

# El monstruo de Einstein: la primera imagen de un agujero negro

## DIRECTORIO

Rector

Dr. José Alfonso Esparza Ortíz

Directora del Instituto de Física

“Ing. Luis Rivera Terrazas” (IFUAP)

Dra. María Eugenia Mendoza Álvarez

Director del Instituto de Ciencias (ICUAP)

Dr. Jesús Francisco López Olguín

Directora de la Facultad de Ciencias

Físico-Matemáticas (FCFM)

Dra. Martha Alicia Palomino Ovando

## COMITÉ EDITORIAL

M.C. Aracely Del Carmen Martínez Olguín

amartinez@ifuap.buap.mx

M.C. Esteban Ojeda Durán

esteban.ojeda@alumno.buap.mx

M.C. Juan Hernández Tecorralco

juanht@ifuap.buap.mx

Fís. Luis Alberto Razo López

lrazo@ifuap.buap.mx

## AGRADECIMIENTOS

La impresión de este quinto número ha sido posible gracias al apoyo de:

IFUAP - ICUAP/CIDS - FCFM

Programa de Fortalecimiento de Calidad  
Educativa  
(PFCE-2019) SEP

## EDITORIAL

*...después de todo, cuando estás enamorado, quieres contarlo a todo el mundo. Por eso, la idea de que los científicos no hablen al público de la ciencia me parece aberrante.*

Carl Sagan

Con gran entusiasmo les presentamos la quinta edición de la revista *Con-Ciencia Estudiantil*. Entre las páginas del número actual encontrarán algunos artículos sobre dos eventos que han convertido al año 2019 en un punto de inflexión en la historia de la ciencia, dado que se conmemoran 150 años de la creación de la tabla periódica actual por Dmitri Mendeléyev y por primera vez en la historia se obtuvo la imagen de un agujero negro.

Estamos muy agradecidos con nuestros autores, que lograron romper las barreras de la comunicación para transmitir de manera amena su quehacer científico. También, les agradecemos a nuestros lectores por su curiosidad, la cual nos motiva a continuar la difusión del conocimiento.

Esperamos que disfruten de la lectura del número actual, tanto como nosotros disfrutamos de su realización. Extendemos la invitación a todos aquellos que compartan nuestro entusiasmo por la divulgación científica a participar en este proyecto, ya sea colaborando con artículos o difundiendo la revista para que este proyecto continúe por muchos números más.

Comité editorial

La revista *Con-Ciencia Estudiantil* no se hace responsable del contenido de los artículos aquí presentados los cuales son enteramente responsabilidad de cada uno de los autores. Cualquier comentario y/u observación debe hacerse directamente al correo del autor correspondiente.

Año 6, núm 2 - Verano 2019.  
Tiraje de 100 ejemplares impresos

■ <b>Presentación.</b> Comité Editorial	2
■ <b>Portada: El monstruo de Einstein: La primera imagen de un agujero negro.</b> Arturo I. Gómez-Ruiz	3
■ <b>Hablando de: Breve historia de la tabla periódica....</b> Aracely Del Carmen Martínez Olgún	4
■ <b>Actualidad: Una nueva generación de baterías.</b> Erick Leonel Espinosa Villatoro	6
■ <b>Estudiantil: Identificación de obleas de silicio con diferentes orientaciones cristalinas.</b> Raquel Ramírez Amador	10
■ <b>Estudiantil: Fluorescencia, hidrocarburos aromáticos policíclicos y el ADN.</b> Antonio Sánchez Cid	13
■ <b>Local: Entrevista al Dr. Arturo Fernández Téllez.</b>	16
■ <b>Hablando de: Estimaciones del radio de la tierra.</b> Francisco Rendón y Eréndira Munguía	20
■ <b>Salud: Salud bucodental en el bebé.</b> K. Paola Velázquez Quiroz, Guadalupe C. Canizalez Reyes, P. Analí Mora Pérez y M. de los Angeles Moyaho Bernal	24
■ <b>Estudiantil: Uso potencial del olote de maíz para la producción de enzimas de interés en la industria alimentaria.</b> Katya Hernández Lima	29
■ <b>Opinión: El ancla de la vida: El estrés.</b> Carlos Alberto Espinosa Pérez	31
■ <b>Ilustrada: La participación de México en el telescopio del horizonte de eventos (EHT).</b> David M. Gale	34

# PRESENTACIÓN

---

Les damos la bienvenida al quinto número de la revista *Con-Ciencia Estudiantil*. Agradecemos el apoyo de la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas (FCFM), del Instituto de Física “Ing. Luis Rivera Terrazas” (IFUAP) y del Centro de Investigación en Dispositivos Semiconductores (CIDS), y por supuesto, a nuestros lectores y colaboradores que hicieron posible la publicación de un número más.

La finalidad de la revista *Con-Ciencia Estudiantil* es aportar un granito de arena a la divulgación científica, generar un espacio para que los estudiantes del área de ciencias puedan expresarse y comunicar sus conocimientos científicos al público en general.

En este nuevo número de *Con-Ciencia Estudiantil* incluimos secciones nuevas y retomamos las acostumbradas secciones de números anteriores:

- **Portada:** foto o imagen de algún experimento o resultado que, más allá de su belleza, nos enseña algo importante e interesante sobre la ciencia.
- **Local:** presenta entrevistas a investigadores locales destacados, donde conocemos un poco más sobre su vida, cómo llegaron a hacer una carrera científica y qué hacen actualmente.
- **Actualidad:** incluye tópicos diversos, desde acontecimientos que han marcado el rumbo de la historia de la ciencia, hasta eventos recientes e importantes.
- **Hablando de:** artículos claros y sencillos sobre temas básicos de la ciencia.
- **Opinión:** ensayo, crítica o comentario sobre temas científicos.
- **Salud:** desarrolla tópicos relacionados con el área de la salud.
- **Ilustrada:** se encarga de llevar a ustedes fotografías relevantes sobre la historia de la ciencia en general.

Esperamos que este número sea de su agrado y los invitamos a participar en los próximos, ya sea por medio de una colaboración o enviando comentarios o sugerencias. Además, contamos con espacios para difundir información sobre congresos, concursos, escuelas y cualquier actividad científica. Pueden escribirnos a [conciencia.buap@gmail.com](mailto:conciencia.buap@gmail.com).

## Comité editorial



# EL MONSTRUO DE EINSTEIN: LA PRIMERA IMAGEN DE UN AGUJERO NEGRO

Sección Portada

Arturo I. Gómez-Ruiz

Era el invierno de 1915 cuando Albert Einstein, quien ese mismo año había propuesto su revolucionaria teoría de la relatividad general, recibe una carta desde el frente ruso en plena primera guerra mundial. La carta concluía:

“...y como puedes ver, la guerra no me ha tratado tan mal, pues no obstante la artillería pesada, me ha permitido alejarme de todo esto y tomar esta caminata en el territorio de tus ideas.”

La carta había sido escrita por Karl Schwarzschild y en ella describe a Einstein la primera solución exacta a las ecuaciones de su propia teoría. Tal solución decía que un objeto, al sobrepasar cierto límite de densidad de masa, produciría un colapso gravitacional que formaría un agujero negro. La principal característica de este objeto misterioso es que su campo gravitacional es tan grande que ni los fotones, o luz, pueden escapar de su influjo. En el universo de Einstein podrían existir monstruos que se tragarían todo, ¡hasta la misma luz!

Los monstruos de Einstein fueron elusivos por casi un siglo y la única prueba de su existencia provenía de observaciones indirectas. En los albores del siglo XXI los astrónomos habían notado el comportamiento particular de las estrellas hacia el centro de la nuestra Galaxia. Las aceleraciones extremas de las estrellas girando entorno a un región oscura sólo podrían indicar una cosa: la existencia de un agujero negro con millones de veces la masa de nuestro Sol. Pronto los astrónomos concluyeron que en el centro de otras galaxias deberían también existir agujeros negros supermasivos.

El reto en la búsqueda de agujeros negros radica en su principal característica, esto es, que no emiten luz. Pero hace algún tiempo los científicos se dieron cuenta que su hambre devoradora podría ponerlos al descubierto. Y es que el material que cae sin retorno en el agujero negro se calienta y emite luz a longitudes de onda milimétrica. Parte de esta luz es tragada por el agujero negro, pero otra parte puede escapar. A la frontera más allá de la cual la luz no puede escapar se le llama horizonte de eventos. La última órbita de fotones antes de caer para siempre en la singularidad del agujero negro dibujaría un anillo de luz rodeando una región oscura casi circular llamada la sombra. Simulaciones por computadora mostraron que los agujeros negros supermasivos en el centro de nuestra Galaxia (Sgr A\*) y en la galaxia M87 (M87\*) deberían de tener una tamaño tal que un telescopio milimétrico del tamaño del diámetro de la tierra podría tomar una foto lo suficientemente nítida para revelar la sombra del monstruo.

La colaboración internacional llamada Event Horizon Telescope (EHT) fue formada justo para construir este telescopio, mediante una técnica comúnmente llamada radio interferometría. La técnica lo que hace es combinar las señales de varios telescopios localizados, en este caso, a lo largo del diámetro terrestre, para formar un solo telescopio virtual

del tamaño total del arreglo, es decir, del diámetro de la tierra. En las últimas décadas han sido construidos varios telescopios milimétricos alrededor del mundo y actualmente el Gran Telescopio Milimétrico (GTM), en México, y el Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA), en Chile, son los más grandes en su tipo. La colaboración EHT lo que ha hecho es reclutar a casi todos telescopios milimétricos del mundo, incluyendo el GTM y ALMA, y observar conjuntamente hacia M87\* y Sgr A\*.

En abril de 2019 se dieron a conocer los resultados de las observaciones hacia M87\*. La imagen tomada por el EHT resultó como las predicciones lo describían: un anillo de luz rodeando una región oscura con las características de un horizonte de eventos. Esta imagen representa la evidencia más directa de la existencia de agujeros negros en el universo y la comprobación de la validez de la teoría de la relatividad general en campos gravitacionales extremos.

De esta manera es que el GTM se convirtió en un cazador de agujeros negros y con ello demostró su capacidad para aportar al conocimiento científico de vanguardia.



**Dr. Arturo I. Gómez-Ruiz**

Doctor en ciencias naturales, con especialidad en astrofísica, por la Universidad de Bonn en Alemania. Obtuvo la maestría en ciencias en el posgrado de astrofísica de la UNAM en Morelia y la licenciatura en Física por la Universidad Veracruzana. Después de dos posdoctorados en Italia y Alemania, desde 2014 es catedrático CONACYT asignado al proyecto GTM en INAOE.

**Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) Gran Telescopio Milimétrico - Alfonso Serrano (GTM/LMT)**

Luis Enrique Erro Num. 1, Tonantzintla, Puebla, México, C.P. 72840

[aigomez@inaoep.mx](mailto:aigomez@inaoep.mx)

# BREVE HISTORIA DE LA TABLA PERIÓDICA...

Sección Hablando de...

Aracely Del Carmen Martínez Olguín

## 2019 Año Internacional de la Tabla Periódica

El ser humano posee de manera inherente curiosidad por el mundo que lo rodea. Así, en los albores de la ciencia había todo un mundo nuevo por descubrir y surgió la necesidad de clasificar lo desconocido. Desde los antiguos griegos existía una separación de los elementos que conformaban la naturaleza en aire, fuego, tierra y agua; mientras que la cultura china tenía la teoría de los cinco elementos (Wu Xing) que incluía madera, fuego, tierra, agua y metal. No fue sino hasta el siglo XVII cuando surgió la primera definición formal de elemento por parte del químico y físico inglés Robert Boyle, dando origen a la clasificación de los elementos químicos como los conocemos hoy en día.

El primer listado de los elementos químicos fue propuesto por el químico francés Antoine-Laurent de Lavoisier -padre de la química moderna- en 1789 en su *Traité Élémentaire de Chimie*, donde ordenó a los elementos en metales, no metales, metales de transición y metaloides. Años más tarde, en el siglo XIX, el químico británico John Dalton retomó las ideas del filósofo griego Demócrito y formuló una definición más precisa del concepto de átomo como unidad mínima e indivisible de la materia (idea refutada posteriormente con el descubrimiento de las subpartículas atómicas). Dalton fue el primero en dar una propuesta para la creación de una tabla de elementos, creando símbolos y proponiendo pesos atómicos.

Otra de las sugerencias para lograr la clasificación de los elementos químicos llegó de la mano de Johann Döbereiner en 1829. El químico alemán agrupó los elementos en conjuntos de tres, creando “Las Tríadas de Döbereiner”, donde cada grupo conservaba similitudes físicas y químicas, como es el caso del calcio, bario y estroncio. Además, Döbereiner logró relacionar los pesos atómicos, siendo el peso atómico del elemento central la media aritmética de los pesos de los otros dos. Y casi tres décadas después, en 1864, el químico inglés John Alexander Newlands propuso un nuevo arreglo conocido como “La Ley de las Octavas” que establecía que elementos, con propiedades similares podían agruparse en grupos de ocho, donde cada octavo elemento poseía propiedades similares al primer elemento del grupo, (similar a como ocurre en las octavas musicales). Sin embargo, su disposición fue rápidamente descartada porque no funcionaba para todos los elementos, dejando de ser práctico para elementos superiores al calcio.

Así tras varios intentos, la primera versión de la tabla periódica moderna fue propuesta por el químico ruso Dmitri Ivánovich Mendeléyev en marzo de 1869 (Fig. 1), demostrando de manera más clara la periodicidad en las propiedades de los elementos químicos (63 para la época). El éxito de su

tabla se debió a que Mendeléyev vislumbró la existencia de nuevos elementos, dejando espacios vacíos para elementos químicos aún no descubiertos. Estos huecos se nombraron como eka-boro, eka-aluminio y eka-silicio (*eka*, primero en sánscrito), siendo más tarde descubiertos y asignándoseles los nombres de escandio, galio y germanio. Mendeléyev continuó trabajando y presentó una segunda versión de la tabla periódica con mejoras en 1871. Y aunque Mendeléyev no recibió el premio Nobel de Química, si fue laureado con la Medalla Davy(1882) y la Medalla Copley (1905) por su valiosa participación en el desarrollo científico. Además, el elemento 101, mendelevio (Md), fue nombrado en su honor. Y a pesar que posteriores contribuciones permitieron el arreglo actual de la tabla periódica, el papel de los trabajos de Mendeléyev fueron fundamentales para su desarrollo.

**ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ.**  
ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

	Ti = 50	Zr = 90	? = 180.		
	V = 51	Nb = 94	Ta = 182.		
	Cr = 52	Mo = 96	W = 186.		
	Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4		
	Fe = 56	Rn = 104,4	Ir = 198.		
	Ni = Co = 59	Pi = 106,4	O = 109.		
	Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200.		
H = 1	Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
	B = 11	Al = 27,4	? = 68	Ur = 116	Au = 197,7
	C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118	
	N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
	O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?	
	F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	I = 127	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204.
		Ca = 40	Sr = 87,4	Ba = 137	Pb = 207.
			? = 45	Ce = 92	
		?Er = 56	La = 94		
		?Yt = 60	Di = 95		
		?In = 75,4	Th = 118?		

Д. Менделѣевъ

Figura 1: Primer forma del sistema periódico propuesto por Mendeléyev. De Zeitschrift für Chemie, 12:405(1869)

Así, conmemorando 150 años de la creación de la primera tabla periódica moderna por Dmitri Mendeléyev, la Asamblea General de la ONU y la UNESCO designaron al año 2019 como el Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos, IYPY 2019 (Fig. 2).

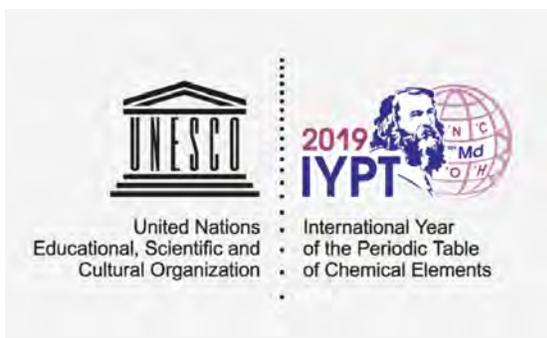


Figura 2: Logotipo del Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos 2019.



Aracely Del Carmen Martínez Olguín

Egresada de la licenciatura y de la maestría en Ciencias Químicas de la Universidad del Papaloapan. Actualmente es estudiante del doctorado en Ciencia de Materiales en el Instituto de Física “Ing. Luis Rivera Terrazas”.

## Referencias

- [1] Solís, Carlos y Sélles, Manuel: *Historia de la Ciencia*. Espasa Calpe, 2009.

**Instituto de Física “Ing. Luis Rivera Terrazas”, BUAP**  
 Av. San Claudio y Blvd. 18 Sur, Col. San Manuel, Ciudad Universitaria, Puebla, Pue. C.P. 72570.  
[amartinez@ifuap.buap.mx](mailto:amartinez@ifuap.buap.mx)



## Resumen

En el área del almacenamiento de energía se han realizado muchos avances, desde la invención de la pila por Alessandro Volta (1800) hasta llegar a las baterías de ion litio que han dominado el mercado por más de dos décadas. Esto debido a su capacidad de ser recargadas una y otra vez. Ambos dispositivos funcionan bajo el mismo principio, generan energía eléctrica a partir de una reacción electroquímica. En este trabajo se describirá brevemente el funcionamiento de una batería de ion litio. Así como los nuevos métodos y materiales para obtener una nueva generación de estos dispositivos de almacenamiento. Baterías que podrán ser utilizadas en autos eléctricos, dispositivos móviles, y un gran número de dispositivos que incluso ahora son indispensables para nuestra vida diaria.

En los últimos 70 años, el mundo ha experimentado algunos cambios extremadamente significativos. Uno muy importante, la población mundial ha crecido aproximadamente un 200 % de 2.52 mil millones en 1950 a 7.6 mil millones en 2019. Al mismo tiempo, el consumo de energía en general de cada individuo también ha incrementado (Figura 1a y 1b) [1, 2].

