetando el derecho a decidir libremente.

### **Conclusiones.**

La fundamentación de la autonomía se basa en la consideración de la pertenencia del cuerpo. Siendo que la construcción del cuerpo, en tanto representación de significaciones que provienen de las construcciones que hacemos a partir de los referentes mediante los cuales interpretamos las percepciones, nadie puede en justicia y en derecho (dentro de los marcos legales en México), intervenir en nuestro cuerpo sin nuestro consentimiento.

La dignidad del sujeto se construye en el espacio de la intimidad, donde construimos la gratificación o la ofensa en circunstancias determinadas, en este constante proceso de construcción de la realidad que estamos haciendo. Así, solo uno puede decidir los usos que se pueden hacer de su cuerpo, que en muchas ocasiones deberán ser entendidas como sensibles representaciones cargadas de juicios valorativos que no pueden ser valorados desde el referente de "verdad" emitido por una determinada perspectiva del ver y por lo tanto del representar.

Esto es lo que fundamenta la autonomía. En México el Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud, establece que la investigación en sujetos humanos solo se realizará

mediante el respeto a la voluntad de participar de los individuos, que se instrumenta mediante el consentimiento informado, que solo es válido si este contiene información clara, importante, suficiente y libre de coacción.

En cuanto al derecho, la legislación mexicana prevé que tanto para las intervenciones clínicas, como para la realización de investigaciones que se realicen con sujetos humanos, que se respete el derecho a decidir voluntariamente sobre la intervención clínica o la participación como sujetos de investigación. De esta manera se resguarda el respeto a la dignidad del sujeto.

### Referencias bibliografía.

- Abbagnano, Diccionario de Filosofía, México, Fondo de Cultura Económica, 1974.
- Alvarez Licona, Nelson, Estigma, prejuicio e identidad en la práctica del tatuaje. Un modelo de análisis para su estudio. México, Instituto Politécnico Nacional, 2014, pp. 27- 39.
- Bourdieu, Pierre, El sentido de la práctica, Madrid, Taurus, 1991, pp. 85 -105.
- Geertz, Clifford, La interpretación de las culturas, Barcelona, Gedisa, 2003, pp. 19 - 24 .
- Código de Núremberg, Tribunal Internacional de Núremberg, 1947.  
[http://oep.umh.es/files/2013/12/Código\\_Nüremberg.pdf](http://oep.umh.es/files/2013/12/Código_Nüremberg.pdf) (consultado 15 de mayo de 2018).
- Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial, Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos, 64ª Asamblea General, Fortaleza, Brasil, 2013 .  
<http://www.wma.net/es/30publications/10policies/b3/> (consulta 10 de agosto 2016)
- Decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud, 2014. Diario Oficial, 2 de abril de 2014.
- Laín Entralgo, Pedro (1995). Cuerpo y alma, Madrid, Espasa Calpe - Austral, pp. 313 - 327.
- Ley General de Salud (última reforma publicada el 4 de junio de 2014)  
2014 México, H. Congreso de la Unión, Cámara de Diputados, LXII Legislatura.  
<http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lgs.htm> (consultado 3 de agosto 2016)
- Maturana Romesín, Humberto, El sentido de lo humano, Chile, J. C. Sáez, 1997, 39 - 46.
- Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud México, México, 1983  
<http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/compi/rlgsmis.html> (consultado 8 de agosto 2016)

**Marie Curie:**  
**Domadora de Radiaciones**



**Martin Guevara Martínez**  
**CONAGUA**



Marie y Pierre Curie Exhibiendo el Radio Foto tomada de elkodaily Free Press

### SUMMARY

No doubt Marie Curie was the first to isolate new and fantastic elements developing a whole chain of discoveries that led to the understanding of the atoms that constitute matter, and where the theory dictated that they were indivisible, but not only that Marie Curie was also the first woman to win two Nobel prizes and in institutions where access to women was prohibited and where assertion was a challenge to overcome obstacles.

Marie Curie, Radio, X-Rays, Polonium.

### LA HISTORIA

Cada 7 de Noviembre se cumple el nacimiento de Manya Sklodowska, mejor conocida en el mundo científico como Marie Curie, una mujer incansable y luchadora de su tiempo con una visión muy clara de sus objetivos. Desde que era estudiante se esforzó muy duro para completar sus estudios de física y matemáticas en un tiempo de tres años. Estudiaba y trabajaba y lo poco que ganaba apenas le alcanzaba para comer, fue un profesor de física de la universidad de Friburgo, de nombre Jose Kowalsky, quien presento a Maria con quien sería su colaborador y esposo, Pierre Curie, un físico que

había alcanzado la fama por su trabajo en el efecto piezoeléctrico, ambos poseían una afinidad intelectual, Pierre al ver el interés de Marie, por la investigación no dudo en prestar su laboratorio, y aunque era un lugar con instalaciones muy precarias, apenas acondicionadas, eso no impidió a Marie seguir su sueño, fue por el año de 1896, que se presentaron algunos acontecimientos científicos muy interesantes, por un lado *Röntgen* (1845-1923) descubría los rayos X y por el otro Henri Becquerel (1852-1908) científico francés experimentaba con minerales de Uranio descubriendo que tenían la propiedad de emitir un tipo de fosforescencia o "rayos" muy penetrantes poco conocidos, esta idea le fascinaba y era suficiente para despertar en Marie Curie ese entusiasmo en trabajar y porque no? domar el misterio de esos "rayos intensos". Además andaba en busca de un tema para su tesis doctoral, que mejor oportunidad!, le tenía preparada el destino, fue así como continuo la tarea de estudiar este curioso fenómeno.

Y es que el hallazgo de los "rayos" que salían de estas sustancias, no eran rayos como tal, sino más bien partículas diminutas, átomos con propiedades radiactivas. Y que para la física de aquel tiempo, el átomo era considerado indivisible e inmutable, por lo que los trabajos de Becquerel y Curie en este campo, condujo a otros científicos a sospechar que la teoría del átomo era insostenible, por lo que atribuirle propiedades era novedoso y como es que se daba el mecanismo por el cual los átomos producían radiactividad.

Marie Curie, sintió intriga por los Rayos de Becquerel y por esa extraña fosforescencia tan penetrante, y así armada con un electrómetro concentrándose en estudiar una gran variedad de compuestos de Uranio principalmente del mineral llamado "pechblenda", porque noto que el Uranio de este mineral era mucho más radiactivo que el Uranio puro, pronto se dio cuenta que esta fosforescencia o rayos que salían del mineral era proporcional a la cantidad de Uranio contenida en el material e independiente de la forma química que se presentara ya fuera sal u óxidos de Uranio.

Su esposo Pierre Curie, se unió a la tarea de ayudarla en su trabajo, moliendo muestras de pechblenda, las disolvían en ácido para luego separarla por procesos químicos de la época, además valga decir que fue

pionera en el desarrollo de técnicas de análisis químico, tal como la cristalización fraccionada, aprovechando que en la solución se forman cristales a diferentes temperaturas, así cuando la solución se enfría uno de los dos elementos cristalizara primero, así en este proceso una de las muestras será más abundante en cristales que en otro, es así que la muestra de su mineral era cada vez más pequeña, cristalizando y separándola de los desperdicios, hasta que por fin llegaron al nuevo elemento que llamaron *polonio* en honor a la patria de Marie, el cual era 300 veces! más radiactivo que el Uranio, sin embargo, el mineral continuaba emitiendo rayos, la persistencia de Marie Curie por domar este fenómeno la hizo continuar separando esta pequeña muestra de mineral hasta que la llevo a dar con la fuente de estos misteriosos "rayos penetrantes" algo realmente extraordinario, un nuevo elemento al que llamaron *radio*. Por estos descubrimientos recibió dos premios nobel, el de física en 1903 por el descubrimiento de la Radioactividad y el de química en 1911 por el descubrimiento de los elementos *radio* y *polonio*. Por fin Marie Curie, había logrado domar este fenómeno además ser la primera en acuñar el término *Radiactividad* que es la propiedad que poseen los elementos inestables de emitir radiaciones. También sin querer abrió una nueva área al análisis de elementos radioactivos como lo es la *Radioquímica* ya que combino las técnicas de la química normal, al estudio de los efectos químicos que producen las transformaciones nucleares, utilizando isótopos radiactivos, estas técnicas son utilizadas en muchos laboratorios del mundo donde se trabaja con elementos radiactivos producidos artificialmente ya sea para investigación o uso médico.

Pero no solo era la hazaña de haber domado y encontrado el origen de la radiactividad como lo era el *radio*, sino que su meta era medir sus propiedades, fue así que siguió moliendo más *pechblenda* y aumentando la concentración de *radio* a tal grado que por las noches en el cobertizo donde trabajaban, dicen que los tubos de ensayo y las capsulas brillaban espontáneamente a lo que Marie Curie llamo "luzes de hadas débiles" y no solo eso. Pierre, pudo notar que el *radio* no solo emitía luz, sino también calor, esta noticia causó revuelo en una conferencia pronunciada en el año de 1900 llenando de entusiasmo a otros científicos quienes imaginaron como estos procesos atómicos estaban generando energía.

Mientras tanto, los recursos económicos para la compra de la materia prima, "la *pechblenda*", comenzaban a escasear lo que resultaba costoso sin un apoyo externo, la pronta intervención de la Academia de Ciencias de Viena que el gobierno Austriaco hizo un obsequio a los Curie de una tonelada de *Pechblenda* de la mina de San Joachimsthal de la región de Bohemia, y se acordó él envió de otras toneladas más, a un precio moderado ya que este mineral se consideraba desecho por no contener Uranio, en ese tiempo el uso del Uranio era principalmente como colorante de cerámica, más sin embargo los Curie supieron descubrir en estos desechos las maravillosas propiedades del *radio* y el *polonio*. Se dice que el Matrimonio Curie logro procesar siete toneladas de *pechblenda*, aprendiendo por las malas que una tonelada contiene menos de un gramo del material altamente radiactivo que tanto buscaban el *radio*.

#### **BENEFICIOS LEGADOS A LA HUMANIDAD.**

Una de las grandes virtudes de Marie Curie, era su espíritu de lucha y esa gran curiosidad de lograr su objetivo, esto a pesar de la situación financiera de los Curie que era inestable, ellos consideraban un error el beneficiarse de manera personal de sus hallazgos científicos, por lo que nunca patentaron ninguno de sus métodos, publicaban sin dudar detalles de los procesos que utilizaron para separar el *radio*, por lo que algunos industriales utilizaron libremente esta información y lograron desarrollar toda una industria de separación del *radio* y del cual la pareja nunca se benefició del auge que ellos mismos había creado.

Para 1914 terminó en París la construcción de un laboratorio exclusivo al estudio de la radiactividad, el Instituto del Radio, por un acuerdo entre el Instituto Pasteur y la Sorbona, con un área dedicada a la investigación médica y otra reservada a la física y la química, dirigida por Marie Curie. Este instituto se mantiene como uno de los principales centros de investigación médica en la actualidad.

Fue Durante la Primera Guerra Mundial que se crearon, con la ayuda de donativos privados, un equipo de expertos en técnicas radiográficas y, con la colaboración de su hija Irene, pusieron en funcionamiento más de doscientos vehículos radiológicos; llamados los "*petits curie*" madre e hija se desplazaron hasta el frente para enseñar a los

médicos los nuevos métodos y técnicas de la radiología, esto es, el uso de los rayos X, mediante el cual podían hacerse visibles balas y fragmentos de metralla que pudieran estar ocultos en el interior del cuerpo de los heridos. Y con ayuda de un cirujano poder extraerlos. Marie Curie fue la primera radióloga por el uso de Rayos X, así también capacitaba al personal que le ayudaba para que pudieran atender a los heridos, les explicaba que era la radiación su uso y los riesgos a una exposición prolongada. Debido a este servicio durante la guerra Marie fue elegida para la Academia de Medicina de Francia en 1920. El resultado de la Guerra arroja para todos los contendientes 15 millones de muertos.

Debido a que la Radiación producía quemaduras en el tejido biológico se pensó en la idea de que esta nueva sustancia podría ser útil para el tratamiento de tumores así como una cura contra el cáncer, Marie Curie desarrollo métodos de radioterapia, bajo su dirección fueron llevados a cabo los primeros estudios en el tratamiento de neoplasias con isótopos radiactivos, por ejemplo, se sabe que Marie Curie vendió a México Mesotorio encapsulado en 10 agujas de platino para fines médicos, específicamente para implantarlo en tumores. Así también aquí en México, por el año de 1896, Luis Espinosa y Cuevas, ingeniero Mexicano graduado en física, y al encontrarse en Berlín fue el primero en adquirir una "máquina de Roentgen" que instaló en la ciudad San Luis Potosí para aplicaciones médicas y diversas demostraciones, así también como usos en radiología. Por lo que se podría decir que San Luis Potosí es la cuna de la Radiología en México.

Hacia mayo de 1921 Marie Curie se propuso emprender en compañía de sus hijas, y de la periodista estadounidense amiga suya, Mary Meloney una gira triunfal por Estados Unidos con el objetivo de recaudar fondos para la compra de un gramo de radio, para el Instituto del Radio (valorado por entonces en cien mil dólares) El Presidente Warren G. Harding le presentó junto con el *radio* adquirido los fondos con que contribuyeron las mujeres norteamericanas. A su regreso a Paris comenzaron a manifestarse en Marie Curie los primeros síntomas de que padecía cataratas, y la sospecha de que las emanaciones de *radio* habían producido quemaduras en la punta de sus dedos por la manipulación del polvo molido. Había recibido suficiente radiación e ingerido bastantes sustancias

radiactivas que incluso su yerno Frederic Joliot al examinar los cuadernos de notas de Marie encontró que estos contenían una gran contaminación radiactiva.

Fue una científica que defendió la vocación humanística de su trabajo y el deber de trabajar en favor del bien de la humanidad. En un mundo que no lo aceptaba del todo, y aunque la Academia de Ciencias en un principio le cerró las puertas al exponerla pública y denigrantemente por su aventura con el físico Paul Langevin, admitió a sus primeras mujeres como miembros en pleno derecho hasta la década de 1970. Marie fue herida interiormente por muchos eventos suscitados en su vida. Pero quizá el evento que dejó la cicatriz más profunda fue la muerte tan repentina de su esposo y colaborador científico Pierre, aplastado bajo las ruedas de un carro tirado por caballos mientras cruzaba una calle de París.

Al final Marie Curie murió a los 67 años de anemia plástica, enfermedad debida a la exposición a la radiación, en esos tiempos no se sabía que las radiaciones eran perjudiciales a la salud, derrotada por las radiaciones del mismo elemento que alguna vez domino. Vivía de una pensión aprobada por la asamblea nacional francesa, poseía dos casas, una en París y otra en la Riviera, el destino quiso que antes de partir presenciara un fenómeno por demás fantástico, el descubrimiento de su hija Irene y su yerno Frederic Joliot, la Radiación Artificial, una victoria magnífica, y una satisfacción para Marie Curie, después de ello llegó a su fin murió en 1934 en un sanatorio de los Alpes Franceses

Actualmente, el radio tiene muy pocos usos, ya que se utilizan sustancias más seguras con propiedades radiactivas, tales como el cobalto y el cesio o el tecnecio.

#### LECTURAS RECOMENDADAS.

BOSCH GIRAL, P. ET AL PIONEROS DE LAS CIENCIAS NUCLEARES, FCE, SEP, CONACYT, 2003

BULBULIAN GARABEDIAN SILVIA, LA RADIATIVIDAD, FCE 1987

PASACHOFF NAOMI, MARIE CURIE: AND THE SCIENCE OF RADIOACTIVITY, OXFORD UNIVERSITY PRESS

BOSCH GIRAL, P. DE VECCHI, B. BULBULIAN,  
S. RADIACIONES POPURRI HISTORICO Y  
CURIOSO ACADEMIA MEXICANA DE  
CIENCIAS PRIMERA EDICION 2015.

SEGRE, E. DE LOS RAYOS X A LOS QUARKS  
FOLIOS EDICIONES S.A. 1983.

# **Estado del arte en la aplicación de la energía de microondas para el secado de poliéster grado botella (PET)**

**Cosme Zamorano - Romero<sup>1</sup>, Joaquín Palacios - Alquisira<sup>2</sup>**

**<sup>2</sup>Departamento de Fisicoquímica, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.**

**<sup>1</sup>Departamento de Formación Básica, Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México.**

## Resumen

Este artículo hace una revisión del estado del arte en el uso de la Energía de Microondas como medio de calentamiento en el proceso de secado de poliéster grado botella (PET). El principal enfoque en el desarrollo de nuevas tecnologías de manufactura y procesamiento de materiales es la reducción en los costos en consumo de energía y los tiempos de proceso. El uso de microondas en comparación con el proceso convencional de secado ofrece ventajas económicas en términos de ahorro de energía y tiempos de proceso. El presente trabajo se enfoca principalmente en la revisión de desarrollos globales en el campo del secado de materiales plásticos y sus relevantes aplicaciones industriales.