Esta evolución ha dejado al mundo con una mayor demanda de consumo energético y en los próximos años seguirá aumentando. Sin embargo, no nos enfrentamos únicamente a un problema de generación de energía, sino también de transporte y almacenamiento. La innovación en redes eléctricas y redes de distribución de combustibles puede compensar algunos problemas hasta cierto punto, a pesar de ello, también será necesario encontrar mejores maneras de transportar y almacenar energía, particularmente energía eléctrica [2]. En este aspecto, el almacenamiento de energía eléctrica tiene un papel muy importante en nuestra sociedad actual, e indudablemente en un futuro cercano. Debido a las múltiples aplicaciones que esta tecnología tiene. Uno de los dispositivos con la capacidad de almacenar energía es la batería, que transforma la energía química contenida en sus materiales activos directamente en energía eléctrica mediante una reacción electroquímica (redox). Las celdas y baterías electroquímicas son identificadas como primarias (no recargables) y secundarias (recargables), dependiendo de su capacidad de ser recargadas eléctricamente [5].

## 1. Baterías recargables de alta capacidad

Debido a su alta densidad de energía las baterías de ion litio (LIB, por sus siglas en inglés) son el dispositivo de almacenamiento de energía eléctrica de elección (o más común) en dispositivos portátiles tales como: teléfonos inteligentes (smartphones), computadoras portátiles, cámaras

fotográficas, tabletas inteligentes, drones, equipo médico y más recientemente en automóviles eléctricos (o híbridos) [6].

### 1.1. ¿Cómo funcionan?

Una LIB está compuesta fundamentalmente de cinco partes: un ánodo, un cátodo, un electrolito, un separador, y un circuito eléctrico externo. En la Figura 2 se puede observar un esquema de una LIB comercial con un ánodo de grafito (C, carbono) y óxido de cobalto de litio ( $\text{LiCoO}_2$ ) como cátodo [7]. El ánodo de grafito tiene la capacidad de almacenar iones de litio entre las capas debido a la forma de su estructura (intercalación). Por otro lado, el cátodo tiene la capacidad de aportar estos iones. Los iones de litio ( $\text{Li}^+$ ) son generados cuando el Li “pierde” un electrón y se obtiene un ion de litio (carga positiva por la ausencia de 1 electrón,  $\text{Li}^+$ ) en una reacción química conocida como reacción redox. El electrolito, es un conductor iónico que permite el transporte de los  $\text{Li}^+$ . El separador es un material poroso, que se usa para impedir el contacto entre ánodo y cátodo. En el separador se impregna el electrolito (normalmente es líquido) que sirve como medio de transporte de los  $\text{Li}^+$ . El transporte de electrones se lleva a cabo a través del circuito eléctrico externo. Donde se genera un flujo de electrones que finalmente es la energía eléctrica que se utiliza para hacer funcionar una gran variedad de dispositivos.

Una característica muy importante de una LIB es que se puede realizar el proceso de reacción (reacción redox) en ambos sentidos. El principio sobre el que funciona una LIB pertenece a una rama de la química llamada electroquímica. Esta explora cómo se puede derivar la electricidad de una reacción química. En la naturaleza, ciertos materiales reaccionarán entre sí espontáneamente si las condiciones son las correctas [8]. Por ejemplo, la reacción que se lleva a cabo en una LIB, tomando  $\text{LiCoO}_2$  y grafito como materiales típicos para los electrodos, se puede expresar fácilmente con la siguiente ecuación química [9]:

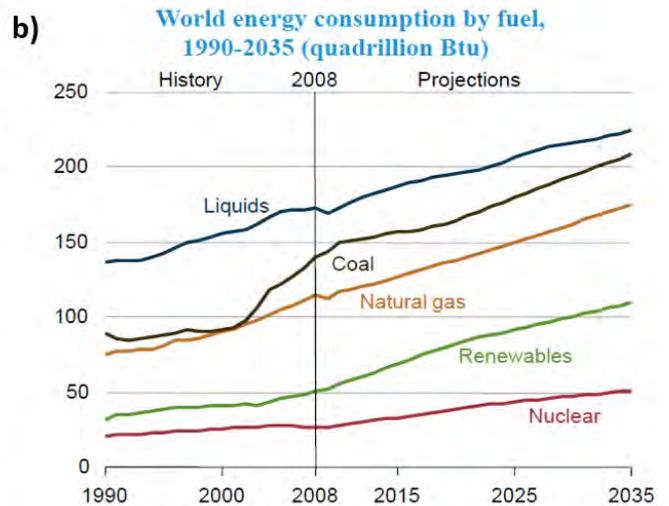
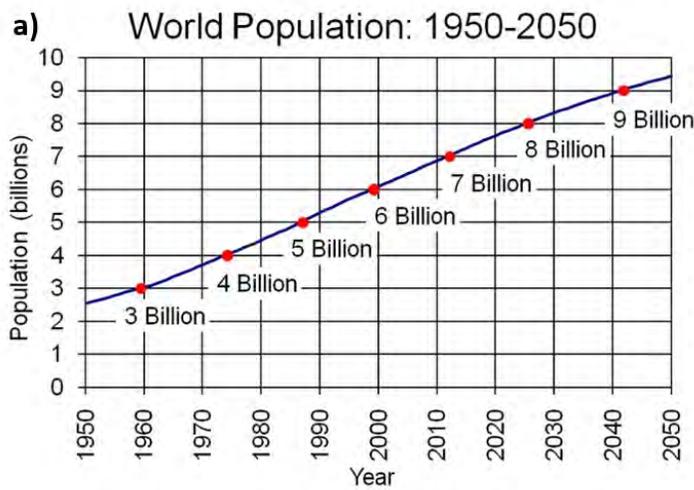


Figura 1: a) Población mundial de 1950 - 2050 [3], b) Consumo mundial de energía por combustible 1990 - 2035 [4].

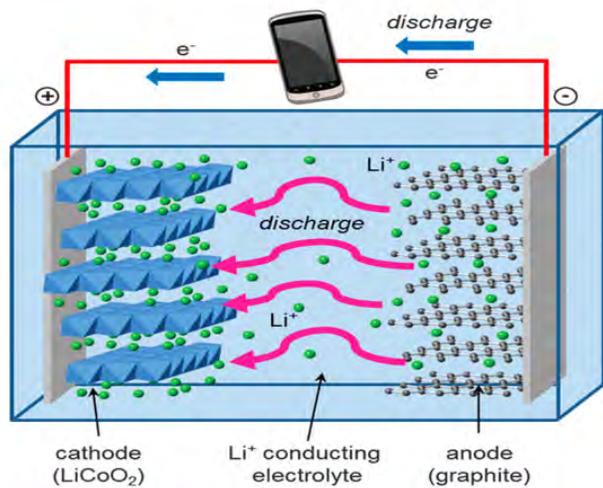
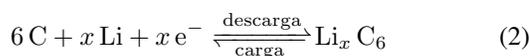


Figura 2: Diagrama esquemático de una batería de ion litio [7].

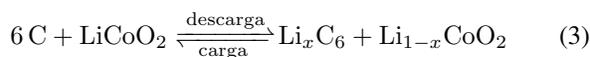
Cátodo



Ánodo



Reacciones totales



Sin embargo, para que esta reacción suceda de manera espontánea debe de existir una diferencia de potencial entre un material y el otro. Para entender este concepto se puede realizar una analogía en la Figura 3. En esta figura se puede notar una diferencia de altura “ $h_{ab}$ ” entre el tanque A y B

[10]. Es sencillo notar que el nivel de agua del tanque A está ligeramente por encima del nivel del tanque B, es decir, el tanque A tiene mayor energía potencial. El agua almacenada en el tanque A por efecto de la gravedad generará un caudal (una corriente) hacia el tanque B, siempre y cuando la tubería (cañería) no esté bloqueada. Por otro lado, si se quisiera mover el agua del tanque B al tanque A, necesitaríamos vencer la fuerza de gravedad (generada por la diferencia de altura) y para ello sería necesario utilizar un dispositivo que realice dicho trabajo. De manera análoga en las baterías de ion-Li el proceso de descarga se da cuando el caudal fluye del tanque A al tanque B (Figura 2). El proceso de carga estaría representado por un caudal inverso (tanque B al tanque A) mediante el uso de un dispositivo que genere dicho trabajo (un cargador para una batería).

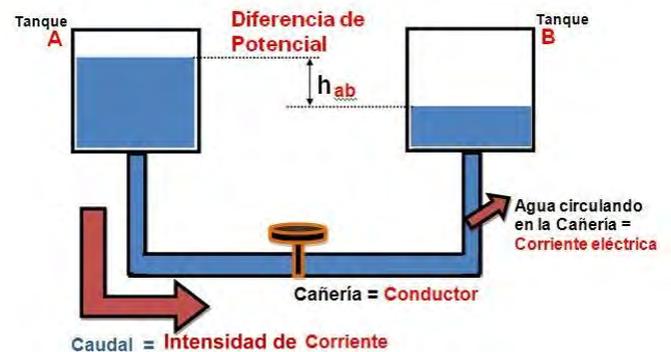


Figura 3: Esquema de una diferencia de potencial [10].

Una LIB comercial actualmente utiliza como material anódico al grafito, este material fue desarrollado hace más de 30 años (1982) por R. Yazami, quien proporcionó las bases para el uso del grafito como electrodo negativo. Sin embargo,

su aplicación como ánodo 10 años después en una LIB, es atribuida al químico japonés A. Yoshino. Finalmente SONY comercializó este dispositivo en 1991[11]. El ánodo de grafito tiene una capacidad gravimétrica (por unidad de peso) de  $\sim 370$  mAh/g, para obtener esta capacidad de la ecuación 2 es posible observar que cada átomo de Li necesita 6 átomos de C.

## 2. Baterías recargables con esteroides

Se busca mejorar la capacidad de almacenamiento de estas baterías. En este aspecto, existe una gran variedad de candidatos para sustituir al grafito como material anódico en las LIBs, siendo uno de los mejores el silicio (Si). El Si tiene una capacidad alrededor de 10 veces mayor que la del grafito (4200 mAh/g para  $\text{Li}_{4.4}\text{Si}$ ) [12, 13]. Además, el Si es el segundo elemento más abundante en la Tierra. No obstante, durante el proceso de carga/descarga donde los  $\text{Li}^+$  migran de un electrodo al otro están acompañados por un gran cambio en el volumen del ánodo ( $\sim 300\%$ ). Como consecuencia de este cambio de volumen se genera estrés, agrietamiento y posteriormente fractura y pulverización del ánodo de Si. Otro inconveniente es la formación de una capa llamada interface de electrolito sólido (SEI, por sus siglas en inglés). Esto debido a que el agrietamiento expone superficies frescas del ánodo para el electrolito, las cuales consumen  $\text{Li}^+$  extras. Estos dos factores son las principales razones de que la capacidad de una LIB decaiga con el número de ciclos (carga/descarga). Y de que el Si aún no se use en aplicaciones comerciales. Para superar las complicaciones que genera el drástico cambio de volumen durante la inserción y extracción de Li del ánodo de Si, existen muchos métodos que se pueden usar, por ejemplo, Si nanoestructurado, nanoalambres o nanotubos, películas delgadas o nanopartículas de Si [12, 14].

Otro método que se ha utilizado para mejorar el desempeño de los ánodos de Si, es el uso de tratamientos de pre-litiación lentos (por ejemplo, en 10 h) y poco profundos. Se ha observado que esta pre-litiación mejora su ciclabilidad y rendimiento. Particularmente en nanoalambres de Si, a medida que se extrae Li en el proceso de descarga, el Si expandido se encoge, pero el volumen final al terminar el proceso de descarga es todavía mayor que el original (se forman poros en la estructura del Si). Esta porosidad podría ser beneficiosa para la difusión de iones de litio; de hecho, se ha reportado de que el silicio mesoporoso (mp-Si) presenta un rendimiento electroquímico superior y una larga vida útil como material anódico en una batería de iones de litio [15, 16, 17]. Otra estrategia para mejorar los ánodos de Si es crear Si mesoporoso (canales o poros) mediante el uso de sodio (Na) como portador de carga. El Na y el Li pertenecen al mismo grupo en la tabla periódica y comparten propiedades químicas similares en muchos aspectos. Los principios fundamentales de una batería de ion sodio (NIB) y LIB son idénticos, y al igual que el Li, el Na forma aleaciones con el Si [18]. Con el tratamiento de pre-acondicionamiento del ánodo se pretende facilitar el transporte de los iones  $\text{Li}^+$  creando canales en el ánodo de Si con un tamaño similar al diámetro del Na (Figura 4). De

esta manera se aumentará la difusividad de los iones  $\text{Li}^+$  en los posteriores ciclos de carga y descarga, ya que el radio iónico de Na es considerablemente mayor que el del Li ( $0.97 \text{ \AA}$  y  $0.68 \text{ \AA}$ , respectivamente).

No cabe duda que el desarrollo e investigación de nuevos materiales para dispositivos de almacenamiento de mayor capacidad es sumamente importante. En ese aspecto, en el Instituto de Física (BUAP) se encuentra el Laboratorio de Energía, donde se lleva a cabo investigación con la finalidad de encontrar una nueva generación de materiales con aplicaciones no solo para el almacenamiento de energía. Sino también, para generación de energía, semiconductores, entre otras áreas. Materiales amigables con el medio ambiente y con un desempeño superior a los materiales utilizados en la tecnología actual.

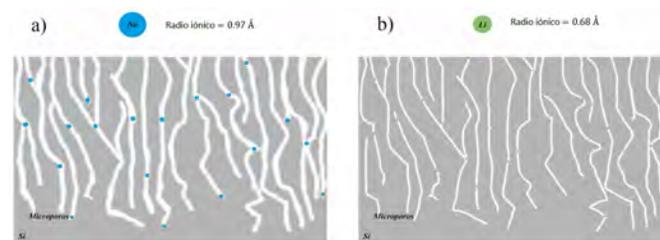


Figura 4: Esquema de canales formados en Si después de varios ciclos de carga y descarga usando iones de a) Na, b) Li.

## Referencias

- [1] NU: *Población — Naciones Unidas*, Marzo 2019. <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/population/index.html>, visitado el Marzo.
- [2] Keinhorst, Volker Gerhard: *Green Technology: Storing Energy in Nanostructures*. Tesis de Doctorado, University of Warwick, Department of Physics, 2014.
- [3] Bureau, US Census: *World Population: 1950-2050*, 2019. <https://www.census.gov/library/visualizations/2011/demo/world-population--1950-2050.html>, visitado el 2019.
- [4] Web: *World Energy Consumption*, Marzo 2019. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:World\\_energy\\_consumption\\_by\\_fuel\\_1990-2035\\_EIA\\_2011.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:World_energy_consumption_by_fuel_1990-2035_EIA_2011.png), visitado el 2019.
- [5] Linden, D. y Reddy, T.: *Handbook of batteries*. McGraw-Hill, 1995.
- [6] McDowell, Matthew T., Lee, Seok Woo, Nix, William D. y Cui, Yi: *25th anniversary article: Understanding the lithiation of silicon and other alloying anodes for lithium-ion batteries*. *Advanced Materials*, 25(36):4966–4985, 2013, ISSN 09359648.

- [7] Islam, M. Saiful y Fisher, Craig A.J.: *Lithium and sodium battery cathode materials: Computational insights into voltage, diffusion and nanostructural properties*. Chemical Society Reviews, 43(1):185–204, 2014, ISSN 03060012.
- [8] Breeze, Paul y Breeze, Paul: *The Fundamentals of Fuel Cell Operation*. Fuel Cells, páginas 11–21, jan 2017. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081010396000029?via=ihub>.
- [9] Wu, Yuping: *Lithium-ion batteries : fundamentals and applications*. CRC Press, 2015, ISBN 9781466557338. <https://www.crcpress.com/>.
- [10] Eléctrica, Potencia: *Diferencia de potencial*, Marzo 2019. [http://potenciaelectrica-yesla.blogspot.com/2012/05/diferencia-de-potencial\\_5130.html](http://potenciaelectrica-yesla.blogspot.com/2012/05/diferencia-de-potencial_5130.html), visitado el 2019.
- [11] Mekonnen, Yemeserach, Sundararajan, Aditya y Sarwat, Arif I.: *A review of cathode and anode materials for lithium-ion batteries*. IEEE, páginas 1–6, mar 2016. <http://ieeexplore.ieee.org/document/7506639/>.
- [12] Szczech, Jeannine R. y Jin, Song: *Nanostructured silicon for high capacity lithium battery anodes*. Energy and Environmental Science, 4(1):56–72, 2011, ISSN 17545692.
- [13] Quiroga-González, Enrique, Carstensen, Jürgen y Föll, Helmut: *Optimal conditions for fast charging and long cycling stability of silicon microwire anodes for lithium ion batteries, and comparison with the performance of other si anode concepts*. Energies, 6(10):5145–5156, 2013, ISSN 19961073.
- [14] Quiroga-González, E., Ossei-Wusu, E., Carstensen, J. y Föll, H.: *How to Make Optimized Arrays of Si Wires Suitable as Superior Anode for Li-Ion Batteries*. Journal of The Electrochemical Society, 158(11):E119, 2011, ISSN 00134651. <http://jes.ecsdl.org/cgi/doi/10.1149/2.069111jes>.
- [15] Quiroga-González, Enrique, Carstensen, Jürgen y Föll, Helmut: *Good cycling performance of high-density arrays of Si microwires as anodes for Li ion batteries*. Electrochimica Acta, 101:93–98, 2013, ISSN 00134686.
- [16] Liu, Nian, Hu, Liangbing, McDowell, Matthew T., Jackson, Ariel y Cui, Yi: *Prelithiated silicon nanowires as an anode for lithium ion batteries*. ACS Nano, 5(8):6487–6493, 2011, ISSN 19360851.
- [17] Ge, M., Fang, X., Rong, J. y Zhou, C.: *Review of porous silicon preparation and its application for lithium-ion battery anodes*. Nanotechnology, 24(42), 2013, ISSN 09574484.
- [18] Kim, Sung Wook, Seo, Dong Hwa, Ma, Xiaohua, Ceder, Gerbrand y Kang, Kisuk: *Electrode materials for rechargeable sodium-ion batteries: Potential alternatives to current lithium-ion batteries*. Advanced Energy Materials, 2(7):710–721, 2012, ISSN 16146832.