## Abstract

This paper presents an overview of microwave heating as one method of thermal processing for polymers drying, as an example with take polyethylene terephthalate (PET). The main focused is centered on developing new processing and manufacturing technologies to reduce production or manufacturing costs and times. In comparison to the conventional processes, microwave drying offers economical advantages in terms of power and time savings. The present review work focuses mainly on global developments in the field of microwave drying of plastics and their relevant industrial applications.

**Palabras clave:** Aplicación, microondas, secado, poliéster (PET).

**Keywords:** Application, microwave, drying, polyester (PET).

## Introducción

Las microondas son una forma de energía electromagnética que causa movimiento molecular por rotación de dipolos; pero no causa cambio en la estructura molecular. Las microondas ocupan una parte del espectro electromagnético, y se caracterizan por estar situadas en el intervalo de longitud de onda entre 1 mm hasta 1 m, y un intervalo de frecuencia entre 300 MHz y 300 GHz (figura 1). Son usadas normalmente para procesos industriales entre 915 MHz y 2450 Mhz.

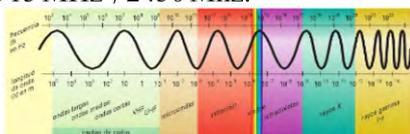


Figura 1. Espectro de ondas electromagnéticas.

Las microondas son generadas por un equipo conocido con el nombre comercial de magnetrón. El magnetrón es un tubo de vacío que sirve de oscilador, constituido por dos electrodos: un cátodo cilíndrico central rodeado por un ánodo también circular; su funcionamiento de basa en que los electrones sometidos a un campo eléctrico y magnético describen órbitas circulares y esa circulación genera oscilaciones de alta frecuencia en cavidades metálicas. Para comprender el funcionamiento se puede considerar lo que ocurre cuando se sopla un silbato. Dentro del silbato hay un pequeño objeto duro que está suelto en la cavidad y al soplar se mueve de un lado a otro, choca con las paredes, y así genera ondas sonoras de muchas frecuencias. Sin embargo, debido a la resonancia, solamente aquellas ondas que tienen longitudes de onda comparables con las de la cavidad sobreviven, mientras que las otras se amortiguan. El resultado es que se oyen sonidos de ciertas frecuencias que quedan determinadas por las dimensiones de la cavidad. Así, un silbato con una cavidad grande emite ondas de longitud de onda grande, o sea de frecuencia pequeña, y se oyen sonidos graves. Un silbato pequeño produce longitudes de onda pequeñas que corresponden a frecuencias grandes, así se oye un sonido agudo. El magnetrón es un pequeño bloque de cobre, pero dentro del ánodo tiene cavidades de dimensiones muy precisas. Al aplicar una corriente eléctrica entre el cátodo y el ánodo, y además un campo magnético a lo largo del eje del magnetrón, los electrones se mueven dentro del espacio de interacción. Estos electrones rebotan por el campo magnético y por tanto se aceleran. En consecuencia, emiten ondas electromagnéticas de muchas frecuencias. Sin embargo, debido a que estas ondas entran en las cavidades, por resonancia solamente perduran las que tienen longitudes de onda comparables con las dimensiones de las cavidades, mientras que las otras desaparecen. Las cavidades tienen dimensiones de centímetros, por lo que producen ondas con longitudes de onda del orden de los centímetros, o sea microondas, que corresponden a frecuencias muy altas. De forma simplificada el funcionamiento del magnetrón se muestra en la figura 2 (Astigarraga, 1998).

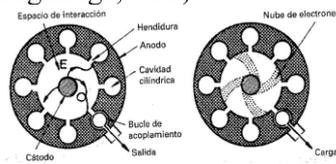


Figura 2. Esquema de funcionamiento de un magnetrón de cavidades.

Las microondas generadas en el magnetrón son transportadas al lugar de aplicación, donde se encuentra el material que las recibirá, por medio de una guía de ondas. La guía de ondas es un tubo, normalmente rectangular, aunque también puede ser de sección circular, utilizado para el transporte de la energía electromagnética, terminando en el aplicador, en la figura 3 se observa un aplicador de tipo túnel.

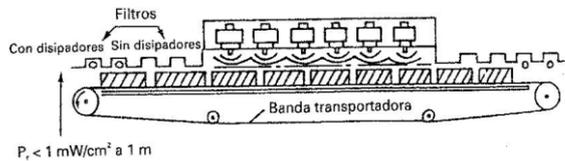


Figura 3. Aplicador de microondas tipo túnel.

En general, los materiales se clasifican en tres grupos: los materiales que no absorben las microondas, que son materiales transparentes a las microondas; los materiales conductores, opacos, que reflejan las microondas; y los que absorben las microondas, dieléctricos, los cuales convierten esta radiación en calor como se muestra en la siguiente figura (figura 4).

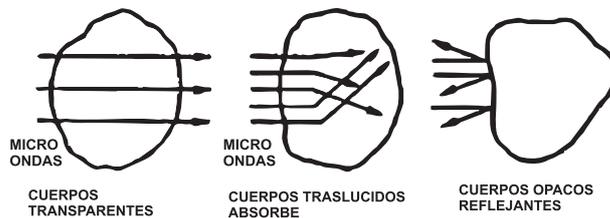


Figura 4. Tipos de materiales de acuerdo con el comportamiento respecto a las microondas.

El secado por microondas involucra la interacción dipolar, que se produce en presencia de moléculas polares. La rotación dipolar es una interacción que induce a las moléculas polares a alinearse con el campo eléctrico rápidamente cambiante de las microondas. El movimiento rotacional de las moléculas al intentar orientarse con el campo produce fricciones y colisiones responsables del calentamiento. La habilidad para acoplarse por este mecanismo está relacionada con la polaridad de las moléculas y su habilidad para alinearse con el campo eléctrico. Este mecanismo necesita que el acoplamiento entre las componentes del material irradiado y el campo eléctrico de las microondas sea efectivo.

El calentamiento efectivo de materiales usando microondas depende principalmente de las propiedades que causan la absorción de microondas, la permitividad, la constante dieléctrica y el factor de pérdida.

La permitividad es el término que se utiliza para describir a las propiedades dieléctricas que afectan la reflexión de ondas electromagnéticas en interfaces y la atenuación de la energía de la onda dentro del material. La permitividad compleja relativa ( $\epsilon^*$ ), relacionada al vacío se representa por:

$$\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (1)$$

donde  $\epsilon'$  es la constante dieléctrica y  $\epsilon''$  el factor de pérdida, representan la parte real e imaginaria, respectivamente, de la permitividad.

La constante dieléctrica ( $\epsilon'$ ) es la característica que determina la capacidad del material para absorber, transmitir o reflejar energía de una porción del campo eléctrico; es decir lo fácil o difícil que resulta polarizar un material, es constante para cada material a una frecuencia determinada, bajo condiciones constantes. El factor de pérdida ( $\epsilon''$ ) mide la cantidad de energía que pierde el campo eléctrico, está relacionado con la forma en que la energía del campo es absorbida y convertida a calor en un material cuando pasa a través de éste. Un material con bajo  $\epsilon''$  absorberá poca energía y por lo tanto, se calentará poco debido a su transparencia a la energía electromagnética.

Otro parámetro que puede ser calculado es la pérdida tangencial, más comúnmente denominada factor de disipación, y que se obtiene del cociente entre el factor de pérdida (pérdida dieléctrica) y la constante dieléctrica.

$$\tan \delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \quad (2)$$

Siendo  $\delta$ , el Factor de disipación.

Al irradiar con microondas una molécula, ésta va a sufrir un proceso de rotación tratando de alinearse con el campo aplicado, ya que la frecuencia de radiación microonda es parecida a la frecuencia de rotación de la molécula. De ese modo, a una determinada frecuencia y temperatura, la energía electromagnética se convierte en energía calorífica. Esta relación está dada por el factor de disipación.

La transferencia directa de energía elimina pérdidas de calor por el calentamiento del equipo de proceso, sistemas de intercambio de calor y disipación de energía con los alrededores. El fenómeno de calentamiento es diferente para el método convencional comparado con el que usa microondas. El método convencional inicia con el calentamiento de la superficie del material y después se transfiere el calor hacia el interior por conducción y convección (figura 5); el calentamiento por microondas es un calentamiento volumétrico, donde el calor es generado prácticamente en todo el volumen del material, esto debido a la interacción entre las microondas y las moléculas que absorben la energía de microondas y la convierte en calor. Esta es la característica de este calentamiento que da ventajas sobre el método convencional como: reducción en el consumo de energía y tiempos cortos de proceso.

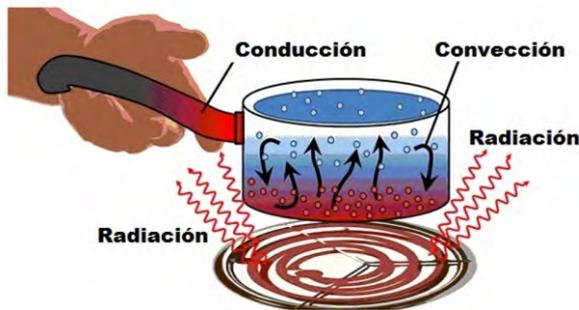


Figura 5. Ejemplos de las formas de transmisión de calor.

Este artículo reporta las ventajas y aplicaciones de las microondas en la tecnología de secado de materiales plásticos, incluyendo los últimos desarrollos en este campo.

Los materiales dieléctricos convierten la energía de las microondas en calor de acuerdo con la siguiente ecuación, considerando que es mínima la conducción de calor en el material y la pérdida de calor al medio que lo rodea, la energía absorbida por un dieléctrico colocado en un campo eléctrico uniforme será:

$$P_a = 55.6 \times 10^{-8} f E^2 \epsilon'' \quad (3)$$

Donde ( $P_a$ ) es la potencia absorbida por el dieléctrico en  $W/m^3$ , ( $f$ ) es la frecuencia en Hz, ( $\epsilon''$ ) el factor de pérdida y ( $E$ ) es la intensidad del campo eléctrico en V/m. La intensidad del campo eléctrico para un horno de microondas con una potencia de 800W a 2450 MHz es de 17.53 V/m, (Kumar, 1979).

Si queremos determinar la cantidad de energía de microondas que absorbe un Kilogramo de agua, tendremos:

$$Pa = \frac{55.6 \times 10^{-8} E^2 f \epsilon''}{\rho} \quad (4)$$

Frecuencia ( $f$ ) = 2450 000 000 Hz

Intensidad del campo eléctrico ( $E$ ) = 17.53 V/m

Factor de pérdida, entre 20°C y 30°C ( $\epsilon''$ ) = 12.5

Densidad del material en  $g/m^3$  ( $\rho$ ) = 1 000  $Kg/m^3$

tendremos:

$$Pa = \frac{55.6 \times 10^{-8} (17.53)(17.53)(2450000000)(12.5)}{1000} = 5230 \text{ W/Kg}$$

La temperatura del material se incrementará con una rapidez de:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{Pa}{\rho Cp} \quad (5)$$

Donde ( $\rho$ ) es la densidad del material en  $Kg/m^3$ , ( $Cp$ ) es el calor específico del material en  $J/Kg^\circ C$ , ( $dT$ ) es el incremento de temperatura en  $^\circ C$ , ( $dt$ ) es la duración del tratamiento en s.

Para determinar el tiempo para elevar la temperatura del PET húmedo hasta una temperatura determinada, se puede utilizar la fórmula (Kumar, 1982):

$$t_1 = (1/kk_2)\{(T_1 - T_2) + (k_1/k_2) \ln((k_1 - k_2 T_1)/(k_1 - T_2 k_2))\} \quad (6)$$

Donde ( $k$ ,  $k_1$  y  $k_2$ ) son las constantes para el agua de la parte imaginaria de la permitividad, ( $T_1$ ) es la temperatura de referencia [ $^\circ C$ ] y ( $T_2$ ) es la temperatura final [ $^\circ C$ ].

Por ejemplo, si queremos determinar el tiempo para elevar la temperatura 25°C hasta 70°C, con  $k=0.5$ ,  $k_1=85$ ,  $k_2=0.3260$ ,  $T_1=25^\circ C$  y  $T_2=70^\circ C$ :

$$t_1 = (1/(0.5)(0.3260))\{(25 - 70) + (85/0.3260) \ln((85 - (0.3260)(25))/(85 - (70)(0.3260)))\}$$

$$t_1 = 62.73 \text{ s}$$

#### Uso de microondas en el secado de materiales.

El secado es un proceso térmico que busca reducir el contenido de humedad de los materiales, y es un proceso de gran consumo de energía y tiempo en la industria de procesamiento de polímeros.

Los parámetros generales considerados para el diseño de equipos industriales utilizados para el secado del PET son:

La temperatura utilizada en el secador.

El tiempo óptimo para obtener un material seco.

El consumo de energía eléctrica aprovechada para obtener materiales poliméricos secos.

Las operaciones de secado pueden clasificarse en operación por lotes o continuas (Treybal, 2003). La operación por lotes es aquella donde una cierta cantidad de material que se va a secar se carga en el equipo y permanece en él hasta que se seca, se expone a una corriente de aire que fluye continuamente, en la cual se evapora la humedad. En la operación continua, tanto el material que se va a secar, como el gas pasan continuamente a través del equipo en estado estacionario.

La forma en que el material se mueve dentro del equipo de secado define el nombre genérico del tipo de secador; a decir, si el material tiene una caída libre dentro del secador, es un secador por gravedad; si el cuerpo del secador gira, dejando caer el material una vez que llega a la parte superior de la pared interna hacia la pared inferior, es un secador rotatorio; si el material logra suspenderse y moverse libremente impulsado por un flujo ascendente de aire que pasa a través de un lecho de partículas; es un secador de lecho fluidizado; si el material se coloca sobre placas perforadas por donde una corriente de aire caliente pasa en forma ascendente, es un secador de charolas o bandejas; el material también puede moverse dentro del secador por medio de una banda transportadora. En la tabla 1 se muestra una clasificación del tipo de equipo que se utiliza para el secado de acuerdo con el tipo de secador y por la naturaleza del proceso de secado que se realiza (Nonhebel, G. y Moss, A.A.H., 1971),

Tabla 1. Clasificación de secadores.

Tipo de secador	Continuo	Batch
Bandejas	√	√
Por gravedad	√	
Lecho fluido	√	√
Banda	√	
Tambor	√	
Rotatorio	√	√
Pulverizador	√	√

Consecuentemente, nuevos métodos son dirigidos para reducir el tiempo y consumo de energía. El mecanismo de secado con energía de microondas es diferente al mecanismo de secado de forma convencional. En el secado convencional, la humedad es inicialmente retirada de la superficie y el

agua en el interior del material se difunde lentamente a la superficie. Mientras que en el secado por microondas, el calor es generado directamente en el interior del material, creando una mayor y mejor transferencia de calor. En el sistema que usa microondas, la transferencia de masa es debido al gradiente de presión generado por la rápida producción de vapor dentro del material; la mayor parte de la humedad se vaporiza antes de salir del material, lo anterior lo podemos observar en la siguiente figura (figura 6).

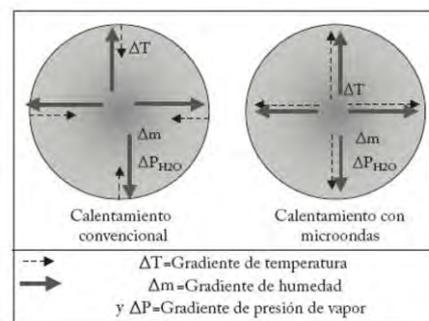


Figura 6. Diferentes gradientes que se presentan durante el secado de un material por calentamiento convencional y por calentamiento con microondas.

### Consumo de energía en el secado de PET.

El PET utilizado para la inyección y soplado de botellas debe cumplir con las características mostradas en la tabla 2 (Jabarin, 1996).

El trabajo de Nakagomi (1988) reporta que el PET puede ser secado por medio de microondas a los niveles de 0.003% de humedad, que es el requerido para el procesamiento en máquinas de inyección, en un tiempo de una hora y media; en comparación con el tiempo de 4 a 6 horas de secado por el método convencional. La investigación realizada por Anjos (1994) sugiere el calentamiento híbrido microondas - aire, concluye que el tiempo de secado de PET para alcanzar un nivel de 0.004% de humedad se alcanza en un tiempo entre 30 a 60 minutos.