**Erick Leonel Espinosa Villatoro**

Ingeniero en energía egresado de la Universidad Politécnica de Chiapas y de la maestría en la especialidad de Ciencia de Materiales del IFUAP. Actualmente es estudiante del doctorado en Ciencia de Materiales en el Instituto de Física “Ing. Luis Rivera Terrazas”(BUAP).

**Instituto de Física “Ing. Luis Rivera Terrazas”** Av. San Claudio y Blvd. 18 Sur, Col. San Manuel, Ciudad Universitaria, Puebla, Pue. C.P. 72570.  
[erickev@ifuap.buap.mx](mailto:erickev@ifuap.buap.mx)

# IDENTIFICACIÓN DE OBLEAS DE SILICIO CON DIFERENTES ORIENTACIONES CRISTALINAS

Sección Estudiantil

Raquel Ramírez Amador

## Resumen

El presente trabajo presenta una breve descripción de como identificar las propiedades que presentan las obleas de silicio, que se pueden encontrar en el mercado, las orientaciones cristalográficas que presentan, tipo de conductividad y las aplicaciones que se les da a las mismas. Se hace mención de los diámetros y espesores que pueden tener estas obleas de silicio, así como el proceso de clivado de obleas para identificar la orientación cristalográfica de las mismas y el tipo de conductividad que pueden tener (N o P).

## 1. Introducción

El silicio es un elemento que se halla en grandes cantidades en la Tierra. Se encuentra generalmente formando compuestos como lo es el dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) o sílice, el cual, es uno de los componentes del área y también aparece de manera natural en el cuarzo. Para obtener las obleas de silicio, primero se obtiene silicio en grado metalúrgico es decir con una pureza del 99.99 %, que es la materia prima para generar lingotes de silicio, estos lingotes se obtienen por varias técnicas, pero la más utilizada es la técnica de Czochralski. Una vez que se tienen estos lingotes se cortan y se emplean para obtener obleas de silicio como se puede apreciar en la figura 1(a). De ahí que una oblea de silicio es una hoja fina de material semiconductor en forma circular [1].

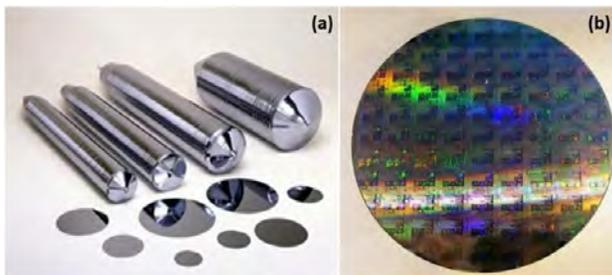


Figura 1: Obleas de silicio (a) Diferentes lingotes de silicio de donde se obtiene las obleas con diferentes diámetros (b) Oblea de silicio sobre la cual se han creado varios circuitos electrónicos.

El diámetro del lingote final determina el diámetro de la oblea. Las obleas son fabricadas en varios diámetros: 100, 125, 150, 200 y 300 mm con  $\pm 0.1$  mm de variación. Los lingotes después son cortados en rebanadas delgadas (en la región de 0.25 - 300 mm dependiendo del material y aplicación). Finalmente, se pulen de ambos lados para crear una superficie uniforme ópticamente suave y plana. En las obleas por debajo de 200 mm normalmente se indican los planos cristalográficos de alta simetría mientras que en las antiguas (aquellas con

diámetro inferior a 100 mm) se indican la orientación de la oblea y el tipo de dopado. El espesor de las obleas varía en un rango de  $675 - 725 \mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$  de variación[2].

Gracias a las propiedades semiconductoras que presenta el silicio, se han logrado grandes avances en el campo de la microelectrónica y nanotecnología, ya que se utiliza para crear obleas. En una oblea de silicio se pueden fabricar diversos dispositivos electrónicos o diversos circuitos electrónicos como se muestra en la figura 1(b). Así también, celdas solares y dispositivos de nanotecnología. Los circuitos creados tienen varias aplicaciones, por ejemplo, se pueden emplear en casos militares, aeroespaciales, instrumentos médicos, bienes de consumo, automotriz, campos de comunicaciones, entre otras.

En las obleas con dos muescas: la muesca primaria (primary flat) que es la muesca más grande indicada en la oblea como una marca plana (ver figura 2(a)), tiene como propósito manipular la oblea en equipos automatizados con la orientación cristalina de manera correcta, y a su vez, los dispositivos pueden estar orientados de acuerdo a la orientación cristalina que presenta la oblea. La muesca secundaria (secondary flat) es la muesca más pequeña indicada por una marca plana, la cuál, es más pequeña que la muesca primaria, nos indica el tipo de conductividad y la orientación cristalográfica como se puede apreciar en la figura 2(a). Cabe aclarar, que existen otros nombres para identificar la muesca primaria o secundaria en las obleas de silicio como son: mellados o marcas planas.

Para obleas con un diámetro menor a 200 mm, como se muestra en la figura 2(a), presentan dos muescas a excepción de la oblea tipo p con orientación  $\{111\}$  que no tiene segunda muesca, solo la muesca primaria para identificarla. Así, por ejemplo, en la oblea tipo p con la orientación  $\{100\}$  presenta las dos muescas, la primaria y secundaria. La muesca secundaria se encuentra a  $90^\circ \pm 5^\circ$  con respecto a la muesca primaria. La oblea tipo n con orientación  $\{111\}$  tiene la muesca secundaria con respecto a la primaria a  $45^\circ \pm 5^\circ$ . En la oblea tipo n con orientación  $\{100\}$  la muesca secundaria está a  $180^\circ \pm 5^\circ$  con respecto al primario. Por último, cabe señalar que en obleas con un diámetro mayor o igual a 200 mm, cuentan con una sola muesca para referir esta información, evitando así

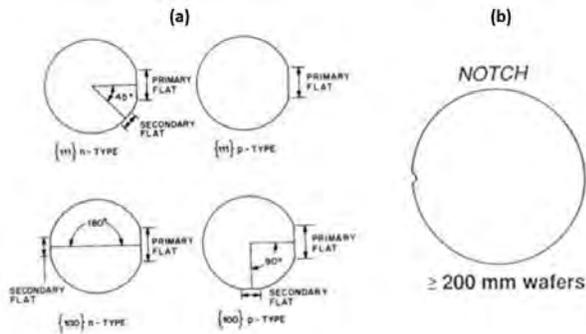


Figura 2: Identificación de las obleas de silicio [3]. (a) Por las muescas (primaria y secundaria) que se encuentran en las obleas. (b) Por el mellado o muesca que se presentan en obleas para un diámetro mayor a 200mm.

el desperdicio de material[2].

La orientación cristalográfica que presentan las obleas es muy importante, ya que, muchas de las propiedades electrónicas y estructurales de los cristales simples son altamente anisotrópicas. Por ejemplo, la formación de muescas definidas en los cristales en las obleas solamente sucede en algunas direcciones concretas; así que grabando las obleas en dichas direcciones facilita su posterior división en chips individuales de modo que, los miles de millones de elementos de una oblea media pueden ser separados en multitud de circuitos individuales [2].

Por otra parte, la técnica de clivaje es la facultad que tienen los cristales de romperse, siguiendo direcciones preferentemente a lo largo de superficies planas y ángulos definidos. Esta propiedad depende exclusivamente de la estructura interna y no depende en absoluto de la forma exterior de los cristales. Además, como el clivaje está bien caracterizado para cada material cristalino dado, constituye uno de los más importantes datos diagnósticos al que se acude para diferenciar un cristal de otro. El clivado de obleas, en este caso, obleas de silicio es una de las habilidades imprescindibles para los ingenieros de proceso de semiconductores e investigadores, debido a que puede llevarse a cabo muy fácilmente a la práctica y a nanoescala ya que es esencial. Existen diferentes técnicas para el clivado de obleas, aunque la más utilizada y la que da mejores resultados en términos de generar menos partículas en la muestra final, es cuando se realiza con un lápiz punta de diamante[3].

## 2. Parte Experimental

Para practicar lo aprendido, se presenta una pequeña parte experimental en donde se va a realizar la identificación y el clivado de las obleas, primero se presentan diferentes obleas con diferentes diámetros, orientaciones cristalográficas y conductividad, algunas no presentan el plano primario o secundario, o muescas; algunas obleas ya estaban fragmentadas en varias partes, las muestras empleadas se pueden ver en la figura 3. Cabe mencionar que este proceso se lleva a cabo

cuando no tienes las características de las obleas, ya que cuando se compran, el fabricante siempre te otorga dichas propiedades.

Como se puede ver en la figura 3 y con ayuda de la figura 2, la primera muestra que es la (a), es una oblea tipo P con orientación  $\{111\}$ , ya que solo presenta el plano primario. La muestra (b) es una oblea tipo N con orientación  $\{100\}$  presenta los dos planos, el plano secundario se encuentra a la muestra (c) es una oblea tipo P con orientación  $\{111\}$  pero con diferente diámetro a la primera y la última foto por la forma en la que se presentan los fragmentos de las obleas, estas son diferentes orientaciones, y como no se pueden identificar a simple vista cuál es su orientación cristalina, en este caso se pueden utilizar las técnicas más sofisticadas como la de difracción de Rayos X para saber la orientación y Efecto Hall para saber tipo de portador, en este caso sólo las mencionaremos.

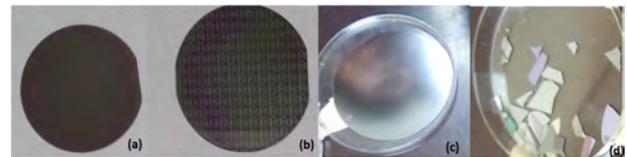


Figura 3: Obleas y muestras de silicio empleadas para realizar la caracterización de las mismas, que solo las llamaremos como muestras (a), (b), (c) y (d).

La segunda parte de esta práctica consiste en realizar el clivado de las obleas, es decir separación de los planos que esta con la más mínima energía, para realizar este proceso se tomaron las muestras con una pinza y se colocaron sobre una hoja blanca, enseguida se tomó el lápiz punta de diamante (como se muestra en la figura 4) y se presionó este sobre la oblea para realizar el corte de la misma, al hacer este proceso realmente se obtuvieron fragmentos más pequeños en formas triangulares o rectangulares, si la oblea presentaba un orientación  $\{111\}$  se obtenían formas triangulares es decir en el plano (111) y si era en la orientación  $\{100\}$  se obtenían formas rectangulares, si por el contrario no se realizaba el corte de manera correcta, la oblea se dividía en partes muy pequeñas con formas no definidas (Ver figura 4), las cuales no era posible identificar a que orientación cristalina pertenecía.



Figura 4: Proceso de clivado de obleas con diferentes orientaciones cristalinas (a y b) muestra clivado de las obleas con un lápiz punta de diamante y (c,d) muestran los cortes de la oblea obtenidos.

### 3. Conclusiones

En este trabajo se da una breve explicación teórica y práctica de cómo podemos identificar la orientación cristalina y tipo de conductividad de obleas de silicio. Para ello, se presentó al inicio la descripción de las obleas, mencionando que para identificarlas estas presentan dos planos: plano primario y plano secundario, y que estos planos nos permiten manipular la oblea en equipos automatizados con la orientación cristalina de manera correcta, dicen el tipo de conductividad N o P y la orientación cristalográfica. Para ver a más detalle los aspectos mencionados, se presentaron obleas con diferentes diámetros, orientaciones cristalinas y diferente tipo de conductividad. Por lo que, se procedió a identificar las obleas por los planos primarios y secundarios que estas presentaban, obteniendo como resultados obleas con conductividad tipo N y tipo P, así como la orientación que presentaban las obleas la cual era:  $\{111\}$  y la  $\{100\}$ , después se realizó el clivado de algunas obleas con las orientaciones mencionadas, en donde, al realizar este proceso que en si es sencillo, sólo que se debe hacer con cuidado para realizar un corte adecuado y no desperdiciar las obleas, se obtuvieron formas triangulares o rectangulares, y si el clivado de la oblea no era correcto se obtenían fragmentos de la oblea desiguales o con formas no definidas.

### Agradecimientos

Se le agradece a la Dra. Reina Galeazzi Isasmendi del Centro de Investigación el Dispositivos Semiconductores, ICUAP-BUAP, el apoyo brindado para la realización de este trabajo.

### Referencias

[1] *Minerales*, (acceso 1 de junio 2019). <http://www.portalciencia.net/geolomin.html>.

[2] Wolf, Stanley y Tauber, Richard N.: *Silicon Processing for the VLSI Era, Vol. 1: Process Technology*. Lattice Press; 1st edition, 1986.

[3] *Los minerales*, (acceso 1 de junio 2019). <http://mcosi1992.blogspot.com/p/propiedades-fisicas.html>.



**Raquel Ramírez Amador**

Egresada de la licenciatura en electrónica de la BUAP. Curso su maestría en Ciencias en el INAOE. Actualmente realizó su doctorado en el Centro de investigación en Dispositivos Semiconductores-ICUAP.

**Centro de Investigaciones en Dispositivos Semiconductores-ICUAP (BUAP).**

Av. San Claudio y Blvd. 18 Sur, Col. San Manuel, Ciudad Universitaria, Puebla, Pue. C.P. 72570.

[aromero@ifuap.buap.mx](mailto:aromero@ifuap.buap.mx)

# FLUORESCENCIA, HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS Y EL ADN

Sección Estudiantil

Antonio Sánchez Cid

## Resumen

Reseña sobre qué es la fluorescencia y el espectro electromagnético. La importancia de los colores en el mundo natural y el reto que representa para la industria química para poder reproducirlos creando sustancias sintéticas. Mención de ejemplos de fluorescencia en la vida diaria y su relación con los compuestos Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) producidos durante la combustión de material orgánico siendo este tipo de compuestos compuestos dañinos para el ADN y al mismo tiempo predecesores de sustancias fluorescentes que usamos en el campo médico.

### 1. Fluorescencia – No sólo colores alucinantes...

La fluorescencia es la emisión de luz por parte de una sustancia que ha absorbido energía a través de un haz de luz o alguna otra forma de radiación electromagnética de mayor energía. Este fenómeno se puede ejemplificar cuando apuntamos un haz de luz UV a un escorpión en la noche. Los focos UV (o luz negra) emiten luz con una longitud de onda de alrededor de 350 nm (dependiendo del material del que estén hechos). Los escorpiones tienen compuestos orgánicos en la piel (o exoesqueleto) que absorben la luz invisible para nuestros ojos y emiten una luz verde. En este punto debes de estarte preguntando que diferencia tienen las sustancias fluorescentes con los colorantes. La respuesta es que las sustancias fluorescentes absorben luz UV y emiten luz visible mientras que los colorantes absorben solo cierta parte del espectro visible por lo que apreciamos como color el espectro que no fue absorbido. Algo interesante, es que en el espectro electromagnético (que va de las ondas radiales a los rayos espaciales e incluye la luz visible) a menor longitud de onda, mayor energía y viceversa. Para que te des una idea, las ondas radiales son comparables en tamaño a estadios de fútbol y son menos energéticas que los rayos espaciales, cuya longitud es comparable a enlaces atómicos.

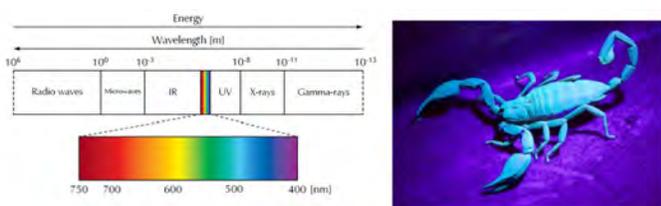


Figura 1: Izquierda: Espectro electromagnético, nota como el aumento de energía va de izquierda a derecha, por lo que el color rojo tiene menos energía que el color azul. Derecha: Escorpión bajo luz UV.

¿Sabías que el color azul es el menos abundante en la naturaleza? Es por eso que la industria química ha sintetizado distintas versiones de este color desde sus inicios. El primer colorante azul fue conocido como Azul de Prusia en honor al extinto imperio prusiano donde se descubrió en el siglo XVIII [1]. El último colorante azul reportado es conocido como YInMn Blue y fue sintetizado en la Oregon State University en 2009 [2]. La pregunta obligada es: ¿Por qué la industria química se interesa en sintetizar este compuesto si ya existen algunas versiones? La respuesta reside en sus aplicaciones. Tanto el Azul de Prusia como el YInMn Blue son complejos metálicos, así que no sería muy recomendable que los usarán para teñir tu refresco favorito o ningún otro tipo de alimento. Por esta misma razón se investigan nuevas sustancias fluorescentes, para poder explotarlas en distintas aplicaciones. La fluorescencia sucede cuando un haz de luz “golpea” a un electrón desde un nivel de energía bajo hacia uno más alto. Cuando el electrón regresa a su nivel original emite energía en forma de luz (a esto lo llamamos fluorescencia). Si estás interesado en la teoría detrás de este fenómeno, te recomiendo buscar el “Diagrama de Jablonski”, que describe en una gráfica este interesante fenómeno con mayor precisión [3].

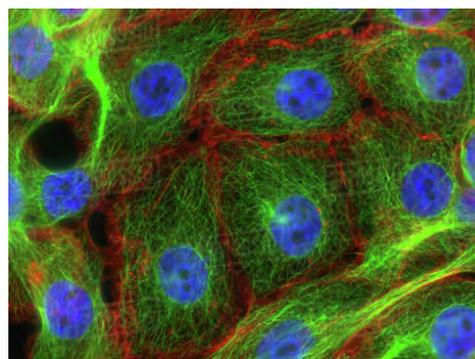


Figura 2: Células marcadas con agentes fluorescentes.

## 2. Fluorescencia aplicada

La fluorescencia tiene diversas aplicaciones, entre ellas, su uso en medicina. En la figura 2 podemos ver células cuyos núcleos han sido teñidos con un colorante comercial llamado DAPI que es usado para determinar la salud de las células en una muestra. En la naturaleza podemos encontrar distintas sustancias fluorescentes, una familia importante son los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs). Los HAPs tienen dos características importantes que les confieren fluorescencia: 1) un sistema de electrones deslocalizados (esto quiere decir que esos electrones pueden distribuirse o moverse entre varios átomos), 2) estructuras con todos sus átomos alineados en el mismo plano que no permiten movimiento dentro de cada molécula. Esto permite dos cosas, que estos sistemas contengan electrones que puedan “ser golpeados” al siguiente nivel de energía y que la energía absorbida no se pierda en el movimiento interno. Estas características son visibles cuando comparamos sus estructuras. En la siguiente figura se describen los HAP más conocidos.

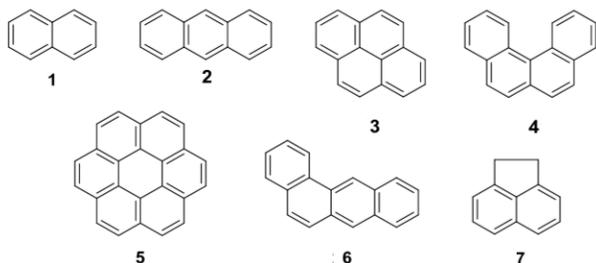


Figura 3: Ejemplos de HAPs: naftaleno 1, antraceno 2, pireno 3, benzo(c)fenantreno 4, coroneno 5, benzo(a)antraceno 6 y acenafteno 7.

Este tipo de compuestos pueden formarse durante actividades humanas productivas mediante la combustión incompleta de materiales orgánicos tales como tabaco y plantas [4]. Los HAPs también se producen durante la combustión de gasolina y carbón mineral [5]. Por ejemplo, investigaciones recientes han demostrado la presencia de material fluorescente en hamburguesas cocinadas usando carbón mineral como combustible [6], así que si gustas de ese tipo de hamburguesas, probablemente hayas consumido material fluorescente. Su presencia en el medio ambiente es significativa ya que se ha demostrado que este tipo de compuestos están relacionados con el desarrollo de cáncer [7]. Esto quiere decir que los HAPs afectan el ADN cambiando sus actividades normales. Este efecto se da debido a que los HAPs son planos y tienen las características electrónicas requeridas para meterse entre espacios libres del ADN. Esto produce disrupciones en la replicación del ADN.

La figura 4 ejemplifica como sucede este proceso conocido como intercalación. La presencia de HAPs en el ambiente es preocupante. Sin embargo, dado que estos compuestos pueden emitir luz, podrían ser útiles en el desarrollo de materiales novedosos. Actualmente, se investigan dispositivos

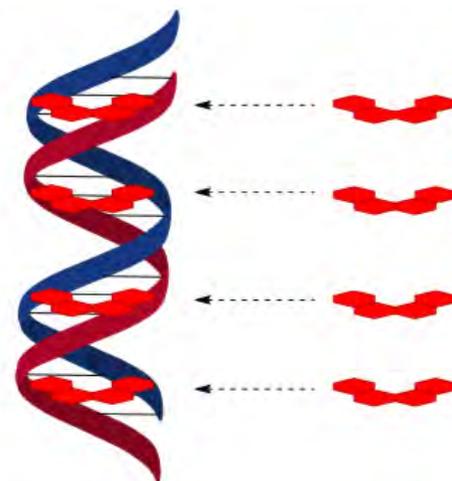


Figura 4: Intercalación de benzo(c)fenantreno 4 en ADN.

electrónicos de emisión de luz que contienen sustancias derivadas de HAPs [8]. Esta tecnología es usada en las pantallas de aparatos electrónicos, y enfrenta los mismos retos que el desarrollo de nuevos colorantes: requieren metales en sus estructuras lo que incrementa el precio y limita su versatilidad. Tal vez en el futuro, los residuos de la combustión de materiales orgánicos se pueda reciclar y usarse en la producción de aparatos electrónicos.

En la actualidad la interacción entre ADN y HAPs ha permitido crear compuestos diseñados para detectarlo y caracterizarlo, un ejemplo de esto es el bromuro de etidio. Este compuesto es plano, y presenta electrones “golpeables”, como los HAPs. Átomos distintos al carbono incrementan la selectividad de esta sustancia por ciertas regiones del ADN. Existe una técnica llamada Electroforesis en Gel en donde el ADN es marcado usando bromuro de etidio, permitiendo que macromoléculas como el ADN sean separadas. Esta técnica sirve para determinar si dos muestras contienen el mismo ADN. El bromuro de etidio se “atora” en los espacios libres del ADN y lo vuelve fluorescente. De esta manera, al separarlo en una placa pueden apreciarse distintas marcas fluorescentes (figura 5).

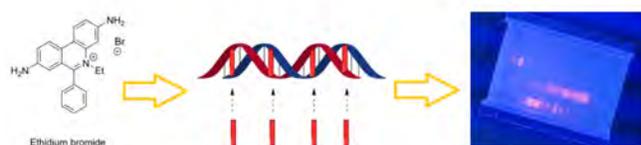


Figura 5: Izquierda: Estructura del Bromuro de Etidio. Centro: Intercalación. Derecha: Electroforesis de ADN en Gel.

Al igual que en el caso de los colorantes, los compuestos fluorescentes representan un gran interés para la industria química. Las variables que afectan la fluorescencia de algunas estructuras pueden ayudar a crear técnicas fluorescentes de un alto grado de sensibilidad. Adicionalmente, los costos de lámparas UV son comparativamente bajos así que es una

tecnología económicamente viable para desarrollar sustancias que cuantifiquen o identifiquen diversas sustancias además de marcar el ADN. Las mismas características por las cuales los HAPs son fluorescentes son las que le confieren sus propiedades carcinogénicas y al mismo tiempo su aplicabilidad en las ciencias biológicas. El uso de sustancias que emiten luz es importante en términos económicos, ya que alrededor del mundo existen compañías que invierten grandes sumas de dinero en su investigación y producción [9]. Es increíble pensar que todas estas invenciones empezaron por el brillo del exoesqueleto de un escorpión.

## Referencias

- [1] Ludi, A. *J. Chem. Educ.*, 58:1013, 1981.
- [2] Smith, A. E., Mizoguchi, H., Delaney, K., Spaldin, N. A., Sleight, A. W. y Subramanian, M. A. *J. Am. Chem. Soc.*, 131:17084, 2009.
- [3] Lakowicz, J. R.: *Principles of Fluorescence Spectroscopy*, Kluwer Academic Publishers, 2ª edición, 1999.
- [4] Vu, A. T., Taylor, K. M., Holman, M. R., Ding, Y. S., Hearn, B. y Watson, C. H. *Chem. Res. Toxicol.*, 28:1616, 2015.
- [5] J. Du, C. Jing. *Environ. Sci. Process. Impacts*, 20:1649, 2018.
- [6] Li, Y., Bi, J., Liu, S., Wang, H., Yu, C., Li, D., Zhu, B. W. y Tan, M. *Food Funct.*, 8:2558, 2017.
- [7] Armstrong, B., Hutchinson, E., Unwin, J. y Fletcher, T. *Environ. Health Perspect.*, 112:970, 2004.

[8] Hashimoto, S., Ikuta, T., Shiren, K., Nakatsuka, S., Ni, J., Nakamura, M. y Hatakeyama, T. *Chem. Mater.*, 26:6265, 2014.

[9] *Investing in OLEDs: discover the next big thing — OLED-Info*, (acceso 1 de junio 2019). <https://www.oled-info.com/investing-oled-stocks>.



**Dr. Antonio Sánchez Cid**

Egresado de la licenciatura en Farmacia en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Estudió la maestría en Química Medicinal en Newcastle University (Reino Unido) donde continuó con el doctorado en Química Organometálica en el grupo de investigación del profesor Lee J. Higham, ganando experiencia en la síntesis de compuestos organofosforados, diseño de moléculas fluorescentes para el área de imagenología molecular y fotofísica.

[antonioalbertosanchezcid1986@gmail.com](mailto:antonioalbertosanchezcid1986@gmail.com)

**DS**  
SEMICONDUCTORES

EL PROGRAMA DE DOCTORADO EN DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES CONVOCA A LOS INTERESADOS A INGRESAR AL DOCTORADO EN DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES

**DOCTORADO EN DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES**

Admisión 2019

**BUAP**

Si eres estudiante del Instituto de Física “Ing. Luis Rivera Terrazas”, la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas o del Centro de Investigación en Dispositivos Semiconductores del Instituto de Ciencias, y te interesa la divulgación científica, tú puedes formar parte del comité editorial del siguiente número de la revista.

Si estás interesado escríbenos a [conciencia.buap@gmail.com](mailto:conciencia.buap@gmail.com)

# ENTREVISTA AL DR. ARTURO FERNÁNDEZ TÉLLEZ

Sección Local

## Dr. Arturo Fernández Téllez

Egresado de la licenciatura y maestría en física por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, obtuvo su doctorado en física en el CINVESTAV-IPN seguido de una estancia postdoctoral en el Fermilab. Perteneciente a la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas (FCFM) de la BUAP, el Dr. Arturo es un físico experimental de altas energías, miembro del Sistema Nacional de Investigadores nivel III. Forma parte de la Academia Mexicana de Ciencias y ha sido galardonado con el Premio Estatal de Ciencias del estado de Puebla.



*...estudiar física es un proyecto de vida...*

**Revista:** ¿Podría hablarnos un poco de su área de investigación?

*Dr. Fernández:* Mi área de trabajo es la física experimental de altas energías. Desde hace 30 años me inicié en el área de física experimental participando en el experimento E791 del Fermilab, como parte de mi estancia postdoctoral. Mi primer contacto con esta área experimental fue trabajar en física del *quark Charm*, también llamado **Charm-Physics**. En ese grupo se hicieron investigaciones basadas en datos obtenidos a finales de años 80 y principios de los 90 en el **Tevatrón de Fermilab**, de donde salía un haz de partículas para producir haces de caones y piones que interactuaban sobre varios targets de diferentes materiales, silicio y germanio principalmente; con esos datos se obtuvo una producción científica de 45 artículos de investigación que lograron un impacto científico significativo, a pesar de que fue un experimento pequeño (para los estándares actuales), con no más de 70 científicos participantes, la producción científica fue buena. En ese grupo

de experimentos hubo 7 artículos que después de un tiempo alcanzaron más de 150 citas cada uno. De estos, uno ya alcanzó más de 450 citas. Debo mencionar que aún hay datos y resultados de este experimento que no han sido mejorados, en cuanto a los valores que se han obtenido, por ejemplo, los distintos *branching ratios*, o las cotas a propiedades de mesones con *charm*.

Después me incorporé a un experimento de rayos cósmicos que se convirtió en el Observatorio Pierre-Auger de detección de rayos cósmicos ultraenergéticos. Este observatorio es el detector más grande en el mundo en física de rayos cósmicos. Es un sistema de detectores que cubre un área de poco más de 3000 km<sup>2</sup>, ubicado en la región de la Pampa Amarilla, cerca de la zona de Mendoza en Argentina. De 1996 al 2002 participé en ese experimento con la propuesta de detectar los rayos cósmicos de la mayor energía posible. Trabajé con otros investigadores de la BUAP y de México, con la propuesta de instalar lo que se llamó: el arreglo de

detectores de superficie del Observatorio Pierre-Auger, que eran detectores de luz Cherenkov en agua, cuyos primeros prototipos fueron desarrollados por nosotros aquí en Puebla, UNAM y Cinvestav, se instalaron alrededor de 2800 detectores esparcidos en estos 3000 km<sup>2</sup>. Además se contribuyó a la óptica del detector de fluorescencia de ese observatorio. A partir del año 2002, me incorporé al experimento ALICE en el CERN (que en ese entonces estaba iniciando su construcción), donde se propusieron instalar en el túnel del gran colisionador de hadrones un detector de rayos cósmicos, con el fin de agregar al colisionador de hadrones un detector de rayos cósmicos e incorporar al experimento ALICE el área de la Física de Astropartículas. En el 2006, se terminaron de construir los 60 módulos de detección de rayos cósmicos y se caracterizaron en el 2007; después estos detectores fueron llevados a Ginebra Suiza y se instalaron en uno de los sitios de detección del LHC. Desde el 2008 se están detectando rayos cósmicos gracias a la colaboración de 7 investigadores de la BUAP (2 profesores de la Fac. de Ciencias de la Electrónica, 5 de la Fac. de Ciencias Físico Matemáticas, con contribución de alumnos de licenciatura y posgrado que han obtenido sus respectivos grados académicos, haciendo sus tesis con datos del experimento ALICE del CERN.

**Revista: ¿Qué tan complicado es trabajar en proyectos tan grandes?**

*Dr. F.:* El experimento tiene más de 1300 integrantes y 102 instituciones involucradas en el experimento, así que, efectivamente, llevar a cabo una empresa científica de esa magnitud no es fácil. Los objetivos científicos deben ser muy claros y el grupo de científicos que coordinan los experimentos deben tener una enorme experiencia en la Física Experimental de Altas Energías. La clave es la organización, planteamiento de metas, programación de tareas y discusión de resultados en reuniones de trabajo con calendario fijo.

**Revista: ¿Qué lo motivó a hacer una carrera científica?**

*Dr. F.:* Nunca lo planteé así. Se me comenzaron a facilitar las matemáticas y la física. Los profesores de física me mencionaban que era relativamente bueno, entonces seguí sus consejos. El estudiar física es un proyecto de vida. Continué estudiando lo que me gustaba en su momento. Sólo al final de mi formación me di cuenta que me agradaba la física experimental y hoy en día, el físico, debe de decidir entre ser físico teórico o experimental. Sólo hay que estar de verdad enterado acerca de lo que se hace en cada una de estas dos subáreas.

**Revista: ¿Qué piensa acerca de la mentalidad de que la ciencia aplicable es mejor a la que no se aplica?**

*Dr. F.:* Trabajar en la frontera de la ciencia, implica muchas cosas. Cuando se hace investigación (de manera profesional, de competencia internacional) de manera natural se da la interacción con otras áreas. Muchas veces se tienen que hacer algunos instrumentos que no existen en el mercado y de ahí puede salir una patente. Por ejemplo, en el área

de física de altas energías, se hacen medidores de radiación electromagnética o detectores de ciertas partículas. Por necesidad del país a veces es necesario involucrarse en proyectos de medicina, por ejemplo, en radioterapia, para eliminar el cáncer usando técnicas novedosas como lo es la protonterapia, que consiste en hacer incidir protones para atacar el cáncer. La clave es que cuando haces investigación y resulta que hay una aplicación anexa, se hace de forma natural y con mucho interés. Lo principal es hacer una invitación a los investigadores para que tengan sumo cuidado en las posibles aplicaciones de la investigación que estén realizando. Por ejemplo, una colega está desarrollando un estudio de cómo se crea el plasma de quarks y gluones, usando la teoría de percolación en física estadística, y esa teoría es muy amplia, por lo tanto se puede aplicar en muchísimas áreas.

**Revista: ¿Admira a algún científico?**

*Dr. F.:* Entre mis gustos desde niño, ha estado la literatura, me emocionaba mucho leyendo las biografías de diferentes científicos, por ejemplo, Einstein o Feynman. Eso me emocionaba mucho y hasta la fecha me sigue entusiasmando hacerlo. Lo último que estuve leyendo fue acerca de Watson y Creek, sobre como descubrieron el DNA y me llamó mucho la atención. Es fascinante como lograron obtener la estructura con datos de espectroscopía Raman, ellos entendieron como debía crecer y como se desarrollaba. Watson era genial, tuvo la idea de atacar las cosas de manera muy original; cuando lo planteó a su colega Creek, lo convenció y así, propusieron esa parte fundamental en la historia de la ciencia. También admiro a Dirac. Él tiene el conocimiento puro de física y matemáticas.

**Revista: Además de la lectura, ¿Qué otros hobbies tiene?**

*Dr. F.:* Me gusta mucho la música, el rock, la música clásica, la ópera. De hecho, mi hijo es músico. Él ahora es compositor. En casa siempre tenemos un disco reproduciéndose.

**Revista: ¿Cómo cree usted que un futuro científico debe de elegir el área de investigación?**

*Dr. F.:* En la BUAP tenemos programas muy buenos de acercamiento de los científicos. Los programas de los veranos científicos: “Un Verano u Otoño con un científico”, “Veranos de la Ciencia”, etc. Todo eso se maneja muy bien en la universidad. Lo que recomiendo a los chicos es: un año trabaja con un físico teórico, otro año trabaja con un físico experimental. Si el estudiante hace la estancia con el mismo profesor cada año, no va a saber de otras áreas. Primero deben de enriquecer su experiencia en diferentes áreas y posteriormente en maestría podrán elegir un programa de estudio. El estudiante debe de tener en cuenta que los programas de verano y otoño son muy importantes, ya que, además de aprender reciben un incentivo extra.