Tabla 2. Características del PET para inyección.

Propiedad	Unidades	Valor
Viscosidad intrínseca	dL/g	0.800
Densidad aparente	Kg/m <sup>3</sup>	850
Coefficiente de expansión térmica	X10 <sup>-4</sup> K <sup>-1</sup>	6.8
Compresibilidad térmica	X 10 <sup>-5</sup> bar <sup>-1</sup>	7.7
Peso molecular	g/mol	49000 - 59000
Temperatura de transición vítrea	K	342
	KJ/KgK	0.4393
Conductividad térmica	W/Mk	0.15
Temperatura de fusión	K	613.2
Entalpia de fusión	J/mol	23 430
Índice de refracción		1.5045

Energía de activación	KJ/mol	63
Constantes dieléctricas		
$\epsilon'$	$\times 10^7$ Hz	2.4
$\epsilon''_{eff}$	$\times 10^7$ Hz	0.036
Difusividad	$m^2/h$	0.00089
$C_p$	J/kg°C	1 758
Humedad	%w	0.004 máx.
% Cristalinidad	%	65

### Revisión del secado de plásticos usando microondas.

Esta sección se enfoca en la revisión de trabajos realizados desde los inicios del uso de microondas en el secado de plásticos. Algunos trabajos presentan mejoras detalladas en la tecnología del uso de microondas en aplicaciones industriales para el secado de PET.

Tooby [1966] plantea el uso de un secador continuo que comprende una serie de etapas, cada una cuenta con un magnetrón. El material es transportado por una banda a través de las etapas de irradiación de microondas para ser secado en sucesión; es decir, la primera etapa es de una mayor potencia y va disminuyendo conforme el material se acerca a la salida. No se muestra la forma en que se dosifica el material a la banda para que sea uniforme en ancho y espesor.

Forster [1969] muestra un equipo que remueve agua u otro solvente polar de polímeros sintéticos, pasando el material a través de dos secciones que suministran microondas. La primera, opera a una frecuencia de 915 MHz, reduce la humedad al 5% en peso; después, la segunda, opera a 2450 MHz, reduce la humedad al 0.001% en peso. La patente no muestra ejemplo de su utilización con PET, aún no se usaba este polímero en la elaboración de botellas empleadas como envases primarios de las bebidas carbonatadas.

White [1970] emplea un agitador del tipo persianas venecianas, en un equipo que utiliza microondas como medio de calentamiento, como un modificador del espacio geométrico del campo electromagnético para lograr una distribución uniforme de las microondas. La existencia de muchas partes móviles provoca una reducción en la eficiencia del equipo; así como, un alto costo de mantenimiento y consumo de energía.

Smith [1970] muestra un secador del tipo de lecho fluidizado que utiliza aire caliente y microondas,

donde el cuerpo del secador sirve como una guía de las microondas; la frecuencia utilizada es de 2450 MHz. El cuerpo del secador es dividido longitudinalmente en dos secciones por medio de una membrana porosa o permeable para que pueda pasar aire u otro gas a través de ella; el material de fabricación debe ser inerte al material a secar, tener un factor de pérdida dieléctrica bajo para las microondas y preferiblemente transparente, que puede ser de Nylon, cerámica porosa o fibra de vidrio. Para mantener el material en fluidización, el secador cuenta con entradas de aire deshumidificado caliente en la parte inferior y sale por ductos colocados en la parte superior del secador. No cuenta con un dosificador o una válvula que regule el gasto del material a secar; pues el control del gasto se lleva a cabo por medio de la inclinación de la membrana.

Forster [1970] mejora un secador de materiales no polares, esencialmente polímeros, removiendo vehículos polares del material. Dentro de la cavidad resonante, en lugar de usar una banda transportadora, el polímero húmedo es transportado sobre una malla vibradora fabricada de acero inoxidable recubierta por una tela permeable a las microondas. Las microondas son radiadas a contracorriente al flujo del material a secar. Para evitar condensación aire tibio es alimentado por la parte inferior del secador y sale por la parte superior. Nos se indica la calidad del aire para el arrastre de la humedad.

Futer [1971] cambia el uso de banda transportadora o lecho fluidizado por una placa perforada para el secado de materiales húmedos mediante el calentamiento por microondas. La placa se encuentra dentro de un compartimiento impermeable a las microondas y las perforaciones son ranuras formadas por pestañas que bajan con un ángulo de 5 a 18°; estas perforaciones provocan un efecto de chorro en el aire que se alimenta al secador por su parte inferior y pasa por los orificios a una velocidad de 500 a 2200 cm por segundo. Este chorro de aire mantiene separado al material lo suficiente para que reciba una cantidad de energía de microondas. No menciona la calidad del aire alimentado para el movimiento del material.

La invención de Muranaka [1973] es un aparato que sirve para calentar de forma continua polvos, gránulos u hojuelas, utilizando microondas como medio de calentamiento. Consta de una cámara

cilíndrica rotatoria, con interiores en forma de hélice que sirven para el movimiento de los gránulos a través de la cámara y para agitar las microondas. Este sistema de agitación de microondas tiene la ventaja de mantener un calentamiento continuo y uniforme, en comparación con los equipos que utilizan aire caliente como medio de calentamiento que presentan dificultades para mantener el flujo y la temperatura requeridos. La humedad desprendida durante el calentamiento, es retirada por medio de una corriente de aire seco caliente que entra y sale del equipo. De acuerdo con la experiencia en la operación de secadores rotatorios, este equipo puede utilizarse como un secador de pellets u hojuelas de PET, ya que cuenta con el sistema de extracción de la humedad desprendida durante el calentamiento; además, el movimiento provocado por las hélices interiores evita el aglomerado del material sin cristalizar, característico del PET cuando alcanza su temperatura de transición vítrea.

Forster [1973] propone el uso de la línea de transporte neumático, que lleva el material de una parte del proceso a otra, como cavidad resonante. La técnica usada es la aplicación de microondas en dos secciones, la primera trabaja a 915 MHz y reduce la humedad hasta un valor de 5% en peso; la segunda opera a 2 450 MHz para alcanzar un valor de 0.5 % en peso. El autor sugiere el uso de este equipo para polímeros no polares, como el poliestireno y el PET, con un factor de pérdida entre 0.0001 y 0.1 a la frecuencia de operación.

Janda [1974] presenta un aparato que sirve para secar plásticos que van a ser utilizados en moldeo por inyección; la humedad es removida usando microondas con una frecuencia de 2450 MHz y un vacío parcial de una décima parte de la presión atmosférica, deseable 20 pulgadas de agua. Usando este método es posible incrementar la temperatura de la humedad hasta 121°C sin causar problemas al plástico. No se presenta información sobre el secado de PET, ya que se inició en la fabricación de botellas en el año de 1976.

Janda [1977] hace mejoras al secado convencional de resinas moldeables, usando las microondas como medio de calentamiento y un flujo de aire caliente deshumidificado para arrastrar la humedad retirada del material, reduciendo el tiempo de secado en una décima parte del tiempo convencional y la

eliminación del sistema desecante. En la fecha de emisión de esta patente tenía un año de utilización el PET, en procesos tipo inyección y soplado, las condiciones de operación son para otras resinas moldeables.

Forster [1977] propone el uso de la línea de transporte neumático, que lleva el material de una parte del proceso a otra, como cavidad resonante. La técnica usada es la aplicación de microondas en dos secciones, la primera trabaja a 915 MHz y reduce la humedad hasta un valor de 5% en peso; la segunda opera a 2 450 MHz para alcanzar un valor de 0.5 % en peso. El autor sugiere el uso de este equipo para polímeros no polares, con un factor de pérdida entre 0.0001 y 0.1 a la frecuencia de operación en las instalaciones industriales.

Blok [1978] describe un sistema de secado continuo que utiliza microondas; incluye un secador rotatorio, dos magnetrones, un soplador centrífugo, un ciclón, sistema alimentador y de descarga. Las ondas de radio frecuencia se utilizan para calentar el cuerpo del secador y así eliminar el uso de otro medio de calentamiento. El material seco es descargado, por la succión que provoca el soplador, hacia el sistema de descarga. No se menciona la frecuencia de las microondas ni la forma en que se evita la fuga de energía hacia el exterior.

Tjurin [1980] explica el uso de un equipo que usa microondas para el secado de materiales dieléctricos. El material se mueve en un secador en forma de "U" invertida, impulsado por un flujo de aire que provoca una velocidad variable; las microondas circulan en forma paralela con el material, hasta donde se encuentra un separador de aire húmedo. No se muestran los detalles para evitar fuga de microondas, las que pueden afectar negativamente la salud de los operarios.

Le Viet [1980] provee un proceso y un aparato para secar material por medio de microondas, en el cual el producto a ser secado se coloca sobre una banda transportadora cuyo material es transparente a las microondas y recubierto con una capa de fibra de carbono incrustado en un material aislante; esta combinación produce un calentamiento de la banda que favorece el secado. Los magnetrones están colocados en la parte superior del secador y encerrados en un compartimiento con ventanas de

Teflón, permeable a las microondas e impermeable a la humedad. El secador está bajo vacío, excepto el compartimiento donde se localizan los magnetrones que trabaja a la temperatura ambiente y presión atmosférica.

Durant [1980] inventó un aparato que elimina la humedad de un material por medio de microondas, mientras está sujeto a una presión de vacío. El secador está a una presión por debajo de los 500mmHg; mientras el material se encuentra a baja presión, está sujeto a irradiación de microondas generadas por un magnetrón. El magnetrón se encuentra fuera del secador y las microondas son introducidas por medio de guías de onda que pasan a través de la pared del secador; el aplicador de las microondas está aislado de la sección de vacío por medio de un compartimiento impermeable a la humedad, pero permeable a las microondas. La humedad es retirada por medio de un condensador para facilitar su extracción utilizando una bomba.

Courneya [1982] propone un secador que utiliza microondas como medio de calentamiento. El secador trabaja a una presión inferior a la atmosférica, que se logra mediante una bomba de vacío. El material es transportado a través del secador por medio de un tornillo sinfín. El equipo cuenta con una corriente de aire que después de enfriar los magnetrones, sirve como medio de precalentamiento para el material cuando entra al secador. La humedad se retira del secador por medio de una corriente de aire que entra por un filtro en la parte opuesta a la tubería de succión de la bomba de vacío, haciéndola pasar a través del secador. No se especifica si el aire de arrastre de la humedad es sometido previamente a deshumidificación.

Mahan [1982] describe un equipo para calentar y secar material usando microondas. El equipo trabaja por lotes y consiste en un tambor, colocado de forma horizontal, que gira sobre su eje. Un sistema de circulación de aire sirve para enfriar el magnetrón y arrastrar la humedad retirada del sólido hacia el exterior. No se especifica si el aire que arrastra la humedad tiene un paso previo de deshumidificación.

Wear, Durant y Mckinney [1982] desarrollaron un aparato para secar material usando microondas. El proceso consiste en dirigir microondas de una región a presión atmosférica a una región al vacío donde se

encuentra el material a secar. El secador consiste en un recipiente cilíndrico, impermeable a las microondas, dentro del cual y de forma concéntrica se localiza una columna vertical que sirve como distribuidor de las microondas. En el espacio anular entre el cuerpo del secador y el distribuidor de microondas se encuentran dos columnas, fabricadas de material permeable a las microondas, por las cuales pasa el material a secar.

Soulier [1983] proporciona un equipo donde el material avanza continuamente con un gasto alto, constante y ajustable, mientras se mantiene un máximo campo de energía. El objetivo de esta invención es un bajo consumo de energía con una alta producción de material, lo que hace al equipo interesante y económico. El equipo consiste en una coraza y una parte movable en forma de hélice o tornillo de Arquímedes, que es movida por una flecha, y sirve para mover el material desde el conducto de entrada hasta la salida. Un conjunto de magnetrones que son colocados en la parte exterior de la coraza; la frecuencia utilizada es de 2.45 GHz y la potencia de cada magnetrón es de 1 kW. El equipo que consta de 10 módulos tiene una capacidad de una tonelada por hora. Se recomienda realizar pruebas para verificar la uniformidad del secado del material, así que el PET, pueda alcanzar los niveles requeridos para su procesamiento en extrusión o inyección (0.003%w).

De Vries [1984] declara un proceso para homogenización y secado de material húmedo usando microondas como medio de calentamiento. El secador es un recipiente cónico, dentro del cual se encuentra un tornillo sinfín que mezcla el material; el tornillo gira simultáneamente sobre su eje y alrededor del eje del secador. La humedad liberada es extraída por un sistema de vacío conectado al secador.

Inagaki [1984] propone un aparato para secar utilizando microondas. El material se transporta dentro del secador usando una banda perforada, a través de la cual, pasan las microondas que son irradiadas por magnetrones colocados en la parte superior e inferior del secador. Para retirar la humedad liberada durante el proceso, se introduce aire frío por la parte inferior del secador a través de deflectores que regulan la uniformidad del flujo y sale por la parte superior del secador. No se muestra

la forma de dosificación del material sobre la banda, ni la calidad del aire de arrastre de humedad.

Mahan [1985] propone un secador rotatorio, colocado dentro de un gabinete, que trabaja con microondas; el secador está montado sobre un eje axial y dentro del eje está colocado el magnetrón. Para evitar que el material toque al magnetrón, se coloca un domo fabricado de material transparente a las microondas. El equipo cuenta con un soplador que introduce aire al secador a través de la parte central del eje, este aire sirve para enfriar el magnetrón y a su vez arrastra la humedad retirada del polímero. El sistema trabaja por lotes, no se menciona la capacidad del secador.

Sugisawa, Matsumura, Taga y Hattori [1986] basan su invención en prevenir la formación de condensados en las paredes internas del secador, usando una capa de material poco dieléctrico (fibra de carbón) en al menos una parte de la superficie interna del secador. El sistema cuenta con una cámara de secado, un magnetrón externo con su guía de ondas; además una bomba de vacío y una trampa de condensados.

Tran [1986] llegó a la conclusión de que el uso de fases aleatorias en las microondas, mejoran la uniformidad del calentamiento del material; es decir, usar una combinación de frecuencias en cada una de las fuentes de microondas para producir una diferencia de frecuencias. Propone un compartimiento pentagonal con al menos una fuente de microondas en la parte central de cada lado del pentágono, un conducto para el material a secar de forma cilíndrica en el centro del pentágono; las esquinas del pentágono actúan como reflectores que guían las microondas a través del material de ida y vuelta, sin provocar daño a los magnetrones.

Sato [1987] efectúa mejoras al equipo que propuso De Vries [1984]. Para evitar fuga de microondas propone: (1) colocar una canastilla metálica alrededor del reductor del sistema de transmisión del tornillo agitador, (2) uso de un sello entre la canastilla y el reductor, (3) una canastilla metálica en el ducto de salida de vapores, (4) uso de un sello elástico entre la válvula de descarga y el secador, (5) colocar un sello tipo o-ring en el pasa hombre. Además, para evitar que todas las microondas reflejadas lleguen al magnetrón, propone que la guía

de ondas tenga una forma piramidal, con la abertura que se ensancha dirigida al material a secar. Este equipo debe utilizarse para PET ya cristalizado para evitar aglomerados.

Sugisawa, Matsumura, Taga y Hattori [1987] mejoran el proceso de secado al vacío que usa microondas para evitar el fenómeno de descarga luminosa. Para esto, el equipo está dividido en dos compartimientos: una región de aplicación de microondas y una región de secado; la primera, fabricada con un material permeable a las microondas e impermeable al solvente a retirar, cuenta con una bomba de vacío para el sistema de extracción; la segunda, fabricada con un material impermeable a las microondas, cuenta con un magnetrón (que trabaja a 2450 MHz) y una guía de ondas. La cámara de aplicación encierra a la cámara de secado, dejando un espacio anular entre ellas. No mencionan el tipo de material usado como plato de respiración a la salida de la cámara de secado que va hacia la trampa de humedad, sólo se menciona que es permeable a los gases e impermeable a las microondas.

Haagensen, Moses and Smith [1987] describen un aparato que incluye varias secciones para aplicación de microondas arregladas verticalmente una sobre otra. Cada sección consta de un magnetrón y una circulación de aire para eliminar la humedad removida. No menciona la calidad del aire que se utiliza para remover la humedad.

Wear and Mc Kinney [1987] inventaron un aparato para secar materiales sólidos utilizando microondas como medio de calentamiento y trabaja a una presión inferior a la presión atmosférica, que se logra por medio de una bomba de vacío. El equipo consta de un recipiente, dentro del cual una banda transportadora mueve el material para que pase a sucesivas zonas de irradiación de microondas. El material es distribuido en la banda en ancho y espesor uniformes. En la primera zona, por razones de mayor humedad en el material, mayor energía es suministrada al producto; la energía suministrada disminuye conforme avanza la banda transportadora. Cuenta con una purga de vapor para sacar del equipo la humedad retirada del sólido. La existencia de muchas partes móviles dentro del equipo eleva los costos de mantenimiento.

Nakagomi [1988] describe un aparato para el secado

de PET usando microondas con una frecuencia de 2450 MHz; el secador tiene un agitador interno para mantener el material en agitación y un sistema de purga para retirar la humedad. El magnetrón se encuentra fuera del cuerpo del secador y las microondas se transportan por un ducto que une al secador con el cuerpo del magnetrón. Recomienda que para reducir el consumo de energía se coloque en paralelo varios secadores pequeños, ya que el magnetrón usado para cada uno será de una capacidad menor al que se utilizaría para manejar grandes volúmenes de PET. Además, muestra una gráfica, del contenido de humedad contra tiempo, con los resultados obtenidos utilizando: microondas, agitación y gas inerte; se observa que se obtiene una humedad menor a 0.005%w en una hora y media de operación. El sistema es por lotes y se requiere de una batería de secadores para obtener volúmenes industriales.

Nakagome [1988] propone un secador de pellets usando microondas, que consiste de un recipiente cilíndrico con un agitador en la parte central que mantiene el material homogéneo durante la aplicación de microondas. El magnetrón está colocado en la parte exterior del secador y las microondas son introducidas por medio de una guía de ondas. El sistema trabaja por lotes; es decir, el magnetrón deja de trabajar cuando los pellets son descargados a la siguiente etapa del proceso. No existe un flujo de aire que impulse a la humedad que se retira de los pellets.

Nakagome [1988] mejora un secador de pellets usando microondas, que consiste de un recipiente cilíndrico con un agitador en la parte central que mantiene el material homogéneo durante la aplicación de microondas. El magnetrón está colocado en la parte exterior del secador y las microondas son introducidas por medio de una guía de ondas. La humedad es expulsada a través de un tubo de escape por medio de un flujo de aire que es introducido al secador por medio de un soplador; que además proporciona aire para enfriar el magnetrón. No existe un sistema de deshumidificación del flujo de aire que impulsa la humedad que se retira de los pellets.

Nakagome [1988] optimiza un secador de pellets usando microondas, que consiste de un recipiente cilíndrico con un agitador en la parte central que

mantiene el material homogéneo durante la aplicación de microondas. El magnetrón está colocado en la parte exterior del secador y las microondas son introducidas por medio de una guía de ondas. La humedad es expulsada a través de un tubo de escape por medio de un flujo de aire que es introducido al secador por medio de un soplador; este aire húmedo se envía a un deshumidificador que purifica el aire para ser retornado al secador y nuevamente retirar la humedad evaporada de los pellets. El sistema trabaja por lotes y el magnetrón se detiene durante el paso de vaciado del material.

Nakagome [1989] propone un secador de plásticos semicontinuo que cuenta con ocho secciones de secado, cada una con un magnetrón para suministrar microondas y un agitador para mantener homogéneo el material plástico. Las ocho secciones están conectadas a un silo que recibe el material seco. El material en el silo receptor es mantenido seco por medio del suministro de gas inerte, como el nitrógeno.

La invención de Ishikawa [1990] muestra una técnica que incluye un aparato para cristalizar y secar pellets de resinas sintéticas usando microondas en un proceso continuo. Consiste de un tanque de calentamiento en forma de un paralelepípedo rectangular con sección transversal tipo U, en la parte interior se mueve una flecha que tiene discos con paletas, estos discos forman separaciones en el material y lo agitan. En la parte superior del tanque se colocan los magnetrones provistos con guías de onda para irradiar el tanque de calentamiento. Una vez calentado el material a la temperatura de secado, se pasa al tanque de secado, para que los magnetrones tengan una operación constante sin interrumpir la aplicación de microondas. Este sistema elimina el calentamiento no uniforme causado por reflexiones irregulares de las microondas y por la variación del tiempo de residencia; además de, proporcionar un equipo económico que puede optimizar su operación y reducir el tiempo de secado. El autor muestra los resultados de tiempos de residencia en una gráfica de frecuencia, donde el tiempo de residencia promedio es de 20 minutos; adicionalmente, se aclara qué al incrementar el número de discos o separaciones, la forma de la campana de Gauss se adelgaza, disminuyendo la variación en los tiempos de residencia. Para eliminar la humedad se alimenta aire deshumidificado al tanque de calentamiento y al

tanque de secado. Puede presentarse un movimiento no uniforme a lo largo del tanque de calentamiento, debido a que los discos no tienen una forma helicoidal que garantice el avance del material de la zona de alimentación a la zona de descarga; lo anterior se podría mejorar con una flecha en forma de tornillo sinfín o helicoidal.

Doelling [1990] propone un sistema de lecho fluidizado por lotes asistido por microondas para secar materiales de diversos tipos. El sistema está compuesto por un recipiente donde se realiza la fluidización del material a secar; con una entrada para las microondas que se localiza sobre el nivel del sistema de soporte del lecho fluidizado, para definir una cavidad de resonancia de microondas que garantice la máxima utilización de la energía.

Nakagomi [1990] muestra un aparato que usa microondas como medio de calentamiento para secar PET. El aparato consiste de un tanque con agitación que mantiene el material en movimiento mientras es calentado y secado por microondas. El magnetrón está colocado fuera del tanque agitado y las microondas conducidas por un ducto. La humedad es retirada del tanque por medio aire seco que se introduce al tanque y es retirado por el ducto de purga que va a una bomba de vacío. El sistema es por lotes y no se indican las condiciones de operación.

Marzat [1991] describe un aparato que usa microondas para secar materiales en diversas formas y tipos. El material es transportado por una banda que lo expone a cada una de las etapas que irradian microondas; la aplicación de las microondas tiene una inclinación con respecto al plano de posición del material de acuerdo a la inclinación del ángulo de Brewster. No se menciona en la patente como se retira la humedad eliminada del material.

Nakagomi [1991] aporta un método para el secado de PET usando microondas, generadas por un magnetrón que trabaja a 2450 MHz, mientras el material se agita en un secador rotatorio. El magnetrón está colocado en la parte exterior del secador y las microondas son guiadas por el interior del eje axial que mueve al secador. El secador tiene un sistema de eliminación de la humedad que no permite la salida del material ni de las microondas. El sistema es por lotes y no se describe claramente el

equipo que se utiliza para la extracción de la humedad.

Oess [1993] cita un secador de tipo cónico, el cual utiliza como medio de calentamiento microondas generadas por un magnetrón colocado en la tapa del secador. El material se mantiene en movimiento por medio de un agitador tipo tornillo para un calentamiento uniforme. Además, muestra un arreglo adicional, colocando dos magnetrones, en lugar de solo uno, para incrementar la potencia y reducir el tiempo de secado. El secador trabaja por lotes, no se menciona la capacidad del recipiente ni de los magnetrones.

El trabajo realizado por Anjos [1994] se enfoca en un proceso por lotes, los primeros experimentos fueron realizados en un horno de laboratorio para establecer los valores de energía, tiempo de residencia y posible remoción de humedad; posteriormente, al utilizar una planta piloto se incrementaron los niveles de eliminación de humedad en comparación con los obtenidos en laboratorio. Los autores sugieren el calentamiento híbrido, microondas - aire, como una alternativa que ofrece las ventajas de reducir sustancialmente el volumen de aire utilizado, tiempo de operación y el control de la calidad del producto. De acuerdo con la experiencia acumulada, el sistema híbrido para el secado de PET ayuda a eliminar la mayor cantidad de humedad con las microondas; pero al disminuir la cantidad de agua, la disminuye la energía utilizada para evaporar agua, esto provocará que una cantidad de microondas sin utilizar pueden dañar al magnetrón. Por eso se sugiere que la parte final de eliminación de la humedad se realice con aire caliente deshumidificado.

Tsutomu y Masaaki [1994] describen un método y un aparato para secar materiales plásticos por medio de calentamiento por microondas. El material es calentado por las microondas a una presión reducida dentro de un rango que no provoque un arco eléctrico; después, el material se pasa a una zona de un vacío mayor para lograr la humedad requerida. Existe el riesgo de formar un arco eléctrico en la zona de bajo vacío debido a que no existe separación en la zona, entre las microondas y la humedad que se libera en la primera etapa.

Leconte, Deramond y Germain [1995] diseñaron un equipo para el secado de materiales utilizando

microondas. El diseño consta de un ducto, dentro del cual existe un tornillo sinfín para mover el material de un extremo a otro, un compartimiento para la aplicación de microondas y una serie de magnetrones colocados en la parte externa del compartimiento. El ducto se localiza dentro del aplicador para que el material sea expuesto a la acción de las microondas y los magnetrones están separados de la sección de aplicación por medio de una ventana permeable a las microondas. No se menciona la calidad del aire caliente que se suministra al ducto para evitar la condensación de la humedad.

Goodman [1995] presenta un invento, que utiliza calentamiento dieléctrico para el secado de resinas higroscópicas mediante el uso de radio frecuencias. El desarrollo propuesto es un proceso continuo, donde el aplicador de ondas de alta frecuencia se encuentra en el centro de la línea de transmisión por donde pasa la resina alimentada por gravedad. Este sistema evita, pérdidas en la línea de transmisión de las ondas, ajustes en los elementos del circuito por diferencias en los materiales de fabricación y el uso de múltiples aplicadores que se requieren en sistemas convencionales. Un flujo de aire con un punto de rocío de 14°C debajo de la temperatura de entrada del polímero es suministrado en contracorriente para arrastrar la humedad que es retirada de la resina. De acuerdo con mi experiencia, trabajando con secadores que utilizan la caída libre del material para pasar a través del secador, se requiere de una altura más que considerable para lograr el tiempo de residencia óptimo hasta alcanzar la humedad requerida. Tal vez, si no fuera en caída libre, sino en movimiento circular, por gravedad en el lecho, podrían obtenerse menores dimensiones del equipo; esto siempre y cuando el PET esté ya cristalizado, de lo contrario se tendrían aglomerados cuando el material alcance su temperatura de transición vítrea.

Rohr [1997] explica la forma en que su dispositivo se puede utilizar para cristalizar o secar plásticos utilizando microondas, donde la humedad retirada se extrae por medio de una circulación de aire que va a un deshumidificador. El material se dosifica sobre una banda transportadora, que cuenta con un sistema de pesaje integrado, la cual se encuentra dentro de una cubierta que encapsula las microondas y evita fugas. La potencia de los magnetrones y la velocidad

de la banda transportadora se regulan por medio de un sistema de control automático que recibe las mediciones de: a) la radiación residual, usando un sensor de microondas; b) la temperatura dentro del dispositivo, medida por un sensor de infrarrojo; y c) el valor de la masa del material, determinado por la balanza. El dispositivo trabaja en forma continua; en nuestro caso, solo puede secar PET cristalizado, porque al usar PET amorfo se formarían aglomerados en la banda transportadora.

Kaa [2000] usa microondas de 2450 MHz para secar pellets, el agua es evaporada y retirada del secador por medio de una corriente de aire. El aparato reduce el consumo de energía y el tiempo de secado en un 90%. No se indica la calidad del aire que arrastra la humedad.

Tu [2004] sugiere un secador para plásticos con un magnetrón dentro del cuerpo del secador, el magnetrón está conectado a una tubería, la cual está provista en un extremo de un filtro y en el otro extremo está la succión del ventilador principal. El aire que circula por esta tubería sirve como medio de enfriamiento al magnetrón; después, ya precalentado, el aire sirve como alimentación a un calentador de aire. Se puede colocar una derivación al segundo ventilador para extraer el aire húmedo y el polvo generado usando el ducto de venteo; además, el aire que se utiliza no está deshumidificado y puede provocar variaciones en la humedad del producto. No se cuenta con un dosificador del producto a la salida, lo que dificultaría el control del tiempo de residencia del material.

Petri [2005] presenta un equipo que puede realizar tres funciones; mezclar, secar y activar la reacción de los componentes del material; o en su caso solo efectuar una de las funciones. La forma de aplicación de las microondas es a través de la flecha del agitador. Las microondas entran por un extremo de la flecha que es hueca y salen por orificios, que tienen el cuerpo de la misma, para distribuir las microondas en el material a secar. No se menciona la forma en que es extraída la humedad liberada durante el secado.

Pagotto [2006] muestra un aparato que puede manejar de forma continua pellets a una temperatura de hasta 180°C; el equipo consiste de un silo alimentador y un cilindro horizontal (cuerpo del secador), dentro del cilindro se mantiene una cama

fluidizada del material que se mueve longitudinalmente por medio de un mezclador helicoidal para sólidos. Para la eliminación de la humedad, cuenta con un sistema de alimentación de aire deshumidificado colocado en la parte inferior del secador, el cual es distribuido por medio de un filtro de material sinterizado. Consta de indicadores humedad relativa del material a la entrada y a la salida del secador para garantizar la calidad del material. Los magnetrones se encuentran en la parte superior del cuerpo del secador para suministrar las microondas sobre los pellets. La experiencia nos muestra que el uso de un filtro sinterizado para el suministro de aire, garantiza la uniformidad del aire que entra al secador. En la industria manufacturera de fibras sintéticas, los filtros sinterizados son utilizados para la sección de hilatura, para el enfriado uniforme del polímero antes de aplicar el aceite de ensimaje.

Cattapan [2008] muestra un proceso y un sistema para secado de plásticos, en forma de pellets, usando microondas. Esta invención evita el uso de agitadores, vibradores o distribuidores de microondas que complican el diseño y control operativo del equipo, puesto que el material se mueve dentro del secador por la acción de la gravedad. La técnica usada consiste en una etapa de aplicación de microondas, donde los pellets son expuestos al campo de microondas como máximo 60 minutos, y otra sección de calentamiento donde el aire caliente deshumidificado arrastra la humedad retirada de los pellets. Este sistema pareciera del tipo híbrido, pero no lo es, ya que en la zona de radiación por microondas alcanza la humedad requerida. Me parece un sistema avanzado, ya que el proceso continuo mantiene una carga constante de agua en el sistema, que ayuda a que el flujo de microondas tenga material para disipar la energía. A diferencia de la falta de humedad que se presenta en el proceso por lotes cuando se alcanzan niveles de humedad cercanos al objetivo (0.003% en peso) para el procesamiento correcto del PET. Éste sistema es útil siempre y cuando el PET esté ya cristalizado, de lo contrario se tendrían aglomerados cuando el material alcance su temperatura de transición vítrea.

Hein [2008] declara el uso de un secador reclinable, que utiliza microondas como medio de calentamiento. El sistema usa un ariete reciprocante para desplazar el material de la zona de alimentación

a la zona de secado, donde un conjunto de magnetrones, emiten microondas que calientan la humedad del material para ser retirada, y ésta se extrae por medio de aire deshumidificado que es alimentado por ventiladores convencionales. El secador puede ser inclinado, por medio de uno o varios pistones hidráulicos colocados en la parte baja de la sección de alimentación, para ajustar la velocidad de flujo del material a través del secador. Cuenta con sensores de temperatura, humedad, flujo y nivel de material; todos conectados a un control lógico programable (PLC), que ajusta el ciclo del ariete reciprocante, el ángulo de inclinación, el sistema de aire de inyección y la potencia de los magnetrones, para mantener las condiciones de operación que garanticen la calidad del producto. El sistema utilizado, tiene una inclinación, para ajustar la velocidad de flujo que puede provocar fluctuaciones en la cantidad de material que pasa través del secador, y a pesar de tener un PLC, tendríamos dificultades en la operación del equipo.

Tsuruta and Hayashi [2010] muestran un equipo que trabaja a una presión inferior a la atmosférica, que irradia intermitentemente las microondas sobre un objeto para mantener una temperatura constante en el material.