**Revista: ¿Cuál es el proceso que usted sigue cuando realiza investigación?**

*Dr. F.:* En este momento se tiene un planteamiento desde hace muchos años. Mi programa de trabajo está basado en

metas que llevan mucho tiempo: física de iones pesados y hacer astro-partículas en el experimento ALICE. Se revisa el trabajo que se hace en el área, incorporar estudiantes y tratar de obtener resultados novedosos en alguno de los dos experimentos. Primeramente, en la mañana reviso el correo electrónico y reviso si existen tareas pendientes del día anterior para continuarlas. Además, se puede revisar el trabajo de tesis de los estudiantes, así también, como prosiguen los trabajos con los colegas acerca de los experimentos. Es raro que aparezca una nueva tarea, normalmente está bien planteada la forma de trabajo. Se completa una meta y de forma natural aparecen otras.

**Revista: ¿Cuáles han sido de las aportaciones más grandes que ha tenido?**

*Dr. F.:* Existe un trabajo que hicimos en el experimento ALICE, que consiste en conocer y estudiar un tipo especial de rayos cósmicos que se conocen como Muon bundles, estos no habían sido bien estudiados en experimentos previos. En años anteriores se descubrieron estos fenómenos (a los cuales se le relacionó con el inicio de nueva física), ahora, este fenómeno se puede interpretar como una fluctuación estadística de un fenómeno bien conocido, relacionado con la manera en que se desarrolla un chibasco de rayos cósmicos de muy alta energía. Lo que encontramos es que estos fenómenos astrofísicos son interesantes y contribuyen a la física de las astro-partículas, pero (desafortunadamente), no eran nueva física. Nos ha llevado mucho trabajo entender este hecho y está considerada como una buena contribución a la física, avalada y utilizada por el CERN. Además, me enorgullece decir que tuve el privilegio de incorporar a la BUAP en el experimento Pierre-Auger, junto con otros científicos mexicanos, que hoy en día están haciendo las investigaciones de más alto nivel.

**Revista: ¿Cuáles han sido las mayores satisfacciones que ha tenido?**

*Dr. F.:* Representar a la BUAP en el experimento Pierre-Auger y poner la bandera de la BUAP en el CERN. No existía alguien de Puebla que haya trabajado en algún experimento del CERN previamente. De eso me siento orgulloso, y por supuesto espero que mis colegas jóvenes lo mantengan y lo mejoren. Espero que hagan una contribución aún más importante. Mi sueño es que la visibilidad que tenemos se consolide y sea mejor.

**Revista: ¿Usted cree que el estudio de la ciencia está destinada sólo a algunas personas?**

*Dr. F.:* Es necesario una persona con una autodisciplina rigurosa, con una visión clara en la vida, con gusto por las actividades científicas, pueda tener una vida como investigador. Se puede observar que muchos estudiantes, que son muy buenos y que tienen mucha habilidad, pero luego te das cuenta que no estudian mucho, que prefieren otras actividades y posteriormente se pierden. Yo creo que es porque está en el lugar que no le gusta; no ha encontrado su vocación. Hay gente que tiene mucho deseo de hacer alguna cosa, pero

sólo con la disciplina y el trabajo realizado día con día se puede obtener una contribución significativa.

**Revista: Además de la disciplina, ¿qué otro factor considera que es fundamental para que una persona se pueda desarrollar como científico?**

*Dr. F.:* Como científico en el área de ciencias exactas primeramente se debe tener habilidad para manejar las matemáticas. No hacer matemáticas, sino tener la facilidad para manejar la herramienta matemática. Si no se tiene esa habilidad o cualidad las cosas no funcionan. El lenguaje científico son las matemáticas, a veces se encuentran colegas que no pueden con las matemáticas. Y además de hacer cosas de computación y electrónica, es algo que tenemos que hacer y que se necesita. Así también, poder comunicarse con gente de otras áreas.

**Revista: ¿Qué opina de la ciencia en México?**

*Dr. F.:* Nos falta consolidar el trabajo, para eso necesitamos saltar a otras etapas. No se tienen grupos de trabajo de 20 o 30 personas en un área de la física en México. Pero eso implica una aportación científica de mayor nivel. Y para dar el salto y tener un mayor impacto, como Brasil, se necesita aportar mayores recursos a la ciencia.

**Revista: ¿Cómo está México en cuanto a la educación básica?**

*Dr. F.:* Es una pregunta muy difícil de responder. Yo me siento como resultado de la educación en México. El 90 % de los profesores que están en la universidad venimos de la educación pública básica. No somos los mejores del país, pero tampoco los peores. La forma de educación que se tiene en México tiene muchas virtudes, y muchos errores; hay muchos ejemplos de que se han hecho bien las cosas. Hay que ser consientes de dar buenas clases y tratar de mejorar las formas de impartir cursos, tratar de impartir cursos didácticos novedosos en nuestras clases. No estamos en las mismas condiciones que algunas partes de Europa y de Estados Unidos.

**Revista: ¿Qué opina de la participación de la mujer en la ciencia?**

*Dr. F.:* El género es algo que se ha sorteado muy bien sobre todo en el área de la física. Por ejemplo, la directora de esta facultad es mujer, y en el experimento en el que estoy actualmente el porcentaje de hombres es de 65 % y de mujeres de 35 %, y para mí son colegas como cualquier otro.

**Revista: ¿Cómo cree usted que se debe divulgar la ciencia?**

*Dr. F.:* Yo creo que los investigadores activos son los que deben hacer la divulgación. Noto personas que no hacen investigación y que hacen trabajo de divulgación científica y eso no está bien. Principalmente, hay que trabajar en alguna actividad científica y tratar de divulgarlo.

**Revista: ¿Tiene alguna anécdota como estudiante?**

*Dr. F.:* La anécdota que tengo tiene que ver con el postdoc. Estaba planeado hacer un postdoc en Alemania y esa posibilidad empezó a tardar. Un año antes de terminar el doctorado, vine a pedir empleo en la facultad de físico matemáticas. Me dieron el trabajo y con la plaza en mano terminé el doctorado. En 1991 me habían dado el permiso para hacer el postdoc con un grupo muy fuerte de fenomenología de altas energía. En 1992 llegó una oferta de hacer un postdoc en el Fermilab en trabajo experimental. Me pagaron en el Fermilab un apoyo como postdoc. Además de ser otro idioma (inglés) el lenguaje técnico era muy diferente. Trabajé de verdad muy fuerte. El experimento en el que yo estaba era pequeño, pero con gente muy buena y capaz. Un día después de 6 meses empecé a manejar la opción de irme y la presión era muy fuerte, realicé una llamada a algunos colegas y principalmente a una persona para manejar la posibilidad de regresar a México. Le hablé a esa persona y esperaba que me dijera que regresara y ocurrió lo contrario, me dijo: no, tú debes de mantenerte y debes de cumplir con lo que te encomendaron. La anécdota es que, pides consejos y a veces el consejo no es el que esperabas, pero las cosas cambian positivamente. Siempre hay que pedir consejos, pero hay que saber con quién.

**Revista: Entre la docencia y la investigación ¿qué prefiere?**

*Dr. F.:* Para mi creo que van de la mano, como profesor universitario creo que tenemos la obligación de enseñar y para muchos es un gusto enseñar. El tener contacto con el estudiante es algo muy enriquecedor. Siempre te encuentras a un estudiante que es deslumbrante y que te motiva a ser mejor docente.

**Revista: ¿Algún libro de literatura que recomiende?**

*Dr. F.:* “En Busca de Klingsor” de Jorge Volpi, es muy buen libro, es un libro premiado. Para nosotros los físicos es muy ameno y lo disfruté muchísimo. Y uno más relacionado con mi área es “The Infinite Puzzle” de Frank Close que habla sobre la física de los últimos años.

El comité editorial agradece al Dr. Arturo Fernández Téllez la amabilidad que ha tenido al dedicar parte de su valioso tiempo a esta entrevista.

## Los invitamos a leer nuestros números anteriores:

<http://www.ifuap.buap.mx/vinculacion/revistaCon-ciencia.php>



## Resumen

Las primeras estimaciones del radio de la Tierra se deben a Piteas (alrededor de año 350 a. C.) y Eratóstenes (alrededor del año 220 a. C.). Ambos notaron que en el mismo día del año y con el Sol del mediodía, el ángulo formado por la sombra del mismo objeto no es el mismo en todas partes. Sus estimaciones, basadas en nada más que cálculos geométricos, son bastante aproximadas al valor aceptado del radio de la Tierra que ha sido el resultado de diversos y sofisticados modelos matemáticos donde se asume que la Tierra es una esfera, aunque realmente no lo sea.

## 1. Introducción: La redondez de la Tierra

La Tierra como un objeto plano, fue uno de los paradigmas astronómicos que los primeros humanos construyeron a raíz del interés que tenían por entender la forma de la superficie que estaban pisando. Este modelo, que surgió a base de la mera observación y el sentido común, perduró por varios siglos. Y no es que el conocimiento empírico bastante sólido en geometría y astronomía, que los egipcios (4000 A.C.), por ejemplo, habían desarrollado, no les hubiese permitido considerar la Tierra como redonda; sino más bien, todo a punta que el modelo de una Tierra plana les funcionaba.

No fueron ni Fernando de Magallanes (1481 – 1521) ni Galileo Galilei (1564 – 1642) quienes descubrieron que la Tierra es redonda. Ellos –al igual que otros filósofos, navegantes y científicos de la antigüedad– tuvieron la idea de una Tierra redonda. De hecho, a Galileo lo condenó la Inquisición Española por defender el *heliocentrismo*, una teoría propuesta por Nicolás Copérnico (1473 – 1543), que ponía al Sol –y no la Tierra– en el centro del Universo, y que por tanto iba en contra de las ideas de la Iglesia Católica de aquella época.

Parece que fue Tales de Mileto (625 a. C – 547 a. C.) el primero en cuestionar realmente la forma de la Tierra. Su idea se basaba en colocar un terreno plano en forma de disco en una vasta extensión de agua [1]. Además, Tales fue el primero en reemplazar la explicación mítica (o divina) de los fenómenos naturales por una explicación física (o racional), por lo que se volvió uno de los precursores de la ciencia griega [2].

Sin embargo, fue Pitágoras (569 a. C. – 475 a. C.) quien le da una forma esférica a la Tierra [3]. Pitágoras observó metódicamente los eclipses de Luna y se percató que cada vez un disco oscuro la ocultaba gradualmente y la enmascaraba por completo durante unas pocas horas. Esto lo llevó a concluir que la Tierra no podía ser un cilindro como lo afirmaba Anaximandro (610 a. C. – 545 a. C.), uno de sus contemporáneos. Hecho que no parece haber impactado realmente a su mundo.

Más tarde, en tiempos y lugares diferentes, Piteas y

Eratóstenes, dos celebridades griegas, asumiendo la Tierra como un objeto redondo y utilizando principios básicos de geometría que conocían, pudieron realizar estimaciones del radio de la Tierra.

## 2. Medición de Piteas

Piteas fue un explorador griego de Massalia, la antigua Marsella. Además de ser un gran astrónomo, fue considerado uno de los exploradores científicos más antiguos en dejar un rastro en la historia, hizo varios viajes a los mares del norte de Europa, el primero de ellos alrededor del 325 a. C. Esos viajes le permitieron confirmar la redondez de la Tierra.

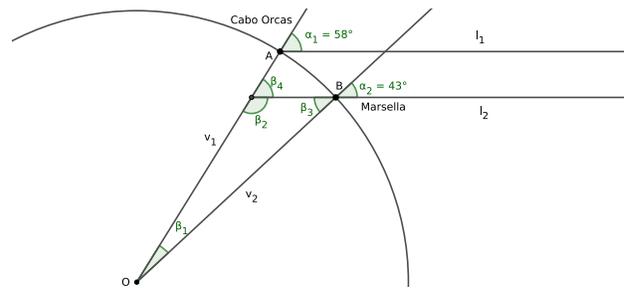


Figura 1: Geometría de la configuración de Piteas.

Durante algunos equinoccios, al mediodía bajo el Sol, Piteas midió que los rayos solares formaban un ángulo de  $43^\circ$  respecto a la vertical en Marsella, mientras que en cabo Orcas (al norte de Escocia) este ángulo era de  $58^\circ$ . Con la información anterior y sabiendo que estos lugares distan entre ellos 10500 estadios, unos 1720 km, Piteas pudo realizar una estimación del radio de la Tierra.

Sean  $l_1$  y  $l_2$  dos rectas que representan los rayos solares que llegan a Cabos Orcas (A) y Marsella (B), respectivamente, y sea  $\ell$  la longitud del arco AB, es decir la distancia entre Cabos Orcas y Marsella. Sean  $v_1$  y  $v_2$  dos rectas verticales cuyo origen es el centro (O) de la circunferencia (de la Tierra) tal que forman los ángulos  $\alpha_1 = 58^\circ$  y  $\alpha_2 = 43^\circ$  con las rectas  $l_1$  y  $l_2$ , respectivamente, que representan dos rayos solares paralelos.

Sean  $R_{\oplus}$  el radio de la Tierra y  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  y  $\beta_4$ , los ángulos como se muestran en la Figura 1.

Para los griegos la geometría era una disciplina en la que eran doctos, por lo que Piteas sabía que la razón entre la longitud ( $2\pi R_{\oplus}$ ) de la circunferencia de la Tierra y su equivalencia en grados ( $360^\circ$ ) es igual a la razón entre la longitud ( $\ell$ ) del arco  $AB$  y la medida del ángulo ( $\sphericalangle AOB$ ) que lo subtiende, es decir,

$$\frac{2\pi R_{\oplus}}{360^\circ} = \frac{\ell}{\sphericalangle AOB}. \quad (1)$$

Como las rectas  $l_1$  y  $l_2$  son paralelas, entonces  $\beta_4 = \alpha_1$ . Además, dado que  $\beta_2$  y  $\beta_4$  son ángulos suplementarios se tiene que  $\beta_2 + \beta_4 = 180^\circ$ . Luego,

$$\beta_2 = 180^\circ - \alpha_1. \quad (2)$$

Por otra parte, los ángulos  $\alpha_2$  y  $\beta_3$  son opuestos por el vértice, por lo que

$$\beta_3 = \alpha_2. \quad (3)$$

Obsérvese en la Figura 1 que los ángulos  $\beta_1, \beta_2$  y  $\beta_3$  son los ángulos internos del triángulo  $OBC$ , entonces

$$\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 = 180^\circ. \quad (4)$$

Así, de las Ecuaciones (2), (3) y (4) se sigue que

$$\beta_1 = \alpha_1 - \alpha_2. \quad (5)$$

Ya que  $\sphericalangle AOB$  es el mismo que el ángulo  $\beta_1$ , la Ecuación (1) se reescribe en término de los ángulos  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  como

$$R_{\oplus} = \frac{360^\circ \ell}{2\pi(\alpha_1 - \alpha_2)}. \quad (6)$$

Por lo tanto, la longitud del radio de la Tierra según las observaciones de Piteas es

$$R_{\oplus} = \frac{(360^\circ)(1720 \text{ km})}{(2\pi)(58^\circ - 43^\circ)} = 6569.91 \text{ km}$$

### 3. Medición de Eratóstenes

Eratóstenes nació en el año 276 A.C. en Cirene, hoy Libia. Fue matemático y geógrafo, estudió unos años en Atenas y luego se convirtió en alumno del poeta griego Calímaco, quien dirigía la gran biblioteca de Alejandría Fundada en el siglo III A.C. por Ptolomeo I. Cuando este último murió en 240 A.C., Eratóstenes fue nombrado bibliotecario de Alejandría y fue el preceptor del futuro faraón Ptolomeo IV.

Durante un solsticio de verano, mientras Eratóstenes se encontraba en Syene (actualmente Aswan) observó que el Sol no proyectaba sombra en el fondo de un pozo y, por lo tanto, los rayos solares eran perfectamente verticales. El mismo día y a la misma hora en Alejandría, mandó a medir la sombra proyectada por un obelisco que en ese instante formaba un ángulo de  $7.2^\circ$  con la vertical. Sólo estos datos y sabiendo que la distancia entre las dos ciudades era de 5000 estadios, algo así

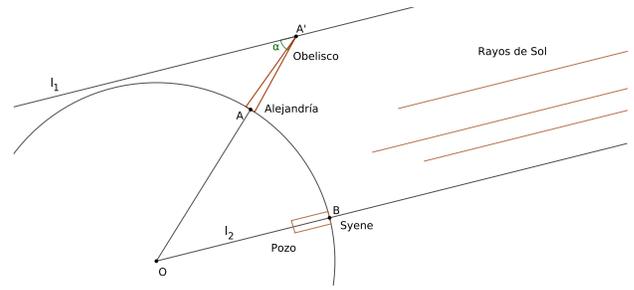


Figura 2: Geometría de la configuración de Eratóstenes.

como 820 km, le fueron suficientes a Eratóstenes para calcular el radio de la Tierra.

Sean  $l_1$  y  $l_2$  dos rectas que representan los rayos solares que pasan por el pozo y por la cúspide del obelisco, respectivamente. Sea  $\alpha$  el ángulo de la sombra generado por el rayo solar  $l_2$ . Sea  $\sphericalangle AOB$  el ángulo subtendido por el arco  $AB$  de longitud  $\ell$ . Sea  $R_{\oplus}$  el radio de la Tierra. Véase la Figura 2.

Al igual que Piteas, Eratóstenes también utilizó el hecho de la igualdad de la razón entre la longitud ( $2\pi R_{\oplus}$ ) de la circunferencia de la Tierra y su equivalencia en grados ( $360^\circ$ ) y la razón entre la longitud ( $\ell$ ) del arco  $AB$  y la medida del ángulo ( $\sphericalangle AOB$ ) que lo subtiende, es decir,

$$\frac{2\pi R_{\oplus}}{360^\circ} = \frac{\ell}{\sphericalangle AOB}.$$

Como las rectas  $l_1$  y  $l_2$  son paralelas (dado que los rayos solares llegan todos de forma paralela a la Tierra), se tiene que  $\sphericalangle AOB = \alpha$ .

Por lo tanto, de la ecuación anterior se sigue que

$$R_{\oplus} = \frac{360^\circ \ell}{2\pi\alpha}. \quad (7)$$

Así, el radio de la Tierra según las mediciones hechas por Eratóstenes es

$$R_{\oplus} = \frac{(360^\circ)(820 \text{ km})}{(2\pi)(7.2^\circ)} = 6525.35 \text{ km}.$$

### 4. Medición mediante el movimiento aparente del Sol

Desde Copérnico, es bien sabido que la Tierra se mueve alrededor del Sol, pero para una persona que se encuentra sobre la superficie de la Tierra, es el Sol quien parece moverse alrededor de ella –de la Tierra– de Este a Oeste. Este movimiento se conoce como *movimiento aparente del Sol*, y varía de estación a estación así como de la latitud terrestre. Por ejemplo, un observador situado en la CDMX que se localiza a una latitud de  $19^\circ$  podrá ver al Sol en el punto más alto del cielo, llamado *cenit*, dos veces cada año, el 15 de mayo y el 25 de julio. Sin embargo, un segundo observador, situado en la ciudad de Nueva York que se encuentra a una latitud de  $41^\circ$  nunca podrá ver al Sol en el cenit.

Supóngase que, una persona yace acostada sobre una playa localizada sobre del ecuador terrestre (latitud igual a  $0^\circ$ ), mientras toma una deliciosa bebida y contempla la puesta de Sol sobre un océano tranquilo. Justo cuando el Sol desaparece sobre el horizonte la persona inicializa un cronómetro. Luego, esta afortunada persona se pone de pie, quedando sus ojos a una altura  $H = 1.70$  m, y detiene el reloj cuando el Sol vuelve a desaparecer sobre el horizonte. La persona observa que el tiempo transcurrido entre las dos puestas de Sol es  $t = 11.1$  s, y se da cuenta que con la información que posee puede estimar la longitud del radio de la Tierra.

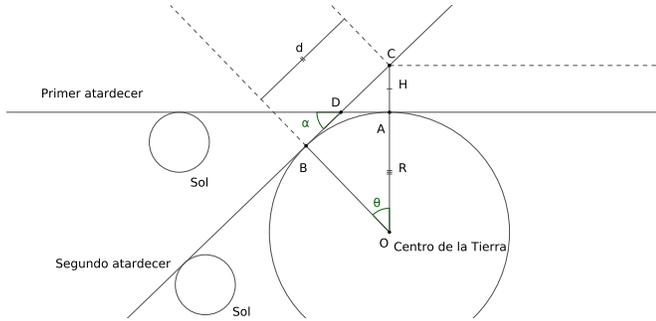


Figura 3: Geometría de la configuración de las puestas de Sol

Sea  $l_1$  la línea tangente a la Tierra en el punto  $A$  que se forma cuando la persona yace acostada en la playa observando el primer atardecer. Sea  $l_2$  la línea tangente a la Tierra en el punto  $B$  cuando la persona se levanta quedando sus ojos a una altura  $H$ , y observando así el segundo atardecer. Sea  $\alpha$  el ángulo a través del cual “el Sol se veve alrededor de la Tierra” durante el tiempo medido  $t = 11.1$  s, y sea  $\theta$  el ángulo entre los radios tangentes a los puntos  $A$  y  $B$ . Véase la Figura 3.

Nótese que el triángulo  $BOC$  es un triángulo rectángulo, donde uno de sus lados (el segmento  $BO$ ) es el radio de la Tierra  $R_\oplus$ . Luego, si se denota por  $d$  la longitud del segmento  $BC$ , por el Teorema de Pitágoras se tiene que

$$d^2 + R_\oplus^2 = (R_\oplus + H)^2 = R_\oplus^2 + 2HR_\oplus + H^2,$$

de donde

$$d^2 = 2HR_\oplus + H^2. \quad (8)$$

Por otro lado, del triángulo  $BOC$  se deduce que

$$\tan(\theta) = \frac{d}{R_\oplus}. \quad (9)$$

Despejando  $d$  en la Ecuación (9) y sustituyendo su valor en la Ecuación (8), se obtiene la siguiente ecuación cuadrática

$$\tan^2(\theta)R_\oplus - 2HR_\oplus - H^2 = 0. \quad (10)$$

cuyas soluciones son

$$R_\oplus^{(1,2)} = \frac{1 \pm \sec(\theta)}{\tan^2(\theta)} H. \quad (11)$$

Ahora, dado que durante el día solar medio cuya duración aproximada es de 24 h, el Sol se mueve a través de un ángulo

de  $360^\circ$  alrededor de la Tierra, es posible escribir

$$\frac{24 \text{ h}}{360^\circ} = \frac{t}{\alpha}. \quad (12)$$

Entonces, para  $t = 11.1$  s se tiene

$$\alpha = \frac{(360^\circ)(11.1 \text{ s})}{(24 \text{ h})(60 \text{ min/h})(60 \text{ s/min})} = 0.04625^\circ.$$

Nótese que, el triángulo  $ADC$  es semejante al triángulo  $BOC$ , por lo tanto  $\theta = \alpha$ ; además, como  $\alpha$  es mucho menor que 1, entonces  $\sec(\alpha) \approx 1$ ; luego, en la Ecuación (11) se toma el signo positivo y con  $H = 1.7 \times 10^{-3}$  km se obtiene la siguiente aproximación del radio de la Tierra

$$R_\oplus = \frac{1 + \sec(0.04625^\circ)}{\tan^2(0.04625^\circ)} (1.7 \times 10^{-3} \text{ km}) = 5217.95 \text{ km}.$$

## 5. Conclusiones

La Tierra no es perfectamente esférica, por lo tanto no existe algún valor único con el que se pueda representar su radio natural. Sin embargo, utilizando modelos teóricos donde se asume que la Tierra es redonda (una esfera), se han podido realizar, a lo largo de la historia de la humanidad, algunas estimaciones de su radio: Piteas encontró que el radio de la Tierra es  $R_\oplus = 6569.91$  km mientras que Eratóstenes calculó  $R_\oplus = 6525.35$  km, valores que no discrepan tanto del valor más aceptado del radio medio de la Tierra  $R_\oplus = 6371$  km[4, 5].

Mediante la observación de dos puestas de Sol consecutivas sobre algún punto en el ecuador terrestre, gracias al movimiento aparente del Sol (alrededor de la Tierra), es posible estimar que el radio de la Tierra es  $R_\oplus = 5217.95$  km. Sin embargo, este resultado, a diferencia de aquellos obtenidos por Piteas y Eratóstenes, discrepa aproximadamente en un 18 % del valor estándar del radio de la Tierra, dado que la duración del día solar medio difiere de la duración del día solar verdadero, ya que esta última varía a lo largo del año debido a que la órbita terrestre es una elipse, con lo cual la Tierra en su movimiento de traslación alrededor del Sol se mueve más veloz cuando se acerca a él y más despacio cuando se aleja.

## Referencias

- [1] Kirk, Geoffrey Stephen, Raven, John Earle y Schofield, Malcolm: *Les philosophes présocratiques : Une histoire critique avec un choix de textes*, volumen 16. coll. Vestigia, 1995.
- [2] Voilquin, Jean: *Les Penseurs grecs avant Socrate. De Thalès de Milet à Prodicos*. Garnier/Flammarion, 1ª edición, 1964.
- [3] Pédech, Paul: *La géographie des Grecs*. Presses Universitaires de France, 1976.

[4] Mamajek, E. E., Prsa, A., Torres, G., Harmanec, P., Asplund, M., Bennett, P. D., Capitaine, N., Christensen-Dalsgaard, J., Depagne, E., Folkner, W. M., Haberreiter, M., Hekker, S., Hilton, J. L., Kostov, V., Kurtz, D. W., Laskar, J., Mason, B. D., Milone, E. F., Montgomery, M. M., Richards, M. T., Schou, J. y Stewart, S. G.: *IAU 2015 Resolution B3 on Recommended Nominal Conversion Constants for Selected Solar and Planetary Properties*. arXiv e-prints, Octubre 2015.

[5] Moritz, H.: *Geodetic Reference System 1980*. Journal of Geodesy, 74:128–162, Marzo 2000.



**Dr. Francisco Rendón**

Egresado de la licenciatura en matemáticas de la Universidad Veracruzana, y de la maestría y doctorado en astrofísica de la Universidad de Guanajuato. Actualmente es profesor–investigador en la Universidad del Papaloapan.

[rendon.frn@gmail.com](mailto:rendon.frn@gmail.com)



**Dra. Eréndira Munguía**

Egresada de la licenciatura en matemáticas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco y del doctorado en ciencias matemáticas de la UNAM. Actualmente es profesora–investigadora en la Universidad del Papaloapan. Ha impartido numerosas charlas y talleres de divulgación de las matemáticas y su relación con las ciencias naturales, la música y los estudios de género.

[erendira.munguia@gmail.com](mailto:erendira.munguia@gmail.com)

**Universidad del Papaloapan**  
Av. Ferrocarril s/n, Col. Cd. Universitaria,  
Loma Bonita, Oax., México C.P. 68400

**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**  
**Instituto de Física**  
**“Ing. Luis Rivera Terrazas”**




---

**CONVOCATORIA 2019**

Cursos propedéuticos y de actualización para el ingreso a las Maestrías y Doctorados en:

**Física (PNPC – Nivel Internacional)**  
**Ciencia de Materiales (PNPC – Consolidado)**

**Áreas generales de investigación:**

- \*Física Computacional
- \*Física Teórica
- \*Física de Materia Condensada
- \*Materiales Avanzados: Aplicaciones y Modelado
- \*Propiedades de Materiales

Se cuenta con Becas SEP-CONACyT

Correo electrónico:  
Física: [posgrado\\_fisica@ifuap.buap.mx](mailto:posgrado_fisica@ifuap.buap.mx)  
Ciencia de Materiales: [posgrado\\_mat@ifuap.buap.mx](mailto:posgrado_mat@ifuap.buap.mx)

Más información en <http://www.ifuap.buap.mx>



*¿Sabías que...*



La BUAP fue la mejor universidad en física en México, según el ranking Best Global Universities 2018

## Resumen

Actualmente la salud bucodental en el bebé está tomando mayor importancia, el cometido principal es, por una parte, que los estomatólogos centren su atención en este sector de la población y por otra parte hacer que los padres participen de manera activa en las estrategias de prevención a fin de generar hábitos de higiene bucodental y así prevenir y detectar en el momento oportuno cualquier situación que se presente en la boca. Al no existir buenos hábitos de higiene bucal se ignora el valor que le corresponde a los dientes temporales, comúnmente conocidos como de “leche”, que son indispensables para el desarrollo del bebé, ya que, si un diente se pierde a temprana edad, esto conlleva a producir alteraciones de los maxilares y de las funciones bucales.

### 1. Prevención bucodental en el bebé

La Organización Mundial de la Salud, insiste en que “Todas las personas y las comunidades deben recibir los servicios de salud bucal que necesitan sin incurrir en dificultades financieras” [1]. Es responsabilidad de los profesionales de la odontología enseñar y motivar a toda la población para que éstas pongan atención en las rutinas diarias de la prevención dental. Actualmente los padres se encuentran más al pendiente de su bebé no sólo en cuanto a su salud general se refiere, el hecho de que no exista la información y la educación suficientes para el manejo de la prevención de las enfermedades bucales constituye un grave problema [2]. Por lo que la prevención desempeña un papel fundamental y ésta se refiere a la preparación y disposición que se hace anticipadamente para evitar un riesgo o ejecutar algún punto, por lo tanto este artículo pretende proporcionar información suficiente y adecuada para lograr que la higiene bucal forme parte de los hábitos de conducta del individuo, los cuales se proponen evitar lesiones graves en el futuro. La relevancia de la participación de los padres en la prevención bucal es importante para el desarrollo general del bebé, quienes tienen ciertas dudas e inquietudes como: ¿cuándo le van a empezar a nacer los dientes?, ¿al bebé se le tiene que limpiar la boca, aunque no estén presentes los dientes?, ¿cómo se le tienen que limpiar?, entre otras preguntas que les generan cierta ansiedad. A continuación, se presentan algunas preguntas y respuestas más comunes.

### 2. ¿A qué edad aparecen los dientes de mi bebe?

La aparición entre el primer y el último diente varía entre los 6 y 33 meses de edad; los incisivos centrales inferiores son los primeros en aparecer y los segundos molares superiores los últimos. Puede presentarse variación en la erupción dentaria, esto puede deberse a diversos factores propios de cada raza, individuo o sexo [3].

Meses	Órganos dentarios
6	Centrales inferiores
7	
17.5	Centrales superiores
9	
12	Primeros molares inferiores
14	
16	Caninos inferiores
18	
20	Segundos molares inferiores
24	

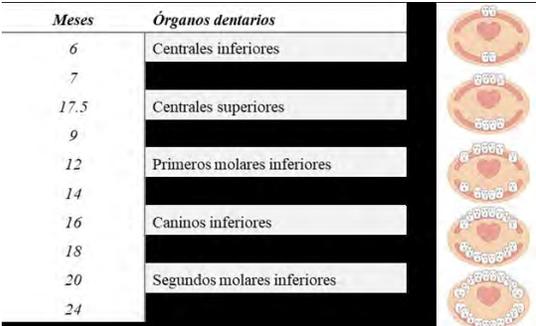


Figura 1: Cronología de la erupción de los dientes temporales.

### 3. ¿Cómo alivio las molestias de la erupción?

Generalmente no existen molestias importantes en los niños, sin embargo, algunos bebés muestran signos de malestar: babear más de lo habitual e inflamación y sensibilidad de la encía que se encuentra alrededor del diente. Todas estas condiciones pueden llegar a generar irritación, por lo que resulta importante estar atentos en su comportamiento, así como también al pendiente de todo lo que se mete a la boca, ya que puede presentarse un proceso infeccioso denominado herpangina producida por varios serotipos del virus Coxsackie A. Presenta un período de incubación de 2-10 días, tras el cual se desarrolla el cuadro clínico caracterizado por la aparición de un enantema periuvular, acompañado a nivel sistémico por fiebre alta, disfagia, cefalea, vómitos y dolor en extremidades. A nivel bucal, la evolución del enantema es hacia vesículas blanco amarillentas localizadas en pilares anteriores amigdalinos, paladar blando y úvula, generalmente respeta la mucosa bucal y faríngea restante. Afecta a niños de 1 a 5 años durante el verano [4]. Por lo tanto, es necesario seguir con las siguientes recomendaciones: lavar constantemente las manos del bebé con agua y jabón, dar masaje en las encías con dedos limpios y con la ayuda de una gasa, pueden emplearse aditamentos especiales como anillos o mordederas sin líquido

interior y usar un paño limpio húmedo y congelado.



Figura 2: Arriba. Aditamentos especiales para erupción dentaria. Abajo. Aditamento (training brush<sup>®</sup> y first brush<sup>®</sup> empleado para el masaje de las encías).

## 4. ¿Mi bebé necesita limpieza dental?

Es importante que las madres sepan que el bebé al estar en fase oral, les agrada el hecho de que se pueda manipular la boca, sin embargo, cuando ya hay presencia del primer diente, el bebé se empieza a tornar renuente a la manipulación bucal [5]. Por lo que es altamente recomendable que empiecen a familiarizarlo con su ritual de higiene bucal desde el primer mes de vida [2]. Y esto tiene sentido ya que tanto la leche materna como sus sustitutos artificiales son cariogénicos y aunque no haya todavía presencia de dientes, es importante remover los restos de leche que quedan en la cavidad bucal, en los que pueden ser empleados gases suaves, cepillos de dientes y dedos especiales para este fin [2, 5].

### 4.1. ¿Cómo utilizo la gasa húmeda?

- Lava tus manos con jabón antibacterial.
- Envuelve en tu dedo índice la gasa humedecida en agua.

- Realiza movimientos suaves y circulares en las encías, el interior de las mejillas, paladar y lengua (figura 3).



Figura 3: Uso de gasa suave en bebés.

### 4.2. ¿Cómo utilizo el dedal?

- Lava tus manos con jabón antibacterial.
- Coloca en tu dedo índice el dedal de silicón humedecido en agua.
- Realiza movimientos suaves y circulares en las encías, el interior de las mejillas, paladar y lengua.
- Después de utilizarlo, lava el dedal con agua hervida antes y después de cada uso.
- Guarda el dedal en su estuche (figura 4).

Preferiblemente de noche, después del último alimento, se recomienda usarlo como máximo tres meses y después cambiarlo por uno nuevo, para evitar infecciones por hongos. Este tipo de aditamento se puede comprar en cualquier tienda de autoservicio, farmacias o específicamente en tiendas exclusivas para bebé. A partir del primer año, se sugiere realizar la higiene bucal con un cepillo dental de cabeza chica. En esta etapa el bebé ya cuenta con la habilidad suficiente para sostener un cepillo. Se deben realizar los cuidados bucales 2 veces al día para mantener una correcta limpieza (figura 5). Los padres deben monitorear y ayudar a su hijo durante el cepillado, hasta que el niño demuestre la habilidad suficiente para hacerlo solo y esto es aproximadamente a los 7 u 8 años. Existen diferentes marcas de cepillo de dientes, sin embargo, lo más importante será siempre que se realice bien la técnica de cepillado, la pasta y enjuague bucal que va a ser diferente dependiendo de la edad del niño o niña, en los más pequeños no es recomendable el uso de enjuague bucal, debido a que pueden tragarlo.



Figura 4: Dedales para limpieza bucal, puede ser de silicón e tela



Figura 5: Uso de uno de los aditamentos (training brush®) y first brush® para fomentar buenos hábitos de higiene.

## 5. ¿Qué sucede si el bebé no tiene higiene oral?

La caries de primera infancia, también conocida como caries de biberón, es una enfermedad infecciosa causada por el consumo excesivo de azúcares y una higiene oral deficiente. Al igual que sucede con la lactancia materna, tampoco es bueno para el bebé quedarse dormido con el biberón en la boca, puesto que aumentan las posibilidades de que aparezca la caries. Por lo tanto, el riesgo de caries es directamente proporcional al tiempo de contacto de la leche con los dientes [6, 7, 8].