Pagotto [2012] describe un proceso que deshumidifica y seca plásticos en presentación de gránulos, pellets u hojuelas usando microondas para alimentarlos a sistemas de extrusión o inyección. El aparato consiste de una columna que se alimenta por la parte superior; coaxialmente cuenta con un agitador para mezclar el material durante su paso por el secador. De forma periférica, se conectan los magnetrones. En la parte inferior del secador se encuentra un sistema de calentador, filtro y deshumidificador de aire; que introduce el aire, para que fluya a través del plástico. La válvula rotativa colocada en la descarga del secador regula el tiempo de residencia del material dentro del secador. No se menciona la forma en la que el aire sale del secador y el tratamiento posterior del mismo; es necesario identificar si el flujo es el correcto para evitar que la humedad se acumule dentro del equipo.

Pittari and Zoppas [2012] optimizan el proceso para producir botellas de PET, que consta de una unidad en la cual los pellets son secados, antes del proceso de fundición del plástico, en la cual el PET es

calentado usando microondas y es deshumidificado por el flujo de aire de venteo que se recupera después del proceso de soplado.

Lam [2013] propone un método para secar materiales utilizando microondas como medio de calentamiento. El método consiste en colocar el material a secar dentro de un compartimiento impermeable a las microondas, con una potencia de 1800 a 2000 watts a una frecuencia entre 915 a 2450 MHz; donde la humedad retirada del sólido es extraída del secador por medio de un flujo de aire, que es impulsado por un soplador y retenida por una celda de vapor. El sistema es del tipo, por lotes, no se describe la manera como se retira el material en forma continua.

### Conclusiones.

El calentamiento por medio de microondas reduce drásticamente el consumo de energía durante el proceso de secado de PET, comparado con el método convencional.

El secado de PET, usando microondas está ganando popularidad por sus características de ahorro de energía y reducción en los tiempos de proceso.

El proceso de secado con calentamiento híbrido, microondas - aire seco, reporta los mejores resultados para tener los niveles de humedad y reducción de tiempos que se desean alcanzar.

Los desarrollos presentados en el campo de secado y calentamiento de plásticos usando microondas proveen soluciones útiles en la industria.

La tecnología de calentamiento por microondas ha sido aplicada exitosamente en el proceso de secado de PET.

### Referencias.

Anjos, C., Faria, J., and Marsaioli, A., *Continuous microwave drying of Polyethylene Terephthalate (PET)*; John Wiley and Sons: Hoboken, NJ, USA, 1994; pp.796-798.

Astigarraga, J., Hornos de altafrecuencia y microondas, Ed. Nomos S.A., Santa Fé de Bogotá, Colombia, 1998.

Blok, A., *Microwave drying apparatus*. US Patent 4087921, 1978.

Cattapan, G. *Process for drying plastic material in granule form with the use of microwaves and drying system operating according to the process*. US Patent 2008/0060212 A1, 2008.

Courneya, C., *High efficiency material drying*. US Patent 4330946, 1982.

De Vries, J., *A process and apparatus for drying and homogenisation of material containing liquids*. EP 0187173 A1, 1984.

Doelling, M., *Microwave assisted fluidized bed processor*. US Patent 4967486, 1990.

Durant, D., *Microwave heated vacuum dryer for powders*. US Patent 4229886, 1980.

Forster, E., and Creighton, P. *Microwave drying process for synthetic polymer*. US Patent 3771234, 1973.

Forster, E., and Creighton, P. *Microwave drying process for synthetic polymers*. US Patent 4055001, 1977.

Forster, E., *Microwave drying process for synthetic polymers*. US Patent 3434220, 1969.

Forster, E., *Microwave vibrating resonating cavity and drying process*. US Patent 3545093, 1970.

Futer, R., *Method and apparatus for treating pieces of material by microwaves*. US Patent 3555693, 1971.

Goodman, W., and Vulpe, A. *Apparatus and continuous process for drying of dielectric material*. US Patent 5420404, 1995.

Haagensen, D., Moses, D. and Smith, L., *Apparatus and method for processing dielectric materials with microwave energy*. US Patent 4714812, 1987.

Hein, W., *Tilting microwave dryer and heater*. US Patent 2008/0282573 A1, 2008.

Inagaki, M., *Cold air microwave drying apparatus*. US Patent 4468865, 1984.

Ishikawa, K., Hayashi, R., and Yoshimoto, A. *Drying and crystallizing apparatus for granules, which employs a microwave device*. US Patent 4954681, 1990.

Jabarin, S., *PET Technology*, Technical Seminar Hosokawa Bepex Corporation, Minneapolis, Minnesota U.S.A., 1996.

Janda, R., *Method for drying moldable resins*. US Patent 3834038, 1974.

Janda, R., *Method and apparatus for drying moldable resins*. US Patent 4023279, 1977.

Kaa, J., *System to dry plastics granules uses high frequency microwaves to evaporate contained water molecules which escape from the granules with the vapor carried off in an air stream*. DE 19858212 A1, 2000.

Kumar, A., *Complex permittivity and microwave heating of pure water, tap water and salt solution*, International Journal

- Electronics, vol.47, No.6, 1979, pp. 531-536.
- Kumar, A., Microwave drying of wet polyester fibres, *International Journal Electronics*, vol.52, No.5, 1982, pp. 491-495.
- Lam, K., Microwave dryer and microwave drying method. US Patent 2013/0091722 A1, 2013.
- Le Viet, T., Microwave freeze drying method and apparatus. US Patent 4204336, 1980.
- Leconte, D., Deramond, F. and Germain, A., Installation for continuously drying, dehydrating or microwave baking of granular or powdered products. US Patent 5400524, 1995.
- Mahan, D., *Horizontal axis tumbler type microwave drying mechanism*. US Patent 4510361, 1985.
- Mahan, D., Microwave treating mechanism. US Patent 4334136, 1982.
- Marzat, C., *Method and device for the speedy drying of a material by application of microwaves*. EP0459204 A1, 1991.
- Muranaka, T. *Microwave heating apparatus*. US Patent 3777095, 1973.
- Nakagome, M., Apparatus for drying plastic particle. JPS 6458512 A, 1989.
- Nakagome, M., Dryer of plastic pellet. JPS 63216711 A, 1988.
- Nakagome, M., Dryer of plastic pellet. JPS 63231908 A, 1988.
- Nakagome, M., Dryer of plastic pellet. JPS 63231909 A, 1988.
- Nakagomi, S., *Method and apparatus for the microwave drying of plastic material*. EP0312741 A2, 1988.
- Nakagomi, S., *Plastic material dryer*. US Patent 4996779, 1991.
- Nakagomi, S., *Plastic drying apparatus*. US Patent 5105555, 1990.
- Nonhebel, G., Moss, A.A.H., (1971), *Drying of solids in the chemical industry*, Butterworth and Co. Publishers LTD, London.
- Oess, J., *Method drying/mixing apparatus*. US Patent 5255444, 1993.
- Pagotto, A., *Apparatus for the fast and continuous dehumidification of loose materials, particularly pellets for a plastic moulding plant*. EP 1703239 A2, 2006.
- Pagotto, A., *Drying, dehumidifying apparatus of microwave type for the rapid and continuous drying of plastic material, e.g. granules, pellets or flakes, for feeding an injection or extrusion moulding system*. European Patent Application EP 2511635 A1, 2012.
- Petri, R., Microwave mixer/dryer reactor for industrial use. US Patent 2005/0118077 A1, 2005.
- Pittari, G. and Zoppas, M., Apparatus and process for drying plastic material for a machine used to produce plastic containers. US Patent 8286366 B2, 2012.
- Rohr, M., *Process and apparatus for drying*. EP 0814311 A1, 1997.
- Sato, I., Apparatus for drying material which is mixed with a solvent. EP0306563 B1, 1987.
- Smith, F., *Microwave fluidized bed dryer*. US Patent 3528179, 1970.
- Soulier, J., *Microwave device for the heat treatment of powdery or granular materials*. US Patent 4406937, 1983.
- Sugisawa, K., Matsumura, Y., Taga, K. and Hattori, R., Low pressure microwave drying apparatus. US Patent 4637145, 1987.
- Sugisawa, K., Matsumura, Y., Taga, K. and Hattori, R., Microwave drying apparatus and use thereof. US Patent 4622446, 1986.
- Tjurin, N., *Method and apparatus for drying granulate dielectric materials*. US Patent 4222176, 1980.
- Tooby, G., *Method and apparatus for drying*. US Patent 3277580, 1966.
- Tran, V., System for the microwave treatment of materials. US Patent 4631380, 1986.
- Treybal, R.E., *Operaciones de transferencia de masa*, Mc Graw Hill/Interamericana, México D.F., 2003.
- Tsuruta, T. and Hayashi, T., Method for drying under reduced pressure using microwaves. US Patent 7665226 B2, 2010.
- Tsutomu, O. and Masaaki, N., Method and apparatus for drying granular materials. US Patent 5341576, 1994.
- Tu, Ch., Tsao, Ch., and Liu, Y. *Plastic dryer*. US Patent 2004/0200090 A1, 2004.
- Wear, F. and Mc Kinney, H., Zoned microwave drying apparatus and process. US Patent 4640020, 1987.
- Wear, F., Durant, D. and McKinney, H., Apparatus and process for drying granular products. US Patent 4347670, 1982.
- White, J., *Microwave heating cavity with a venetian blind mode stirrer*. US Patent 3521019, 1970.

**Una mirada a la problemática de  
los suelos de la Ciudad de México  
(CDMX)**



**Irma Reyes Jaramillo**  
**Universidad Autónoma Metropolitana- Iztapalapa,**  
**División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Departamento de Biología**

**Abstract**

Mexico City (CDMX) is administratively divided into urban land and conservation or rural land. The urban land is the region where most of the population lives and is located mainly in the downtown area, where there are large buildings, avenues and most of the human settlements are located. The rural land covers important areas of nine delegations (mayorships) where almost a quarter of the population lives, provides environmental services for the sustainability of the region and captures about 70% of the water that is used for various activities in the basin. It is currently subject to strong pressure that puts at risk the environmental services that it provides and that represent the future viability for the city. The growth of the urban area increases the sealed soils preventing the soil from performing its natural functions, with important economic and health consequences. Some actions aimed at a sustainable goal are recommended, in order to preserve rural and urban land, which means a challenge in which society and the government of the CDMX will have to assume to guarantee its conservation and proper functioning. On the other hand, the soil groups are mentioned from the pedological knowledge framed in the world classification (WRB) that covers 15 different soils, predominating in the mountainous areas the Andosols, Leptosols and Phaeozems. In the lacustrine zone the saline and Gleysols, as well as the soils generated by human action such as Anthrosols and Technosols.

**Keywords**

Urban-rural soil, Mexico City soils, environmental services, soil function and health, sustainable soil management.

**Resumen**

La Ciudad de México (CDMX) administrativamente se divide en suelo urbano y suelo de conservación o rural. El suelo urbano, es la región donde habita la mayor parte de la población; se ubica principalmente en la zona centro, donde hay grandes edificios, avenidas, y la mayoría de los asentamientos humanos. El suelo rural, abarca áreas importantes de nueve delegaciones (alcaldías), donde habita casi una cuarta parte de la población; aporta servicios ambientales para la sostenibilidad de la región y capta alrededor del 70% del agua, que se utiliza para diversas actividades en la cuenca. Actualmente se

encuentra sujeto a una fuerte presión, que pone en riesgo los servicios ambientales que nos brinda, y que representan la viabilidad futura para la ciudad. El crecimiento de la zona urbana incrementa los suelos sellados; impidiendo que el suelo realice sus funciones naturales, con consecuencias económicas y de salud importantes. Se recomiendan algunas acciones encaminadas hacia una meta sostenible, para preservar el suelo rural y urbano, que significa un reto, en el que la sociedad, y el gobierno de la CDMX deberán asumir, para garantizar su conservación y buen funcionamiento. Por otra parte, se mencionan los grupos de suelo desde el conocimiento pedológico, enmarcados en la clasificación mundial (WRB), que abarca 15 diferentes suelos: predominando en las zonas montañosas los Andosoles, Leptosoles y Phaeozems; en la zona lacustre los suelos salinos, sódicos y Gleysols, así como los suelos generados por la acción humana los Antrosols y los Tecnosols.

**Palabras clave**

Suelo rural-urbano, Suelos de la Ciudad de México, servicios ambientales, función del suelo y salud, suelo sostenible y manejo.

**Introducción**

El Distrito Federal ahora Ciudad de México (CDMX) comprende una superficie de 148,178.70 hectáreas. Para fines administrativos se divide en Suelo Urbano (SU) (60,203 ha) y Suelo de Conservación (SC) (87,204 ha) actualmente nombrado como Suelo Rural (SR), que representa el 59% del área (SMA, 2003); se localiza sobre todo al sur y surponiente de la entidad, administrado por nueve de las 16 delegaciones políticas denominadas recientemente alcaldías, como son: Milpa Alta (32.2%), Tlalpan (29.4%), Xochimilco (11.9%), Cuajimalpa (7.5%), Tláhuac (7.2%), Magdalena Contreras (5.9%), Álvaro Obregón (3.1%), Gustavo A. Madero (1.4%) e Iztapalapa (1.4%) (GDF, 2012).

El SR de la CDMX, es un espacio muy importante por su gran cobertura vegetal, principalmente de bosques de pinos, abetos, encinos, además de matorrales y pastizales. Así como áreas agrícolas, cuerpos de agua y humedales, éstos últimos, responsables en la época prehispánica de la creación de chinampas; para ampliar los sitios de siembra, ya que predominaba un paisaje lacustre.

El denominado SR también es uno de los espacios más importantes para los habitantes del Valle de México, por la riqueza económica, cultural y social que alberga; así como por el volumen y calidad de los servicios ambientales que aporta, para la sostenibilidad de la región. Por sólo presentar un ejemplo, se puede decir que en el SR se capta -al menos- el 70% del agua que se utiliza para diversas actividades en la cuenca, y se generan servicios ambientales que permiten controlar el clima, mejorar la calidad del aire y procurar servicios de recreación para la población (GDF, 2012).

De acuerdo a la Dirección General de la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural (DGCORENADER), el 80% de ésta área es: propiedad social, 10% es propiedad privada y 10% está urbanizada (GDF, 2006). El origen del SR data de 1992 y surge como un área protegida para salvaguardar los servicios ambientales de la ciudad, como son: la regulación del clima por medio de sus bosques, la recarga de mantos acuíferos, amortiguamiento de la contaminación atmosférica, preservación de la biodiversidad de flora y fauna, actividades de recreación y valor escénico.

La política ambiental en la Ciudad de México se ha ido consolidando gradualmente, desde las primeras medidas que datan de la década de los setenta; destacando la Ley Federal de Protección al Ambiente y la creación de la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente en 1972. Así como, la Ley del Desarrollo Urbano del DF en 1976. Posteriormente surgió la Comisión Coordinadora para el Desarrollo Agropecuario, y el Plan de Desarrollo Urbano del DF en 1980. Para el año 1982, se emitió la primera Declaratoria del Área de Conservación Ecológica del DF; que para entonces se consideraba una superficie de 684.86 km<sup>2</sup>, con énfasis en: la conservación de la flora, impulso a las actividades agrícolas, conservación de la chinampería y la recarga de acuíferos. En 1984, se creó la Secretaría General de Desarrollo Urbano y Ecología; en el siguiente año, la Dirección General de Reordenación Urbana y Protección Ecológica.

En 1987, se emitió una declaratoria, que establece la línea limítrofe; entre el área de Desarrollo Urbano y el área de Conservación Ecológica. Con ésta regulación, se creó una reserva natural de 82, 362 hectáreas, que componen el área de conservación

ecológica (Gaceta Oficial del Departamento del DF, mayo de 1990). Posteriormente, surgió la Secretaría del Medio Ambiente, quien toma a su cargo la política ecológica y realiza programas de protección al ambiente. A partir del año 2000, hay una especie de consolidación del sector ambiental; se crea la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural, para la conservación de los recursos naturales y el desarrollo agropecuario en el SC. En 2001, surgió la Procuraduría Ambiental; se inició el manejo del desarrollo sustentable, y se elaboró el Programa General de Ordenamiento Ecológico del DF; con el objetivo de regular los usos del suelo, el manejo de los recursos naturales y las actividades humanas en el SC.

Como se puede apreciar, tiene un gran historial la evolución del marco regulatorio de la política ambiental en el DF. Con particular énfasis en las normatividades que se aplican a lo que se reconoce como SR. Se han creado instancias relacionadas con el tema ambiental y se han elaborado una gran cantidad de leyes, reglamentos y programas que se han convertido en el principal marco regulatorio, el cual ha sido investigado ampliamente por Aguilar (2013); que de una u otra forma, han delimitado y definido los usos permitidos en el SR. Sin embargo, a pesar de esta sobre-regulación al interior de la zona, no se han detenido los procesos de deterioro ambiental y de expansión urbana; sobre todo de asentamientos irregulares, transformando extensas áreas de SR en SU con enormes requerimientos y satisfactores; dando rasgos de metropolización y suburbanización en la periferia de la entidad. Se considera que entre 1970 y 2010 el territorio de la capital del país aumentó 3.57 veces, lo que significa un incremento del área urbana de 72.86% (Padilla, 2017). Lo anterior se ve reflejado principalmente en los daños ambientales; teniendo actualmente condiciones carentes de sostenibilidad la CDMX por la falta de servicios ambientales que nos proporciona el SR.