### 5.1. ¿Cómo prevenir la caries?

Cuide bien de su propia salud bucal incluso antes de que nazca su bebé. Es importante y recomendado que vea a un estomatólogo para recibir asistencia dental durante su embarazo. Es importante cuidar bien los dientes de su bebé:

Del nacimiento a los 12 meses:



Figura 6: Caries en su fase activa (color ámbar), pérdida de estructura dental por presencia de bacterias y mala higiene.

- Mantener la boca de su bebé limpia lavando las encías con una toallita, año o dedal. Tan pronto como aparezca el primer diente, cepíllelo suavemente usando un cepillo de dientes para bebé.
- La dieta es un factor importante para que no se desarrolle la caries, evitar el consumo de bebidas azucaradas, jugos con néctar, yakult.

De 12 a 36 meses:

- Cepillar los dientes 2 veces al día durante 2 minutos (en la mañana y en la noche).
- Nunca coloque a su bebé en la cama con un biberón o con alimentos.
- Restringir la cantidad de dulces o alimentos pegajosos.

### 5.2. ¿La dieta es importante en la salud bucal del bebé?

La dieta es uno de los factores importantes de hábitos para una buena salud. Algunos estudios han demostrado que existe una relación causal entre la caries y los alimentos blandos y con alto contenido de azúcares, así como el tiempo que permanecen en boca, la frecuencia de su consumo y la falta de higiene bucodental [2]. Por lo que se dan las siguientes recomendaciones:

- No utilizar biberón o chupón como sustituto del pecho.
- No usar chupón o mordederas con líquido interior (miel o sustancias azucaradas).
- Adaptar la consistencia de los alimentos conforme el bebé va creciendo y sus dientes erupcionan [5, 6].



Figura 7: El bebé debe probar distintos sabores y texturas de los diferentes alimentos sanos que puedes darle.

### 5.3. ¿Por qué es importante el flúor para tu bebé?

- Se recomienda que los niños reciban flúor una vez que tengan dientes.
- Es un mineral que ayuda prevenir la caries.
- Fortalece el esmalte de los dientes.
- Protege los dientes al hacerlos más fuertes y resistentes al ácido.
- Ayuda a revertir los signos tempranos de mancha blanca.
- Es rápido, seguro, no provoca dolor y tiene un buen sabor [2, 5, 6].

### 5.4. Recomendaciones

Los niños nacen con la cavidad oral libre de gérmenes productores de caries. Estos se adquieren de su entorno más cercano, casi siempre de las madres (a través del contagio directo por besos, o de vehículos como utensilios de comida) [5]. Por ello debes extremar igualmente tu salud oral.



Figura 8: Se recomienda hacer la primera visita al odontopediatra dentro del primer año de vida, en situación de normalidad, se sugiere realizar revisiones semestrales.

## Referencias

- [1] World Health Organization. *Universal Health Coverage, Fact sheet. Published 2018*, (acceso 7 de mayo 2018).  
[https://www.who.int/gho/publications/world\\_health\\_statistics/2018/en/](https://www.who.int/gho/publications/world_health_statistics/2018/en/).
- [2] Canto, Enna Beatriz Barceló: *Odontología Para Bebés: Estrategia De Prevención*. Editorial Trillas, 2010.
- [3] Lunt, Roger C. y Law, David B.: *A review of the Chronology of eruption of the deciduous teeth*. J. Am. Dent. Assoc, 89:872, 1974.
- [4] A., Bascones Martínez, A., Valero Marugán, Albornoz Sainz A., Carrillo de, A., Encinas Bascones y A., Bascones Martínez: *Afectación oral de las enfermedades comunes en la infancia con carácter exantemático*. Avances en odontoestomatología, 22:163, 2006.
- [5] Figueiredo Walter, Luiz Reynaldo de, Ferelle, Antonio y Issao, Myaki: *Odontología para el bebé: odontopediatria desde el nacimiento hasta los 3 años*. Actualizadas medico odontologicas, 2010.
- [6] Boj, J. R., Catalá, M., García-Ballesta, C. y Mendoza, A.: *Odontopediatria*. Masson, 2004.
- [7] Pinkham, J. R.: *Odontología Pediátrica*. Interamericana-McGraw-Hill, 2001.
- [8] Barbería, E: *Odontopediatria*. Masson, 2001.



**P.E.S.S. Kimberly Paola Velázquez Quiroz.**

Realizó sus estudios de licenciatura en la Facultad de Estomatología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, actualmente se encuentra realizando su pasantía de servicio social en la clínica UMF34.



**L.E. Guadalupe C. Canizalez Reyes.**

Realizó sus estudios de licenciatura en la Facultad de Estomatología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, actualmente es Promotora de Estomatología Preventiva en la clínica UMF34.



**M. en P. Analí Mora Pérez.**

Realizó sus estudios de licenciatura en la Facultad de Estomatología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, posteriormente la Maestría en Estomatología con terminal en Pediatría en la División de Estudios de Posgrado de la BUAP, Especialidad en Ortodoncia en el Centro de Estudios e Investigación en Ortodoncia en ciudad de México y tiene práctica privada.



**D. en C.S. María de los Angeles Moyaho Bernal\*.**

Realizó sus estudios de licenciatura en la Facultad de Estomatología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, posteriormente la Maestría en Estomatología Pediátrica en la División de Estudios de Posgrado, Maestría en Ciencias Médicas e Investigación en la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Medicina en la misma universidad y estudios de Doctorado en Ciencias de la Salud en la Universidad Autónoma del Estado de México.

**Facultad de Estomatología, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**

Calle 31 Poniente #1304., Col. Los Volcanes, C. P. 72410

[\\*moyaho3@gmail.com](mailto:*moyaho3@gmail.com)

# USO POTENCIAL DEL OLOTE DE MAÍZ PARA LA PRODUCCIÓN DE ENZIMAS DE INTERÉS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

Sección Estudiantil

Katya Hernández Lima

## Resumen

En este trabajo se estudió la productividad de xilanasas, proteasas, celulasas y amilasas por un cultivo en estado sólido (SSF). Se utilizó un hongo aislado de la flora microbiana nativa del maíz y el oloote de maíz como sustrato. Uno de los objetivos fue encontrar la temperatura más favorable para la producción de enzimas. Se inició propagando el hongo en un medio de cultivo de agar papa dextrosa. Después se evaluó su conservación en agua destilada y a temperatura ambiente durante 2 meses. No se observaron cambios en las características de crecimiento, como alteraciones en la coloración y forma de crecimiento de micelio.

## 1. Introducción

En México la producción anual del oloote de maíz es de unos 45 millones de toneladas. Hoy en día, el oloote de maíz se utiliza como alimento para ganado o quemado para suministrar energía. La SSF (Fermentación en estado sólido) podría ser una alternativa al uso de la mazorca de maíz, ya que la SSF ha sido considerada como la más barata y respetuosa con el medio ambiente, en relación con la fermentación de líquidos sumergidos (SLF)[1]. El presente trabajo se centró en el estudio en la producción de celulasas, xilanasas, amilasas y proteasas en SSF utilizando oloote de maíz como sustrato y un hongo nativo del mismo sustrato. La materia vegetal es una fuente renovable de materia orgánica que puede ser transformada por métodos químicos (hidrólisis con ácidos y bases) y biológicos (hidrólisis enzimática, cultivo de microorganismos) en productos de interés industrial como biocombustibles, enzimas, químicos orgánicos, azúcares simples, metabolitos secundarios y proteína celular. Dichos productos son generados a partir de la conversión de los polímeros estructurales de la materia vegetal[2]. Los microorganismos son capaces de hidrolizar y oxidar los polímeros estructurales, de la materia vegetal por medio de la secreción de enzimas lignocelulolíticas, constituidas por celulasas, xilanasas y oxidasas. Las enzimas lignocelulolíticas están presentes en un gran número de microorganismos, por ejemplo, las celulasas son secretadas por hongos y bacterias los cuales pueden ser mesófilos, termófilos ó también mesófilos anaeróbios. Para producir celulasas a gran escala se han utilizado principalmente los hongos mesófilos y termófilos por su capacidad de secretar cantidades considerables de enzimas al medio de producción[3]. Las xilanasas están distribuidas ampliamente en una gran variedad de organismos, entre los cuales se encuentran las algas, los crustáceos, los insectos, las plantas, las levaduras, las bacterias y los hongos. De estos, los microorganismos más utilizados a nivel industrial para producir xilanasas son las bacterias, los hongos mesófilos y termófilos[4, 5].

## 2. Aplicaciones de las enzimas lignocelulolíticas

En biotecnología alimentaria, los productos hechos a base de celulasas y xilanasas se han utilizado en la industria de bebidas para extraer y clarificar los jugos de las frutas y los vegetales. En la industria de la extracción son usados para extraer colorantes, aceites y antioxidantes, en repostería son agregadas sobre la masa de panificación para mejorar la consistencia del pan. En la preparación de la cerveza mejoran el proceso del malteado y, en la elaboración de vinos mejoran el proceso de maceración de las uvas permitiendo obtener extractos con mejor color y sabor. En biotecnología ambiental son utilizadas en la industria del papel como alternativa a los compuestos químicos, que contienen cloro para remover la lignina y los xilanos. También, son agregadas sobre las fibras de celulosa para modificar la resistencia de las hojas de papel. En la industria textil las celulasas y xilanasas son usadas en vez de los compuestos químicos para pulir y mejorar los brillantes de las fibras textiles ó para remover los colorantes que están impregnados en exceso sobre las fibras textiles[5]. Para el crecimiento del microorganismo como se muestra en la Figura 1a). Se utilizó un caldo nutritivo (Agar Papa Dextrosa) además se adicionaron fuentes de C y N. Para eliminar la presencia de organismos contaminantes, el medio de cultivo se esterilizo durante 15 min a 120 °C. En la Figura 1b) se muestra la inoculación y propagación del microorganismo esto con micelio que se propago en cajas Petri. En la Ilustración 1a) y 1d) se muestra el sustrato, el cual, fue oloote de maíz. Se suspendió en agua destilada y a continuación, las mezclas se combinaron con agar (14 g/L), se esterilizaron (120 °C, 25 min) y se vertieron en cajas Petri para ser inoculadas. La extracción de enzimas como se muestra en la Figura 1e).

## 3. Metodología Experimental

Para el crecimiento del microorganismo como se muestra en la Figura 1a) se utilizó un caldo nutritivo (Agar Papa Dextrosa)

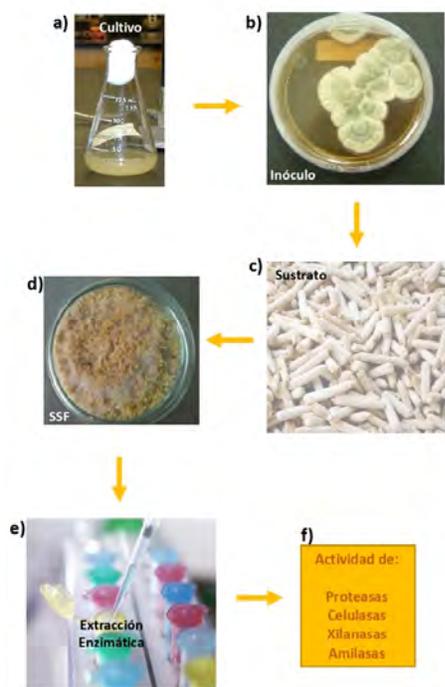


Figura 1: Ensayo enzimático

además se adicionaron fuentes de C y N. Para eliminar la presencia de organismos contaminantes, el medio de cultivo se esterilizó durante 15 min a 120 °C. En la Figura 1b) se muestra la inoculación y propagación del microorganismo esto con micelio que se propaga en cajas Petri. En la Figura 1b) y 1d) se muestra el sustrato el cual fue olote de maíz, se suspendió en agua destilada. A continuación, las mezclas se combinaron con agar (14 g/L), se esterizaron (120 °C, 25 min) y se vertieron en cajas Petri para ser inoculadas. La extracción de enzimas como se muestra en la Figura 1e), se realizó con agua destilada y amortiguador de citratos (50 mM, pH 5). Para hacerlo se tomaron matraces, a los cuales, se les agregó agua destilada o amortiguador de citratos. Para separar las enzimas adsorbidas sobre el olote de maíz, cada matraz se puso en un shaker a 250 rpm. Después, para eliminar el sustrato, el contenido se filtró con papel Whatman y los extractos obtenidos se centrifugaron para sedimentar los sólidos residuales. El sobrenadante se utilizó para determinar la actividad enzimática.

## 4. Resultados y Discusión

En cuanto al método de conservación, el hongo que se utilizó se preservó en agua destilada estéril y se determinó su viabilidad con el objeto de determinar el periodo de conservación que permitiera mantener viable al microorganismo. Tanto las xilanasas, como las proteasas, fueron enzimas principales producidas sobre el olote de maíz en un corto tiempo de fermentación (3 días) y en una menor cantidad de celulasas y amilasas. La producción de enzimas fue similar a la obtenida con otros hongos sobre orujo de

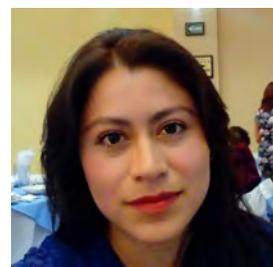
uva, cáscara de arroz o salvado de trigo, pero el tiempo de fermentación fue más corto que el informado. La mayoría de los estudios mencionados utilizaron fuentes adicionales de C y N, sin embargo, en el presente estudio se requirieron.

## 5. Conclusión

El olote de maíz es un sustrato adecuado para la producción de enzimas, además, tiene la ventaja de ser un sustrato disponible todo el año, bajo costo, larga vida útil, alto contenido de polímero de celulosa y almidón de hemicelulosa. Los niveles y la productividad de enzimas lignocelulolíticas se incrementaron drásticamente al modificarse la temperatura de 30 a 40 °C. Este intervalo de temperatura, fue mayor al utilizado por otros hongos mesófilos para producir enzimas lignocelulolíticas.

## Referencias

- [1] Krishna, C.: *Solid state fermentation systems: an overview*. Critical Reviews in Biotechnology, 25:1, 2005.
- [2] Howard, R.L., Abotsi, E., Rensburg, E.L. Jansen van y Howard, S.: *Lignocellulose biotechnology: issues of bioconversion and enzyme production*. African Journal Biotechnology, 2:602, 2003.
- [3] Ovando-Chacon, S.L. y Waliszewski, K.N.: *Preparaciones de celulasas comerciales y aplicaciones en procesos extractivos*. Universidad y Ciencia, 21:111, 2005.
- [4] Beg, Q.K., Kapoor, M., Mahajan, L. y Hoondal, G. S.: *Microbial xylanases and their industrial applications: review*. Appl. Microbiol Biotechnol, 56:326, 2001.
- [5] Polizeli, MLTM, Rizzatti, ACS, Monti, R, Terenzi, HF, Jorge, JA y Amorim, DS.



**Katya Hernández Lima**

Egresada de la Ingeniería en Biotecnología de la Universidad Politécnica de Tlaxcala. Cuenta con experiencia laboral en la industria farmacéutica y textil. Ha participado en diversos congresos internacionales.