### **El Suelo Rural**

Más de la mitad de la superficie de la CDMX es SR, que está conformado por áreas forestales, agrícolas y parajes con gran riqueza natural y paisajística; del que depende la vida urbana de la ciudad, ya que tiene gran dependencia sobre todo en materia de agua, aire y clima (Rodríguez y col. 2013) (Fig.1)(Fig.2).



Figura 1. Zona sur de la CDMX con el volcán Popocatépetl al fondo.



Figura 2. Zona chinampera en el Parque Ecológico de Xochimilco.

El paisaje, de la zona metropolitana de la CDMX presenta relieve montañoso principalmente al sur, donde el SR se extiende por las Sierras de las Cruces, del Ajusco y del Chichinautzin; hacia el norte la Sierra de Guadalupe, con una variación altitudinal de 2,800 a 4,000 m snm; contrastando con la extensa planicie lacustre. Por otra parte, el continuo crecimiento de la zona urbana es sin duda el mayor reto en la sostenibilidad del agua y del suelo de la zona rural (Fig.3).



Figura 3. Vista panorámica de la CDMX, se observa contaminación atmosférica e incremento de la macha urbana en Suelo Rural.

Los residentes de la ciudad, dependen de los servicios ecosistémicos o ambientales, es decir, los beneficios que la naturaleza aporta a la sociedad; incluyendo aquellos, que proporcionan sus cuerpos de agua, sus suelos y su vegetación. Existen diferentes formas de clasificar los servicios ecosistémicos. La más común, los divide en bienes y servicios, propuesta por Millennium Ecosystem Assesment (2005). Los ecosistemas proveen a la sociedad de una amplia gama de servicios para su subsistencia, pueden ser directos como son la producción de agua y de alimentos, o indirectos como la fotosíntesis y la captura de carbono orgánico por las plantas.

Se pueden también clasificar en servicios de provisión o abastecimiento de alimentos, agua, fibras y combustibles; los de regulación, que modulan las condiciones en las cuales habitamos y realizamos nuestras actividades productivas; contribuyendo a mejorar el microclima, aumentar la infiltración y drenaje del agua evitando que se vaya al alcantarillado, o se inunden las calles. Reducen el ruido, participan en la purificación del aire y del agua. Así como, las áreas verdes, que benefician considerablemente la salud pública. Otros servicios son los culturales, esenciales, para el bienestar humano e inspiración para las manifestaciones estéticas; obras de ingeniería, identidad cultural y recreativa, que reducen la violencia. Por último, los de sustento, que son los procesos ecológicos básicos, áreas ocupadas por los ambientes naturales, y la diversidad de especies.

Por dar un dato, en la Ciudad de Nueva York en Estados Unidos de Norteamérica, de acuerdo a ACTrees (2011), se tenían: 5.2 millones de árboles, de 168 diferentes especies; cubriendo el 24% del área urbana. Se estimó una remoción anual de contaminación, de 2, 202 ton; una captura anual de agua de lluvia de 890 millones de galones (equivalente a 1 340 albercas olímpicas y se redujo un costo de energía anual, igual a 50 dólares por árbol o \$ 28 millones/año.

En la conservación del agua y del suelo, siempre hay una fuerte conexión entre sus medidas de preservación; y, aunque se tomen medidas dirigidas por separado de estos dos recursos, la mayoría comprenden a ambos. Por la interrelación que existe entre el clima, vegetación y el suelo, la cobertura vegetal es fundamental para contar con agua, en todas sus formas, y evitar la degradación del suelo (Fig.4).



Figura 4. Suelo Rural mostrando su belleza y servicios ambientales.

Es de subrayar, la gran importancia que tiene para la entidad, la capacidad de captación del agua de lluvia que se infiltra, a través de sus suelos, alimentando los mantos acuíferos; aportando la zona rural del 60 al 70% del agua potable que se consume en la ciudad, siendo extraídos de los manantiales y pozos de la ciudad 14.6 m<sup>3</sup>/s de 31.2 m<sup>3</sup>/s que se complementa con otras fuentes. Más aún, si se contempla que la extracción de agua es mayor que la recarga, debido a la demanda creciente y a la reducción de zonas de captación. Se estima que por cada hectárea que se urbaniza, la recarga se reduce un promedio de 25 millones de litros de agua al año (SEDEMA, 2018).

Una de las principales funciones de los suelos urbanos es proporcionar soporte estructural para la infraestructura verde, que comprende: a las plantas, el almacenamiento de agua y la capacidad de infiltración, para el exceso de volumen de agua de lluvia y evitar, así, inundaciones y daños por escorrentía.

Los grupos de suelos del área rural, de acuerdo a la clasificación mundial (Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB) son 15: predominando los Andosoles, Leptosoles y Phaeozems; que cubren el 81% de su superficie; los cuales presentan alto riesgo de erosión, cuando son desprovistos de la vegetación. En la zona lacustre, hay Solonchaks o salinos, Solonetz o sódicos y Gleysoles; además de Antrosoles en la zona chinampera y Tecnosoles en el SU, entre otros, que cubren menor superficie (INEGI, 2002).

De manera general, los Andosoles son suelos derivados de ceniza volcánica; presentan un horizonte superficial de color negro, son: porosos, ligeros, sueltos y tienen el inconveniente de que fijan el fósforo (por el aluminio y hierro libres) que limitan su fertilidad. Son fáciles de cultivar y permiten buen crecimiento de las raíces, así como de almacenamiento de agua y tienen gran capacidad de carga. Desprovistos de vegetación, son muy susceptibles a perderse por erosión; se localizan al suroeste de la CDMX, cubriendo la mayor parte de las Cruces y el Ajusco, en menor proporción se localizan al sur de la sierra del Chichinautzin.

Los Leptosoles, son suelos muy delgados (menos de 10 cm), con frecuencia pedregosos. Se localizan en los extremos sureste y suroeste de la sierra del

Chichinautzin; en los derrames lávicos de los volcanes Tláloc, Pelado, Xitle y; al norte de la ciudad en las laderas de la sierra de Guadalupe y el cerro del Tepeyac.

Los Phaeozems, son suelos: profundos, pardos o negros, fértiles, están en la región norte y noreste de la sierra del Chichinautzin; en las coladas lávicas de Xochimilco y, en la planicie lacustre de Xochimilco-Tláhuac, el cerro de la Estrella y la parte central de la sierra de Guadalupe.

Los Solonchaks y los Gleysoles, se localizan en zonas bajas del valle, en la zona lacustre. Los primeros se caracterizan por su alta concentración de sales solubles, en algún momento del año; por lo que se les conoce como suelos salinos; en consecuencia afectan el crecimiento de las plantas, lo que limita su fertilidad. Los Gleysoles, son suelos de humedales, saturados con agua freática por períodos largos, desarrollando un color gléyico (grisáceos- azulados) por la falta de oxígeno, y condiciones reductoras. Para su uso agrícola se requiere de drenaje.

En un estudio realizado en la zona urbana del Distrito Federal ahora CDMX, en una superficie aproximada de 1,320 km<sup>2</sup>, incluyendo las 16 alcaldías; se encontró, que la formación y evolución de los suelos es variable y se resume en cuatro paisajes: relieve montañoso, piedemonte, planicies proluviales-lacustres y planicies lacustres (Cram y col., 2008). Los mismos autores determinaron 18 unidades morfogenéticas del relieve (relativas a su origen), las cuales incluyen 64 unidades morfoedafológicas (relacionado a las características de sus suelos), tres de ellas cubren casi el 50% de la CDMX y son: Llanuras lacustres (24%) con suelos de Phaeozem háplico, Solonchak háplico y Gleysol mólico. Lomeríos y colinas volcánico-estructurales (8.18%) con Andosol mólico, Phaeozem háplico y Leptosol lítico. La tercera unidad comprende el complejo de cimas y laderas erosivo denudativas (15.17%), con rocas ígneas (volcánicas), con Leptosol lítico, Phaeozem háplico y Andosol mólico.

Los suelos, se caracterizan por ser cuerpos naturales que varían en su: profundidad, extensión, composición mineral y orgánica; dependiendo de los factores: roca (que les dio origen), clima, relieve, organismos y el tiempo en que se van formando y estructurando. En función de ello, los suelos, tienen

diferente capacidad de prestar o proveer servicios ambientales. De los 32 grupos de suelos que se reconocen en el planeta, de acuerdo a la (IUSS Working Group, WRB, 2008 y 2015), dos de ellos no son de origen natural, sino que, el hombre ha intervenido en su génesis y son: los Antrosoles y los Tecnosoles, éstos últimos muy frecuentes en el inventario de suelos urbanos.

Los Tecnosoles, están formados por cúmulos de una gran diversidad de materiales ajenos a los suelos: cascajo, restos de escombros de diferente composición producidos por causa de las guerras o de sismos, lodos residuales o azolves, basura de origen inorgánico (telas, plásticos, latas), residuos de minas, entre otros; por lo que se deduce que no son fértiles.

El crecimiento de la mancha urbana, trae consigo, el incremento de los Tecnosoles y la pérdida de los beneficios ambientales que los suelos *per se* aportan. El caso extremo, son los llamados suelos sellados, es decir, los que se encuentran cubiertos por casas, edificios, vialidades, estacionamientos, banquetas, industrias, comercios, etc. (Fig. 5). La CDMX tiene un área sellada de 713 km<sup>2</sup> o sea un 47% de la superficie total (Cram y col., 2008) y hay alcaldías como las de Cuauhtémoc, Iztacalco, Benito Juárez y Azcapotzalco que tienen más del 90% de sus suelos sellados. Milpa Alta, Tlalpan y Tláhuac van de 28% a 38% que son principalmente SR; que además presentan barrancas y pendientes mayores a diez grados.



Figura 5. Sellamiento del Suelo Urbano con banquetas y calles, con poco espacio para el crecimiento de las plantas.

Los servicios ambientales, que proporcionan las áreas verdes, particularmente en las grandes ciudades se ven afectados por los usos y degradación de los suelos; lo cual afecta la calidad de vida de la gente que las habita. Los valores recomendados internacionalmente, como índice de áreas verdes por

habitante van de 9 a 16 m<sup>2</sup> (Guevara y Moreno, 1987) y en la CDMX tenemos alcaldías con valores menores a 3 m<sup>2</sup>/habitante.

Algunos ejemplos de servicios culturales que proporcionan las áreas verdes y que repercuten en el bienestar de las personas, son: que la gente encuentra a los sitios arbolados como más atractivos y placenteros que las áreas sin plantas. Investigaciones, han demostrado que la gente es más sociable, gusta de salir a la calle, se disminuye el vandalismo y la criminalidad. Con relación a la educación, son lugares ideales para: aprender, descubrir y jugar, además proveen un hábitat para la fauna silvestre (Fig. 6). Son espacios ideales para observar aves, estudiar la biodiversidad, y como sitios de recreación, tenemos los parques y zonas arboladas urbanas, que proporcionan oportunidades para hacer deporte y ejercicio, entre otras actividades que reducen el estrés de la vida urbana y se convierten en áreas de esparcimiento (ACTrees, 2011).



Figura 6. Zona lacustre con fauna y flora características, Xochimilco, CDMX.

Por otra parte, pensemos en la formación de los suelos; donde intervienen diferentes factores y procesos. Su desarrollo puede tardar miles de años, por lo que se considera un recurso no renovable. La mayoría de los suelos se formaron en el período Holoceno que es el más reciente de la era Cenozoica, de acuerdo a la escala geológica, comprende alrededor de 11, 500 años, después del Pleistoceno, hasta nuestros días; sin embargo, el mal uso y manejo de este importante recurso natural, puede generar su pérdida irreparable en tan sólo unas horas, meses o años.

La degradación del suelo se define como un proceso que rebaja o reduce su capacidad actual y potencial para producir bienes o servicios (FAO - PNUMA

,1980). Pueden darse una serie de cambios físicos, químicos y biológicos en sus propiedades y procesos del suelo que llevan a una disminución de su calidad.

Por lo antes expuesto, ha surgido el concepto de desarrollo sustentable o sostenible, que es complejo y dinámico; además de integrar objetivos: sociales, económicos y ambientales. La influencia humana sobre los suelos, con frecuencia, resulta en procesos de degradación, al estar el suelo y agua estrechamente relacionados; las alteraciones desfavorables de los procesos hidrológicos afectan los regímenes hídricos del suelo y varias de sus características.

Debido a que el clima, el suelo y las condiciones socioeconómicas difieren mucho de un lugar a otro; y si le sumamos que están en constante cambio; es imposible establecer procedimientos universales simples, relacionados con las prácticas de manejo sostenible del suelo, para la producción de cultivos y la protección del ambiente. La selección adecuada de estas prácticas, debe estar basada en investigaciones, con una visión amplia, sobre conservación de suelos; donde todos los componentes del sistema y sus interacciones sean considerados, y entendidos con una aproximación previsor, para asegurar ganancias, a corto plazo; y, no propicien pérdidas a largo plazo, en ningún sector o zona.

Sólo se podrán encontrar soluciones duraderas, mediante el reconocimiento de la complejidad de los problemas; atendíéndolas profesionalmente por personal capacitado en: suelos, hidrología, geociencias, botánica, agronomía, urbanismo y paisajismo; que puedan desarrollar estrategias apropiadas, en forma interdisciplinaria.

#### **Degradación de los ecosistemas y agrosistemas.**

Desde la perspectiva de la política urbano-ambiental, que se aplica en el SR, predominan condiciones de falta de sostenibilidad urbana y los conflictos ambientales que surgen con la urbanización, son evidentes y difíciles de solucionar. Entre las causas relevantes de la degradación, de los recursos naturales de la CDMX están: la sobreexplotación de los acuíferos, el cambio de uso del suelo de forestal a agrícola o ganadero y habitacional, incidencia de incendios, la deforestación, la erosión, la compactación y contaminación del suelo, la modificación de

microclimas y la disminución de la biodiversidad vegetal y animal.

#### **Políticas agroambientales.**

En la CDMX el marco regulatorio en materia ambiental tiene aproximadamente 40 años, a pesar de la sobrerregulación, no se han detenido los procesos del deterioro ambiental y de expansión urbana; sobre todo de asentamientos irregulares. La SAGARPA conduce las políticas agrícolas junto con la SEMARNAT encaminadas a la conservación de suelos agrícolas, pastizales y bosques. Apoyadas en el Programa General de Ordenamiento Ecológico de la CDMX, que define la superficie del SR y la Ley Ambiental del Distrito Federal.

El cambio de uso de suelo, el aumento de asentamientos humanos, la falta de oportunidades de educación y de trabajo en otras entidades, ha propiciado que la mancha urbana se incremente considerablemente; dañando el ambiente y la salud de los habitantes de la CDMX. Mientras no se resuelvan los problemas socioeconómicos, y no se apliquen estrictamente por los gobernantes, los programas, leyes y reformas con que se cuenta, para la protección del: suelo, agua y aire de la megalópolis; toda acción que se emprenda dará pocos resultados visibles y palpables.

#### **Acciones encaminadas hacia la meta sostenible de los suelos de la CDMX.**

Debido al mosaico de ambientes, suelos y condiciones actuales del SR y del SU, no se puede dar un manejo generalizado, debido a que el problema es multicausal y muy complejo, sin embargo se pueden sintetizar algunas de las acciones conducentes a preservarlas:

- Promover la protección y recuperación de áreas verdes, por todos los beneficios que ello conlleva: captura de dióxido de carbono, generación de oxígeno, mayor captación del agua de lluvia que alimenta los manantiales; lo que asegura el suministro y calidad del vital líquido. Para ello es esencial considerar las cuencas hidrográficas como unidad de protección y planificación, mediante un manejo adecuado.
- Evitar la pérdida de suelo, particularmente en terrenos de ladera; haciendo uso de infraestructura empleada en el manejo de conservación, por

personal profesional; creando terrazas, presas, zanjas, bordos, etc., que eviten la erosión. Así como, prácticas de reforestación, con especies idóneas, para mitigar la hidroerosión.

- Preservar el SR de las alcaldías de Milpa Alta, Tlalpan, Xochimilco, Cuajimalpa y Magdalena Contreras; por ser las que cuentan con una mayor superficie y tener la mayor cantidad de manantiales, siendo relevantes por tener la mayor captación de agua de lluvia que nutren a los acuíferos de la CDMX; por ser el agua, uno de los servicios urbanos, de primera necesidad.

- Evitar cambiar el uso de suelo, tiene mucha relación con los asentamientos humanos irregulares que deterioran el ambiente, disminuyendo la cobertura vegetal; erosionando el suelo y contaminando el agua.

- Reforestar con especies nativas, es fundamental para el buen funcionamiento de estos ecosistemas. La vegetación, constituye el principal factor de estabilización de los suelos, por su participación en el ciclo hidrológico y biogeoquímico; siendo un medio importante para la captura de carbono y retención de partículas suspendidas. Por lo tanto, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), juega un papel muy importante, en la preservación de los bosques; indispensables para contar con el recurso vital -agua y los servicios ambientales antes mencionados.

- Fortalecer el pago de servicios ambientales a los dueños de los predios del SR.

- Reducir la contaminación en todas sus formas, partiendo de su origen; tomando las medidas pertinentes.

- Disminuir, el área sellada tanto en el SR, como en SU; usando pavimentos porosos y permitiendo que el agua drene, a través del suelo; evitando su compactación y en consecuencia inundaciones, captando más agua de lluvia y reduciendo la pérdida de suelo por escorrentía.

- Aumentar el área libre de suelo, en la base de los árboles; especialmente en las banquetas, ya que al crecer la planta, su raíz no dispone de espacio, y se vuelca sobre las banquetas. Si se reduce el área de

banqueta se le permite al suelo realizar sus funciones, drenando el agua y reduciendo el caudal en caso de inundaciones (Figs. 7-9).



Figura 7. Insuficiente espacio en la banqueta para el crecimiento de un árbol.



Figura 8. Levantamiento de banqueta por las raíces del árbol y abandono de basura en la vía pública.



Figura 9. Poco espacio para que el suelo haga sus funciones.

- Seleccionar las especies del arbolado urbano; en función de su: crecimiento, dimensión radicular, forma y tamaño de copa. Lo cual garantiza, que no haya daños en la infraestructura urbana; incluyendo cableado, banquetas, entre otros. Considerar, que muchas plantas, pueden generar alergias; por la cantidad y tipo de polen que producen o ser tóxicas.

- Considerar, al seleccionar entre especies arbóreas, el hecho, de que sean caducifolias o perennifolias; es decir, las que tiran el follaje en otoño-invierno y las que no; ya que se genera basura orgánica. La cual, es inconveniente en sitios pavimentados o con césped; conveniente en áreas donde no los hay, ya que, la materia orgánica, beneficia abundantemente al suelo.

- Tomar en cuenta la resistencia de las plantas a la contaminación del aire y a la sequía estival.

- Trabajar, en la creación y el manejo del paisaje urbano, así como en su mantenimiento.

- Optimizar el tratamiento de aguas residuales y sistemas de riego.

- Rehabilitar la zona lacustre y sus suelos ensalitrados.

- Revisar la normatividad de uso de agroquímicos, entre otros; que contamina el aire, el suelo y el agua; se deben de analizar constantemente.

- Reducir la emisión de gases de efecto invernadero y la lixiviación de nitratos y otras fuentes de contaminación a los mantos acuíferos.

- Realizar prácticas de conservación de suelos, tales como labranza de conservación, manejo de residuos de cosechas (rastraje), fomentar el uso de abonos verdes y orgánicos. Aplicar biotecnologías como el uso de bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos micorrízicos, que mejoran la calidad del suelo así como su fertilidad y en consecuencia el crecimiento de las plantas.

- Promover el control biológico de plagas y enfermedades, fomentar la agricultura orgánica.

- Capacitar profesionales en materia de sostenibilidad, conservación de suelos, recuperación

de suelos degradados, así como en medidas de mejoramiento, mitigación y/o control.



Figura 10. Alumnos del curso de Edafología de la UAM-Iztapalapa, aprendiendo la morfología de un suelo natural.

- Informar y educar, a la población en su conjunto, para generar una cultura, de la importancia y beneficios que aportan, el buen uso y manejo de los recursos naturales; haciendo uso de los medios masivos de comunicación (televisión, radio, cine, anuncios, etc.) y dándole su valor, e importancia en las instituciones de educación, en todos sus niveles.

El manejo sostenible del agua y del suelo, no es una tarea fácil; sin embargo es necesario esforzarse en ello, sí es que queremos tener un futuro con bienestar. Para ello, hay que implementar políticas urbanas que: vinculen el ambiente, la pobreza urbana y el desarrollo económico; relacionados con el deterioro ambiental; vigilar que se practiquen adecuadamente, así como monitorear los resultados, para hacer los ajustes necesarios; lo cual implica, un trabajo interdisciplinario e interinstitucional, considerando que no es un gasto, sino una inversión, que se verá reflejada en salud pública y bienestar social, que hará más eficientes las finanzas gubernamentales.

### Conclusiones

Las tendencias actuales de cambio de uso del suelo, forestal a agrícola, y de agrícola a urbano; con asentamientos humanos irregulares en el SR, trae consecuencias no deseables en el ambiente y en la calidad de vida de la población de la CDMX.

El suelo tiene funciones naturales que le proporcionan sus propiedades físicas, químicas y biológicas, al sellar los suelos, le impedimos que realice éstas funciones y las consecuencias, representan pérdidas económicas importantes, para los ciudadanos y para el gobierno.

Se requieren estudios de los suelos urbanos y rurales que permitan evaluar sus propiedades, su capacidad de infiltración y de absorber la escorrentía de aguas pluviales; ya que ésta información varía mucho, de un lugar a otro; la taxonomía de suelos y los datos hidrológicos medidos, son muy escasos, principalmente en las áreas urbanas.

Los suelos, tienen diferente vocación; los suelos lacustres tienen propiedades y una composición que no los hace aptos para asentamientos urbanos; como lo demostró el sismo del 19 de septiembre de 2017. De igual forma, hay suelos fértiles, productivos y que se conservan mejor con un uso forestal (Leptosoles, Andosoles, etc). Una planeación inteligente y una cultura preventiva, reeditarán, en ambientes más sanos y confortables; menor costo y en hacer más eficientes los recursos naturales, productivos y humanos.

Pies de Figura del manuscrito: "Una Mirada a la problemática de los suelos de la Ciudad de México (CDMX)".

### Referencias

ACTrees, 2011. Benefits of trees and urban forests: A research list. Recuperado de [http://actrees.org/files/Research/benefits\\_of\\_trees.pdf](http://actrees.org/files/Research/benefits_of_trees.pdf). Consultado 9 de enero de 2018.

Aguilar, A. G. Sustentabilidad Urbana y Política Urbano-Ambiental. La Ciudad de México y el Suelo se Conservación. En: La Sustentabilidad en la Ciudad de México, El suelo de Conservación en el Distrito Federal. (Eds.) A. G. Aguilar e I. Escamilla. (pp. 23-66). MAPorrúa librero-editor-México.(2013).

Cram, S., H. Cotler, L. M. Morales, I. Sommer y E. Carmona (2008), "Identificación de los servicios ambientales potenciales de los suelos en el paisaje urbano del Distrito Federal", *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 66, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 81-104.

FAO, PNUMA y UNESCO. 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de suelo. Roma. 86 pp.

Guevara, S. y P. Moreno (1987), *Áreas verdes de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Atlas de la Ciudad de México*, Departamento del Distrito Federal y El Colegio de México, Plaza y Valdés, México.

GDF. 2006. Programa Estratégico Forestal del Distrito Federal (PEF-DF) 206-2025. Secretaría del Medio Ambiente, Dirección General de la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural. México, D.F. 80 pp.

GDF. 2012. Atlas geográfico del suelo de conservación del Distrito Federal. Secretaría del Medio Ambiente, Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal, México, D.F. 96 pp. Recuperado de [https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2012/06/AtlasGeograficoSueloConservacionDF\\_2012.pdf](https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2012/06/AtlasGeograficoSueloConservacionDF_2012.pdf)

INEGI. 2002. Recursos naturales y servicios ambientales, estadística del medio ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana. México, D.F. 24 pp. Recuperado de [http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825480509/702825480509\\_4.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825480509/702825480509_4.pdf)

IUSS Working Group, WRB. 2008. Base referencial mundial del recurso suelo. Un marco conceptual para clasificación, correlación y comunicación internacional. FAO, ISRIC. Roma. 106 pp.

IUSS Working Group, WRB. 2015. World reference base for soil resources, International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. FAO, ISRIC. Rome.

<http://www.fao.org/3/i3794en/I3794en.pdf>

Padilla, G. S. 2017. *Metrópolis México. Formación-Consolidación*. Ed. UAM. Unidad Azcapotzalco, Departamento del Diseño en el Tiempo. Área de Arquitectura y Urbanismo Internacional. 280 pp.

Rodríguez, G., M. de L, López, B.J. y Vela, C. G. Cambio de Cobertura Vegetal y Uso del Suelo de Conservación, Distrito Federal. En: La Sustentabilidad en la Ciudad de México, El suelo de Conservación en el Distrito Federal. (Eds.) A. G. Aguilar e I. Escamilla. (pp. 149-175). MAPorrúa librero-editor-México,(2013).

SEDEMA, 2018. Cuidar el agua es cosa de todos. Recuperado de <http://www.cuidarelagua.cdmx.gob>

SMA, 2003. El suelo de conservación del Distrito Federal, Gobierno del Distrito Federal, 19-09-2003, recuperado de <http://sma.df.gob.mx/sma/index>.

**Caracol de jardín (*Cantareus aspersus*),  
especie introducida en México**



**J. Saharaim Corzas-Cruz<sup>1</sup>    Sonia Emilia Silva-Gómez<sup>2</sup>**  
**<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Biológicas - BUAP, <sup>2</sup>DUDESU**  
**Instituto de Ciencias-BUAP**

**Abstract**

The brown garden snail (*Cantareus aspersus*), a species commonly found in gardens throughout the world, partakes in crop destruction and profit loss due to its highly invasive nature. Indirect factors, like international trade and the cultivation of new crops, have introduced *C. aspersus* to countries beyond its native locations. This article discusses the origin, distribution, and characteristics of the garden snail *C. aspersus* that made it possible to arrive to Mexico.

The climatic and topographical conditions that make Mexico a megadiverse country also predispose it as a country where these alien species have successfully settled down and proliferated. Nonetheless, the disregard towards these invasive organisms and the limited number of researchers pose a challenge in controlling this pest.

**KeyWords:** *Gastropoda Introduced Species Terrestrial Mollusks*

En México las actividades agropecuarias tienen una gran importancia en el medio rural como fuente de ingresos y proveedor de alimentos según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura en conjunto con la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (FAO-SAGARPA, 2012, p.1); México cuenta con aproximadamente 270.000 Km<sup>2</sup> de suelo agrícola que corresponde al 13.8% del territorio nacional, entre tierras de riego y de temporal. En general se utilizan para la agricultura cada año 168 000 Km<sup>2</sup>, que representan el 8.6% del territorio del país. (Danzos, 2007, p.35)

Entre los factores que limitan la producción agrícola y la calidad de las cosechas están las enfermedades y las plagas, las cuales pueden atacar a los cultivos desde que las plantas inician su crecimiento, hasta la cosecha y aun en el almacenamiento. (Danzos, 2007, p.15)

Mollusca es uno de los grupos más diversos que existen y es susceptible de ocasionar invasiones biológicas (Ramírez-Herrera y Urbano, 2014, p.6). El filo Mollusca se agrupa en 7 clases, de ellas la clase Gastropoda es la más diversa y la única con representantes terrestres: caracoles y babosas según Helrbert y Kilburn (citados en Naranjo-Gracia, 2014, p.431). Los gasterópodos terrestres (caracoles

terrestres) se encuentran confirmados desde la antigüedad y es en el siglo XX donde estos organismos destacan como plaga importante en cultivos de zonas templadas y tropicales (Barker M. , 2002, p xi). Cuando se presentan en grandes cantidades, pueden reducir el rendimiento de los cultivos o el valor de mercado de los productos cosechados, ya sea causando manchas o simplemente por estar presentes en el producto final (Barker M. , 2002, p.19).

A causa de la gran influencia de su alimentación, los moluscos terrestres pueden ser considerados como plagas serias en los entornos agrícolas, de forma general en lugares con poca o ninguna labranza; cultivos hortícolas y grandes cultivos de grano y forraje como alfalfa, trébol, maíz, papas, colza, centeno, soja, nabos, trigo (Le Gall & Tooker, 2017), alcachofas (Smith *et. al*, 2008), entre otros.

Gran parte de los caracoles terrestres (gasterópodos terrestres) que son causa de grandes daños en la agricultura con efectos económicos, tienen en común haber llegado accidentalmente a un lugar. Aunque tienen su origen en lugares muy distantes, en algunos casos, lograron establecer abundantes poblaciones de forma rápida, y naturalizarse en los nuevos ambientes. (Letelier y Ramos, 2005, p.15) Es el caso del caracol de jardín en México.

Una de las consecuencias de la economía de mercado y la globalización es la introducción, accidental o deliberada, de especies fuera de su rango de distribución original. (Araiza-Gómez *et al.*, 2017) El caracol de jardín (clase Gastropoda, familia Helicidae y formalmente llamado *Cantareus aspersus*, *Helix aspersa*, *Cryptomphalus aspersus* o *Cornu aspersum*) es una especie introducida (Dreistadt, 2012, p.199) e invasiva fuera del continente europeo (Jørgensen y Sørensen, 2008, p.7). *C. aspersus* ha sido detectada como especie exótica en numerosos países en todos los continentes del mundo; el único sitio fuera del rango de distribución actual de *C. aspersus* es la Antártida; se considera como plaga invasora en una gran variedad de cultivos agrícolas en América, Australia, Nueva Zelanda, Sudáfrica y zonas elevadas (>1000 msnm) de muchas islas tropicales y subtropicales. (Tovar, 2016, pp.67, 81).

De acuerdo con Tovar, 2016, el puntaje obtenido

para *Cantareus aspersus* fue 0.8593 con el Método de Evaluación Rápida De Invasividad (MERI), situándose como una especie de invasividad muy alto. (p.81)

Este depredador de plantas ha sido diseminado internacionalmente en muchas partes del mundo por el ser humano, ya sea como comida gourmet, de forma accidental a causa del movimiento de plantas o por aficionados que colectaban caracoles (Dekle y Fasulo, 2014).

Fue descrito por O.F. Müller de especímenes colectados en Italia (Dekle y Fasulo, 2014) pero se piensa que su región nativa corresponde al norte de África (Tovar, 2016, p.67). Su distribución natural incluye Gran Bretaña, Europa occidental, y a lo largo de las fronteras del Mediterráneo y el Mar Negro (Dekle y Fasulo, 2014). Fue introducido en las Islas Británicas, América del Norte, Sudamérica, Asia Occidental, Sur de África y en Oceanía (Díaz, Aguirre, Mejía, y Martínez, 2007, p.79); puntualizando Islas Atlánticas, Haití, Nueva Zelanda, Australia, México, Chile y Argentina (Dekle y Fasulo, 2014). En Centro y Sudamérica, la colonización española (del Siglo XVI) ha sido citada como responsable de la introducción *C. aspersus* al continente (CABI, 2018); por otra parte Baker (1895) hace alusión específica a la entrada de este molusco en México a través de productos alemanes dirigidos al país, afirma sobre su asentamiento y propagación por el valle de Anáhuac hacia finales del siglo XVII (1890-1895). (p.182)

El caracol de jardín fue detectado en México por Alexander Humboldt entre los años 1803 y 1804 y registrado por Pilsbry (1891) en la Ciudad de México. También fue localizado en Jaral, Guanajuato, (Naranjo-García y Castillo-Rodríguez, 2017, p.108), Puebla y en los alrededores de la Ciudad de México, especialmente en el parque de Chapultepec (Martens, 1890-1901). En la actualidad, *C. aspersus* se encuentra en los estados de Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Durango, Guanajuato, Hidalgo, México, Puebla, San Luis Potosí, Tlaxcala, Veracruz y en la Ciudad de México (Tovar, 2016, p.82).

Los caracoles son invertebrados de cuerpo blando según Herbert y Kilburn (citados en Naranjo-Gracia, 2014, p.431), con una concha generalmente globular

(Tovar, 2016, p.62); necesitan de una humedad relativa de 75-95% y una temperatura entre 15 y 25° C para poder llevar a cabo el proceso de reproducción (Bonilla et al., 2010).

Alcanzan la madurez en 1-2 años, en cambio la longevidad es de aproximadamente 5 años (White-McLean, 2011). *C. aspersus* inicia su ciclo de vida en el estado de huevo, pasa por la etapa juvenil y posteriormente llega a la etapa adulta.

Cada caracol presenta estructuras reproductivas tanto masculinas como femeninas (llamado hermafroditismo) y dependiendo del clima local y la humedad, cada adulto deja una puesta aproximada de 80 huevos una vez al mes, localizados en un hoyo en la capa superficial del suelo. Cada huevo mide alrededor de 0.25 pulgadas (4mm) de largo, son esféricos o con forma de lágrima. (Dreistadt, 2012, p.199)

*C. aspersus* es un herbívoro con una dieta de gran espectro que varía con la temporada y la disponibilidad de las plantas de acuerdo a Ansart como se cita en (Tovar, 2016, p.65).

La alimentación se produce principalmente por la noche, pero puede extenderse a la luz del día en condiciones de niebla matutina y lluvia ligera (Sakovich, 2002); según Charrier y Rouland (citados en Tovar, 2016) selecciona plantas verdes vivas o senescentes, aunque también pasta en frutas, verduras, cereales, flores y arbustos. El complemento enzimático que poseen estos organismos permite la degradación de componentes de las plantas como la celulosa, hemicelulosa y xilano; por otra parte, su microflora intestinal aumenta su capacidad digestiva. (p.65)

Las áreas que ofrezcan buenos escondites y altas proporciones de plantas de hoja ancha (fuente de alimento preferida) serían las más adecuadas para *C. aspersus* de acuerdo con Jørgensen y Sørensen (2008), puede apreciarse en la Figura 1.

Al mismo tiempo, revelan un comportamiento "gregario", donde un alto número de individuos se posan en un área que consideran segura, este comportamiento se ve acentuado en épocas desfavorables como el invierno (Barker y Watts, 2002).



Figura 1 Apreciación de invasión por *Cantareus aspersus* en ejemplar de alcachofa *Cynara cardunculus* var. *scolymus* [Figura] (Fotografía: Saharaim Corzas, 2015).

Se esconde entre las plantas y tierra para macetas que comúnmente son comercializadas en el país (en estado de huevo, juvenil y adulto), por lo que se corre el riesgo de seguir dispersando a la especie en otras entidades y regiones que aún están libres de ella (Tovar, 2016, p.82).

En México las acciones contra especies invasoras se han enfocado básicamente a aquellas que causan daños económicos a las actividades agrícolas y pecuarias (Espinosa-García, Golubov, Koleff, y Mendoza, 2007, p.9).

Los perjuicios causados por los gasterópodos terrestres en los sistemas agropecuarios exponen una enorme variabilidad en el tiempo y en el espacio. Especialistas como Bohan *et al.*, 1997; Speiser y Kistler, 2002; Port y Ester, 2002; Glen *et al.*, 2003; Archard *et al.*, 2004 y Willis *et al.*, 2006 (citados en Córdoba, 2009, p.340) han coincidido en apuntar que la falta de criterios sobre la aplicación de tratamientos hacia gasterópodos terrestres, es la causa imperante del uso abusivo de molusquicidas a nivel mundial. Según Castillejo (citado en Tovar, 2016), el intento de eliminación de esta plaga mediante el uso de molusquicida, ha aumentado desde 1970, estimando que los agricultores españoles aplican 2,500 toneladas de molusquicidas al año, a un costo de 5 millones de libras esterlinas; en California, los costos anuales de control se estiman en más de 7 millones de dólares; en Reino Unido, 4,800 toneladas (alrededor de 250 toneladas de ingrediente activo) se aplican cada año a un costo de casi 10 millones de libras esterlinas (Tovar, 2016,

p.78). Para el caso de México, no existe un registro de molusquicidas que permita estimar su uso o el costo de inversión.

Por otro lado, la crianza de moluscos (llamada también helicicultura) ha sido mencionada como una alternativa para la reducción de individuos de *C. aspersus* en zonas donde se considera plaga. Estos organismos son utilizados como fuente de alimento para el consumo humano; en diversas partes del mundo es apreciada por considerarse como fuente de proteína barata; en el área mediterránea continúa siendo recolectado en grandes cantidades para este propósito. (Tovar, 2016; Barker y Watts, 2002) El centro actual de producción comercial es Francia, pero se producen cantidades significativas en otros países mediterráneos como Italia, España y Grecia. También se cultiva para consumo local y exportación en otras partes del mundo, incluida Nueva Zelanda (Barker y Watts, 2002, p.18). En México, como menciona Tovar, 2016, el consumo de caracol no está difundido a pesar de que la crianza de *C. aspersus* ya se practicaba en varias localidades del país, como en Zimapán, Actopan y el Arenal (Hidalgo), Durango (Durango), Chihuahua (Chihuahua), Saltillo (Coahuila), Villa Guerrero, Tenango del Valle y Tenancingo (Estado de México). En el Estado de México, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y en la Ciudad de México, su mercadeo permite establecer que una parte de la población lo esté demandando. (p.72)

En el ámbito de la investigación orientada al control de plagas de gasterópodos terrestres se puede apreciar, durante los últimos años, la existencia de un cambio de planteamiento con respecto a cuál es la estrategia más adecuada para dicho control; se plantea si es más adecuado centrar los esfuerzos en un control a corto plazo, orientado a la protección de los cultivos sólo en aquellos momentos en los que se estima que existe un elevado riesgo de daños o si es más adecuado centrar los esfuerzos en un control a largo plazo, orientado a conseguir una reducción significativa de las poblaciones de gasterópodos en las zonas de cultivo. (Córdoba, 2009, p.340)

No obstante, en nuestro país hay tres puntos clave que dificultan el estudio de especies introducidas. El primero es el bajo número de especialistas; actualmente deben de existir alrededor de 35 especialistas mexicanos para estudiar un grupo compuesto por hasta 200,000 especies, aunque, hay

que decirlo, no todas viven en el territorio mexicano. El segundo punto es que no todos los especialistas se dedican a analizar la diversidad biológica de moluscos en los diferentes ambientes; hasta donde sabemos no hay ningún investigador que esté estudiando o que sea experto en especies de moluscos introducidas. El tercer y último punto consiste en la forma de estudiar a los moluscos. (Ramírez-Herrera y Urbano, 2014, p.8)

A pesar de los esfuerzos realizados por los productores e investigadores en la búsqueda de un control efectivo de estas poblaciones, la prevención constituye la mejor opción de manejo; sólo podría llevarse a cabo una reducción casi total poblacional mediante la detección y control en estadios muy tempranos de invasión. Aquí la importancia de establecer prioridades y decidir sobre la estrategia y métodos de control más efectivos, para no malgastar esfuerzos y recursos y evitar un impacto pernicioso e innecesario en el ambiente. (Sakovich, 2002; Ramírez-Herrera & Urbano, 2014)

La gran variabilidad ecológica y la compleja topografía y geología del territorio mexicano, con sus climas y microclimas, no sólo ofrece condiciones provechosas para las especies nativas del territorio nacional, sino también para aquellas que son introducidas más allá de su área natural de distribución, modificando los ecosistemas a los que llegan, provocando daños ambientales y económicos severos. (Sarukhán *et al.*, 2009) Ante este esclarecimiento, México es un país vulnerable a la proliferación de moluscos invasores (Ramírez-Herrera y Urbano, 2014, p.8).

#### BIBLIOGRAFÍA Y LECTURAS RECOMENDADAS

Araiza-Gómez, V., Naranjo-García, E., y Zúñiga, G. The Exotic Slugs of the Genus *Deroceras* (Agriolimacidae) in Mexico: Morphological and Molecular Characterization, and New Data on Their Distribution. *American Malacological*. Recuperado en 2018 desde: <http://www.bioone.org/doi/pdf/10.4003/006.035.0205>. *Bulletin*, 35(2), pp. 126-133, 2017

Baker, F. The Geographical Distribution of Mollusca. *Science*, 2(33), pp. 179-183, 1895  
Barker, M., *Molluscs as crop pests*. New York, USA., pp. 1-19, 2002.

Barker, G., y Watts, C., Management of the invasive alien snail *Cantareus aspersus* on conservation land. *DOC Science Internal Series* 31, pp. 1-20, 2002

Barrientos, Z., Los moluscos terrestres (Mollusca: Gastropoda) de Costa Rica: clasificación, distribución y conservación. *Revista de Biología Tropical*, pp. 1165-1175, 2010.

CABI. Datasheet report for *Cornu aspersum* (common garden snail). Datasheet report for *Cornu aspersum* (common garden snail). Recuperado en 2018 desde: <https://www.cabi.org/isc/datasheetreport?dsid=26821>, 2018

Córdoba, M., Predicción de Plagas de Gasterópodos Terrestres en Galicia. *Tesis de Doctorado*, p. 340, 2009.

Danzos, H., La agricultura orgánica como alternativa al uso de plaguicidas. El caso de Huatusco, Veracruz (Título Maestría). Universidad Iberoamericana, México, D.F., México, pp. 15-35, 2007.

Dekle, G., y Fasulo, T., *Brown Garden Snail, Helix aspersa Müller* (Gastropoda: Pulmonata: Helicidae). Recuperado en 2017, desde Institute of Food and Agricultural Sciences: <http://edis.ifas.ufl.edu/in396>, 2014

Díaz, J., Aguirre, J., Mejía, G., y Martínez, E., Reproducción genética del caracol terrestre *Helix aspersa*. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, pp. 78-88, 2007.

Dreistadt, S., *Integrated Pest Management For Citrus* (Tercera ed.). (UC, y ANR, Eds.) California, p. 199, 2012.

Espinosa-García, F., Golubov, J., Koleff, P., y Mendoza, R., *Especies Invasoras de alto Impacto a la Biodiversidad: Prioridades en México*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, p. 9, 2007.

FAO-SAGARPA, *México: el sector agropecuario ante el desafío del cambio climático*. (Vol. 1). Recuperado 2017, desde: <http://www.fao.org/3/a-bc943s.pdf>, p. 1, 2012.

Jørgensen, P., y Sørensen, N., The Invasive Potential of the Brown Garden Snail (*Cantareus aspersus*): A Future Invasive Species in Denmark? (Tesis de grado). Copenhagen, Dinamarca. Recuperado en 2017 desde:

<http://svana.dk/media/206864/jrgsensrensenpedersen2008.pdf>, 2008.

Le Gall, M., & Tooker, J. Developing ecologically based pest management programs for terrestrial molluscs in field and forage crops. *Journal of Pest Science*, 90, pp. 825-838, 2017. DOI:10.1007/s10340-017-0858-8

Letelier, S., y Ramos, A., Antecedentes sobre especies introducidas en Chile: Monitoreo y Control. *AMICI MOLLUSCARUM Sociedad Malacológica de Chile*, p. 14, 2005.

Martens, E. *Biología centrali-americana. : Land and freshwater Mollusca*. Recuperado en 2018 desde: <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015061903145;view=1up;seq=18>, pp. 145-149 + 624, 1890-1901

Naranjo-Gracia, E., Biodiversidad de moluscos terrestres en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, pp. 431-440, 2014.

Naranjo-García, E., y Castillo-Rodríguez, Z. First inventory of the introduced and invasive mollusks in Mexico. *The Nautilus*, 131(2), pp. 107-126, 2017

Ramírez-Herrera, M., y Urbano, B.. Moluscos Invasores de México. *Biodiversitas*, pp. 6-9, 2014

Sakovich, N.. Integrated management of *Cantareus aspersus* (Müller) (Helicidae) as a pest of citrus in California. En G. Barker, *Molluscs as crop pests*, pp. 353-360, 2002

Sarukhán, J., Koleff, P., Carabias, J., Soberón, J., Dirzo, R., Llorente-Bousquet, J., de la Maza, J. *Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad*. México, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 2009. Recuperado en 2017 desde:

[http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Capital%20Natural%20de%20Mexico\\_Sintesis.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Capital%20Natural%20de%20Mexico_Sintesis.pdf)

Smith, R., Baameur, A., Bari, M., Cahn, M., Giraud, D., Natwick, E., & Takele, E. *University of California Agriculture and Natural Resources*. (A. a. Resources, Ed.), 2008. Recuperado en 2018 de University of California Agriculture and Natural Resources: <http://anrcatalog.ucanr.edu/>

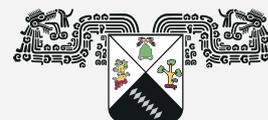
Tovar, M., Riesgo de introducción de moluscos para acuario y mascotas a México. Informe final de actividades presentado a la CONABIO y al PNUD en el arco del proyecto GEF "Aumentar las capacidades de México para manejar especies exóticas invasoras a través de la implementación de la Estrategia Nacional de Especies Invasoras", Sinaloa, pp. 65-82, 2016.

White-McLean, J. *Terrestrial Mollusc Tool*. Recuperado en 2017 desde *Terrestrial Mollusc Tool*: <http://idtools.org/id/mollusc>, 2011.

AGRADECIMIENTO ESPECIAL A  
CÉSAR ANTONIO SANDOVAL RUÍZ

# inventio

La génesis de la cultura universitaria en Morelos



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México  
Dirección de Publicaciones y Divulgación  
Secretaría Académica



ISSN (impresa): 2007-1760  
ISSN (digital): 2448-9026

**Descripción:** Revista de divulgación editada por la Dirección de Publicaciones y Divulgación, de la Secretaría Académica de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM). Se trata de un medio que difunde investigaciones originales sobre temas específicos de diversas disciplinas, lo cual fortalece la labor de divulgación del conocimiento.

**Líneas de investigación:** En esta revista convergen expresiones científicas, humanísticas, sociales y culturales, formuladas desde distintos ámbitos del trabajo académico universitario.

**Periodicidad:** Cuatrimestral.

## Sistema de arbitraje

\* Los artículos propuestos reciben las siguientes evaluaciones:

- a) Un dictamen editorial interno
- b) Al menos un dictamen académico externo

\* Aquellos que aprueben el dictamen editorial pasan a la etapa de dictamen académico; de lo contrario, se devuelven a sus autores.

\* Los dictaminadores permanecen anónimos para los autores y viceversa, es decir, el proceso de evaluación se sigue bajo la modalidad de "doble ciego".

\* El resultado final de la dictaminación académica se notifica en un plazo de noventa a cien días hábiles, a partir de la recepción del artículo.

\* Los artículos aceptados para su publicación, una vez que han aprobado ambos dictámenes, se publican dentro de un plazo mínimo de seis meses y máximo de un año. Los autores deben autorizar por escrito la difusión de su propuesta en medios electrónicos.

\* La función de los consejeros editoriales es servir como enlace con los árbitros de los contenidos de Inventio; sin embargo, pueden emitir una opinión sobre los artículos propuestos, siempre que no exista riesgo de conflicto de intereses.

## Consejo Editorial Institucional

### Exactas e Ingeniería

Dra. Verónica Lira Ruan  
Centro de Investigación en Dinámica Celular (CIDC)

### Salud

Dra. Vera L. Petricevich López  
Facultad de Medicina

### Naturales

Dra. María Luisa Villarreal Ortéga  
Centro de Investigación en Biotecnología (CEIB)

### Agropecuarias

Dra. Elsa Guzmán Gómez  
Facultad de Ciencias Agropecuarias

### Sociales y Administrativas

Dr. Joaquín Mercado Yebra  
Facultad de Estudios Superiores de Cuautla (FESC)

### Educación y Humanidades

Dra. Ana Esther Escalante Ferrer  
Centro de Investigación Interdisciplinaria para el Desarrollo Universitario (CIIDU)  
Dra. María Ema Llorente  
Centro Interdisciplinario de Investigación en Humanidades (CIIHU)



**Visibilidad:** Está incluida en el Índice de Revistas Mexicanas de Divulgación Científica y Tecnológica del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), en el directorio de Latindex (UNAM), en el repositorio de Dialnet (Unirioja), en el PKP Index (Public Knowledge Project), en Latinoamericana (Chile) y en LatinREV (Flasco Argentina).



**Acceso abierto:** Esta revista ofrece a sus lectores contenidos en acceso abierto e inmediato, con base en el principio de que esto favorece un mayor intercambio global del conocimiento. Se distribuye bajo una licencia Creative Commons Atribución - No Comercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0)



[inventio.uaem.mx](http://inventio.uaem.mx) / [inventio@uaem.mx](mailto:inventio@uaem.mx)