[katyalima@outlook.com](mailto:katyalima@outlook.com)

### **El estrés. Qué es y cómo evitarlo (reseña crítica)**

Alberto Orlandini se tituló en la facultad de medicina de la Universidad de Buenos Aires, Argentina. Tiempo después le fue concedido el nivel de especialista de primer grado en psiquiatría en el Hospital Universitario de Saturnino Lora; Santiago, Cuba. Más tarde dirigió este mismo hospital. Miembro titular de la Sociedad Cubana de Psiquiatría; en Argentina, forma parte del comité de redacción de la revista *Acta psiquiátrica y psicológica de América Latina*, colaborador de la *Enciclopedia de Psicología y Psiquiatría*. Ha publicado numerosos ensayos en diversas revistas internacionales. Gracias a su experiencia profesional antes mencionada, se presenta Orlandini, Alberto (1999) *El estrés. Qué es y cómo evitarlo*. 200 pp. Fondo de Cultura Económica, México. *Leamos la Ciencia para todos*, No. 172[1]; un libro de divulgación científica con el respaldo antes mencionado, maneja un tema relevante y de interés común en los últimos años de la sociedad contemporánea y de nuevas o futuras generaciones, prueba de ello es la difusión del problema en los diversos medios de comunicación como la televisión, la radio, el periódico, la revista, entre otros. También lo vivimos en la vida diaria, en carne propia o ajena. Orlandini, maneja en esta obra al estrés con diversos puntos de vista tales como la medicina, la psicología, la sociología, la biología, entre otros, con el fin de comunicar e informar a todo aquel que lee el libro sobre la importancia del estrés justificando a este estímulo biológico con funciones benéficas y nocivas que se aplican en la vida cotidiana, usando estadísticas con la ayuda de encuestas, esquemas e imágenes. Este autor no solo exhibe el problema, también plantea, entre otros datos de igual validez, soluciones para evadir su exceso, se habla de una exuberancia porque “el buen estrés es necesario para la salud y el crecimiento de la personalidad. Cada sujeto requiere cierto nivel de estrés que le provoque un sentimiento de bienestar” Orlandini (1999) P.27. El estrés, ya antes mencionado, tiene un origen biológico, que todos o por lo menos la mayoría de las personas lo conoce con secuelas negativas en los diferentes contextos o ámbitos sociales en el que se desenvuelve el ser humano. Pero este libro no solamente transmite lo negativo, sino también lo positivo, del mismo modo trata diversas áreas de estudio y de conocimiento con distintas investigaciones que demuestran ciertos efectos y “de acuerdo con estadísticas, las situaciones de estrés individual o colectivo ocasionan a países y empresas grandes pérdidas por defectos en la calidad y cantidad de productos y servicios”. (Orlandini, 1999. P.13). Hace un buen manejo científico de los componentes del estrés, como su sistema, sus elementos, los agentes estresores, la reacción del cuerpo, los mecanismos de defensa, los síntomas,

las manifestaciones en la personalidad, los tipos de estrés, entre otros considerables, que son de diferentes características con varios aspectos importantes que hay que reflexionar en la vida humana y que se hallan día con día. Orlandini también hace un excelente trabajo al identificar en que otras etapas de la vida, aparte de la adulta, se llegan a encontrar problemas por estrés, por ejemplo: la adolescencia, en la cual se vive una gran cantidad de estrés por diversas situaciones y experiencias que se oponen en gran parte de la semana o del día, la mayor parte del estrés en los jóvenes se da en el ámbito escolar. Al ver este dato de consideración valiosa y de reflexión hacia los jóvenes, Orlandini no ignora el tema y escribe en el libro apartados para guiarlos a un camino distinto, dándoles a entender que ciertas circunstancias son agentes estresores nocivos para su salud psicológica, física y social. “En 48 adolescentes que habían realizado intentos de suicidio. El 35 % alojó conflictos amorosos, el 10 % problemas escolares, el 37.5 % mala relación con sus padres y el 12.5 % con sus hermanos”. (Orlandini, 1999. P.16). Es fundamental conocer algunas características para enfrentar esta enfermedad biológica frecuente del siglo XXI con un aumento constante en la vida cotidiana, ejemplo de ello es afrontarla con experiencias previas las cuales ayudan a resolver problemas de manera rápida, eficiente y fácil, una autoestima perfecta y sentimientos positivos, son los principales mecanismos de defensa contra el estrés en los que la sociedad puede valerse de un modo accesible para una buena calidad de vida y un bienestar tanto personal como moral. Cabe mencionar que la autoestima y los sentimientos son elementos importantes, que día con día cambian, es decir, no son estables. Pero para el estrés, se tiene que ser neutro, aceptar en lo que se es virtuoso y extremista, los errores y los logros alcanzados, también las habilidades y las debilidades, tomar en cuenta que se tiene que ser reflexivo y considerar la auténtica razón. De no ser así, y tener problemas en estos mecanismos de protección, se corre el riesgo de que el estrés invada y tome control de la vida de cualquier individuo. Es menester citar un ámbito en el cual se extiende la gran parte de la urbe mexicana, un contexto general futurista y muy usual, pero significativo hoy en día a pesar de las dificultades actuales que ha padecido, es el ámbito social escolar y el estrés que se alcanza en las instituciones donde el alumnado permanece ocupado la suma parte de la jornada. Se puede expresar con exactitud y de carácter contundente que el estudiante efectivamente sufre de estrés, como lo indica este libro los principales agentes estresores que incitan a este estímulo son: la demasía de alumnado, la escasa manejabilidad y los defectos de atención en torno a los alumnos, las exorbitantes normas y prohibiciones, política autoritaria y absorbente así como una escasa participación de los alumnos. Supremamente con el célebre “exceso de tareas” tanto en el

colegio como en el hogar. El estrés, con las características ya antes mencionadas, lo podemos localizar en todo instante y a cualquier edad, refiriéndose que el estímulo empieza a incitarse desde que se es un infante, uno de los agentes estresores en la infancia son el abuso, las sanciones, la falta de amor de los padres hacia los hijos, la exigencia y entre otros conflictos intrafamiliares. En la adolescencia predomina el estrés escolar, los problemas de autoestimas o depresión, conflictos familiares y malas influencias; en la adultez el estrés laboral, económico y familiar. De no ser controlado se puede llegar a situaciones graves como el suicidio y enfermedades de tipo crónico. Finalmente... ¿Cómo debemos actuar ante un problema que es usualmente biológico y que es imposible contrarrestar por completo? ¿Cómo si la sociedad y los contextos de desarrollo estimulan al estrés? El camino práctico, recomendado y fácil es “por medio de la psicoterapia, los métodos de relajación, los medicamentos, y otros procedimientos, puede lograrse el alivio o la supresión del síntoma”. (Orlandini, 1999. P.170). Pero como todo, está el bien y el mal, y Orlandini reconoce sin problemas esa situación en los métodos y tratamientos para la lucha contra el estrés, mencionando en su libro la utilización de drogas para su enfrentamiento, que no son eficientes para contrarrestar los síntomas, las cuales provocan que el sujeto sea dependiente de la sustancia tóxica permitiendo que esta controle emociones displacenteras y posteriormente el control total de la vida de la persona. Y aunque sean comunes este tipo de tratamientos y alivian algunos malestares, los componentes tóxicos agravan las enfermedades, por ejemplo: “la nicotina del tabaco suprime la ansiedad por un mecanismo diferente al de los tranquilizantes [...], pero puede facilitar la úlcera péptica, la isquemia coronaria y la hipertensión arterial. Aunque el café y las anfetaminas antagonizan la fatiga, finalmente complican [...] la ansiedad, la anorexia y la privación del sueño” (Orlandini, 1999. P.123). Así que para remediar o regular este tipo de tratamientos, Orlandini expone medidas y terapias para combatir al estrés de una manera benéfica para la salud. Algunas de ellas son las terapias de red, el tratamiento de las instituciones, las intervenciones sociales sobre el paciente, cuando un trabajo está trabado, haga una pausa, descanse o realice otra tarea, ver las tareas como desafíos, no aceptar tareas de más, revisar mecanismos de enfrentamiento, desahogo con confidentes, verlo con humor, ser algo egoísta, ganarse el amor de los demás, no tener odio y rencor, divertirse y recrearse, no privarse del sueño, aceptar que se pierde, entre otras más. Para concluir este tema muy extenso que Orlandini pudo expresar y manejar de una manera adecuada y fácil los diversos puntos que se requieren para conocer y tratar el estrés, desde un punto social y científico; es importante conocer el libro a fondo ya que puede ayudar en los diferentes problemas que se puedan presentar en ciertas situaciones a largo, mediano o corto plazo de la vida humana, que van desde conflictos personales y de todo aquello que se tiene cerca, como la sociedad que envuelve a cada individuo. Se puede mencionar que el autor, al tratar un tema científico, usa un vocabulario extenso y técnico del propio tema, dificultando un poco el entendimiento de lo que se expresa en algunas secciones o apartados del libro, para



Figura 1: Libro "El estrés. Qué es y cómo evitarlo" de Alberto Orlandini [1].

remediar este problema el autor incluye diagramas e imágenes que facilitan su entendimiento, se recomienda la tolerancia y el uso de los medios necesarios para la comprensión y un mejor razonamiento del lenguaje utilizado. Esto no es del todo malo, ya que enriquece el conocimiento y vocabulario de todo aquel que lee el libro. Es importante saber que hoy en día persiste y como se señala, aumenta cada vez más, poniendo en peligro la vida de cada uno de los individuos expuestos a esta enfermedad creciente actualmente y, como se sabe, se encuentra en el entorno cotidiano, tal ejemplo son los intentos de suicidio y enfermedades que deterioran al cuerpo en plazos de vida cortos, que tiene como consecuencia una mala calidad de vida. Saber aplicar los tratamientos y conocer cómo actúa nuestro cuerpo ante este tipo de circunstancias, es de gran utilidad para tener consciencia del problema y saber que es lo que se puede hacer para solucionarlo. Se invita a todos los estudiantes de nivel medio superior a leer esta obra incomparable que tiene como fin el bienestar de todas las personas que pueden o padecen esta enfermedad, principalmente para que se esté prevenido, preparado e informado ante las situaciones de estrés que se viven de forma consciente o inconscientemente día con día. Y no solamente leer, también recomendar, aplicar y difundir lo aprendido en esta obra que escribe el maestro Orlandini, quien demuestra su saber con gran demasía acerca de este campo de la investigación.

## Referencias

- [1] Orlardini, Alberto: *El estrés. Qué es y cómo evitarlo*. Fondo de Cultura Económica, 1999.



**Carlos Alberto Espinosa Pérez**

Egresado de la preparatoria Benito Juárez García de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, participo en proyectos de investigación como “Verano de Talentos” y en trabajos de divulgación científica. Obtuvo tercer lugar nacional en “Leamos la Ciencia para todos”. Estudiante de la carrera de Ingeniería Mecatrónica en la Facultad de Ciencias de la Electrónica.

**Facultad de Ciencias de la Electrónica,  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**  
Av. San Claudio y Blvd. 18 Sur, Col. San Manuel, Ciudad  
Universitaria, Puebla, Pue., C.P. 72570  
[charlsy912@gmail.com](mailto:charlsy912@gmail.com)

**DS**  
SEMICONDUCTORES

EL PROGRAMA DE MAESTRÍA EN DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES CONVOCA A LOS INTERESADOS A INGRESAR A LA MAESTRÍA EN DISPOSITIVOS

**MAESTRÍA EN DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES**

Admisión 2019

**BUAP.**

**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**  
Facultad de Ciencias Físico Matemáticas **FCFM**

**OFERTA EDUCATIVA**

**Licenciaturas en:**  
Actuaría  
Física  
Física Aplicada  
Matemáticas  
Matemáticas Aplicadas

**Posgrados en:**  
Maestría en Ciencias Física Aplicada (PNPC – Nivel Internacional)  
Doctorado en Ciencias Física Aplicada (PNPC – Consolidado)  
Maestría en Ciencias Matemáticas (PNPC – Nivel Internacional)  
Doctorado en Ciencias Matemáticas (PNPC – Consolidado)  
Maestría en Educación Matemática (PNPC)

Más información en <https://www.fcfm.buap.mx>

**Energy Storage Discussions**  
Mexico City, Mexico, 15 - 16 October 2019

"Energy Storage Discussions" is a forum of analysis of different aspects of energy storage, born in 2014. In the era of renewable energies and mobile electronics, the need of better energy storage devices is every time more evident. The areas of materials science, electrochemistry, power electronics and control systems, and combined areas like nanotechnology are all merged when discussing about energy storage. The 2014, 2016 and 2017 editions of the conference have been very successful. This conference is the flagship event of the CONACyT Energy Storage Network.

The meeting will include Keynote Lectures from renowned speakers, Invited Lectures and contributions in either oral or poster format considering the following topics of interest

For information on registration and payment procedures, send an email to: [red.almacenamiento.mx@gmail.com](mailto:red.almacenamiento.mx@gmail.com)

**Important dates:**

- \* Abstract submission deadline: September 2, 2019
- \* Acceptance confirmation: September 9, 2019
- \* Early registration deadline: September 13, 2019
- \* Final program Publication: September 27, 2019
- \* Event starts: October 15, 2019

<http://www.ifuap.buap.mx/energysd2019/>

# LA PARTICIPACIÓN DE MÉXICO EN EL TELESCOPIO DEL HORIZONTE DE EVENTOS (EHT)

Sección Ilustrada

David M. Gale

El 10 de abril de 2019 será recordado en la historia de la ciencia por la revelación, con gran algarabía, de la primera imagen de la sombra de un agujero negro, ubicado en la galaxia Messier 87 de la constelación Virgo. La imagen es sólo el primer resultado de dos campañas de observaciones astronómicas realizadas durante las noches de abril en 2017 y 2018, las cuales se destacan por el hito de sincronizar 8 telescopios de la banda milimétrica distribuidos sobre cuatro continentes. La participación de México con el Gran Telescopio Milimétrico Alfonso Serrano reserva para el país un lugar importante en este destacado logro científico.

La idea de formar la imagen de un agujero negro (o mejor dicho, captar su sombra) tomó forma en 2009 con la propuesta del Telescopio del Horizonte de Eventos, o EHT, un telescopio virtual con un tamaño determinado por la distancia entre cada telescopio participante. La resolución angular de un arreglo de telescopios trabajando en conjunto está dada por la relación entre la longitud de onda de la radiación observada, y la separación máxima entre antenas. Por fortuna, un telescopio virtual del “tamaño de la tierra” (figura 1), observando con una longitud de onda de 1.3 milímetros, apenas puede alcanzar suficiente resolución para captar la forma de la sombra asociada con M87 (el “apenas” es la razón por la cual la famosa imagen se ve algo borrosa). Para el EHT, la resolución es de 0.000025 segundos de arco - el equivalente a leer las graduaciones de milímetros sobre una regla ubicada en Madrid... ¡desde la Ciudad de México!

Ahora bien, si la teoría dice que la observación es posible; ¿qué se requiere para hacerla realidad? Para empezar necesitamos telescopios diseñados para observar en la banda milimétrica del espectro, alrededor de 300 GHz de frecuencia. La unificación de telescopios individuales para operar como un sólo instrumento hace uso de la técnica de interferometría de muy larga base (VLBI). La radiación de un objeto celeste llega a cada telescopio en momentos ligeramente distintos, pero con un reloj atómico en cada telescopio podemos sincronizar las señales recibidas, y posteriormente buscar las “franjas” de interferencia que deben aparecer cuando se suman las señales de cada par de telescopios. Estas franjas indican que estamos observando el mismo objeto en la misma fracción de tiempo, es decir el equivalente a usar un sólo telescopio gigante.

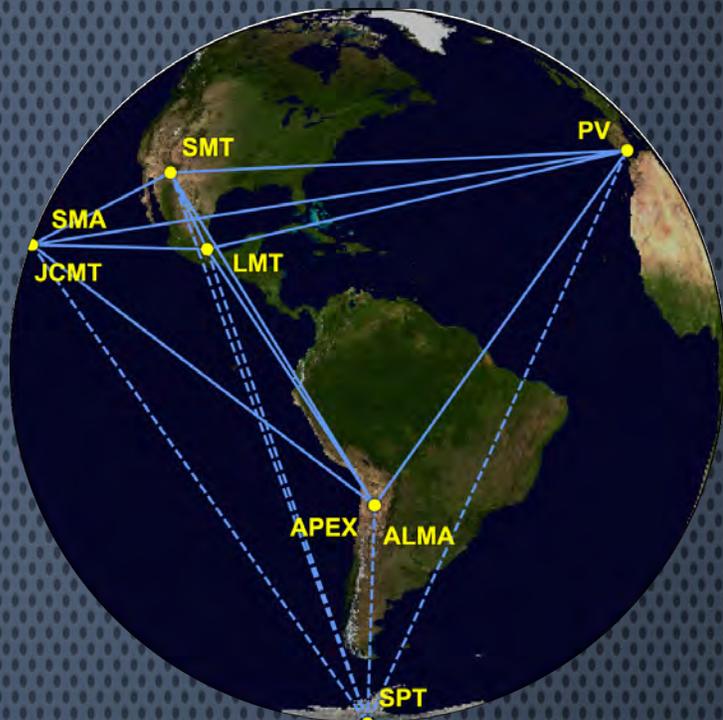
Las primeras pruebas abriendo el camino para el EHT se realizaron en 2007 con cuatro radiotelescopios de los Estados Unidos. El proyecto tomó forma durante los siguientes años, con el objetivo de incorporar los radiotelescopios más importantes en el mundo. El GTM fue invitado a participar en 2014; su ubicación geográfica y el tamaño del reflector

principal son factores de gran relevancia para el EHT. Su posición céntrica en la red facilita la correlación entre señales de los telescopios de ambos hemisferios. Adicionalmente, por ser la antena de mayor tamaño en el arreglo, su participación contribuye de manera importante a la sensibilidad del telescopio virtual. Poco a poco se instalaron los equipos - el reloj atómico (un máser de hidrógeno), un detector interino para observar a 1.3 mm, y los discos duros para almacenar las grandes cantidades de datos acumulados. Durante algunas noches de marzo del 2015, seis telescopios participaron en pruebas de observación, y se detectaron las importantes franjas por primera vez entre el GTM y el telescopio JCMT en Hawaii, que se encuentran separados por más de 6,000 km. Este fue un momento asombroso; no sólo fue una demostración de la viabilidad de un EHT Global, sino la validación a nivel internacional de que el Gran Telescopio Milimétrico estaba proporcionando imágenes de la más alta calidad, aun con un reflector principal de 32 metros de diámetro en esas fechas.

Las pruebas continuaron en la primavera del 2016, dejando todo listo para la primera campaña de observaciones hacia M87 y Sagittarius A\* en abril del 2017. El personal del GTM preparó la antena y realizó un chequeo exhaustivo de los sistemas críticos del EHT, ya que una falla durante las observaciones puede quedar escondida hasta el análisis de los datos muchos meses después. Gracias a que el clima fue favorable en cada sitio se lograron 4 noches de observaciones, llenando 128 discos duros con 350 TB de información para cada telescopio. Durante las semanas y meses posteriores, estos discos fueron enviados a los centros de análisis en el Instituto Max Planck en Alemania y el observatorio MIT-Haystack en los Estados Unidos, para iniciar la compleja tarea de extraer las imágenes - tan compleja que aún sigue la reducción de los datos para Sagittarius A\*.

La imagen revelada el pasado 10 de abril es el resultado de décadas de trabajo, de los ingenieros y técnicos quienes construyeron y mantienen nuestro telescopio, los investigadores y estudiantes a cargo de las simulaciones, observaciones, y procesado de datos, y las muchas personas y empresas de apoyo. Para 2018 el EHT volvió a observar los mismos objetos, pero con mejoras a la red de antenas, incluyendo un nuevo detector para el GTM y su reflector principal ampliado a 50 metros por primera vez (figura 2), lo cual proporciona un aumento importante en la sensibilidad del arreglo. Estaremos listos para la próxima estación de observaciones del EHT en la primavera del 2020.

El EHT está en su infancia todavía, pero demuestra que los grandes logros de la ciencia requieren visión, planeación, y compromiso a largo plazo. La participación de México en proyectos como el EHT fortalece el interés en la ciencia y tecnología como actividad de valor social y económico, y deja a la vista el gran talento en el país. Los mega y pequeños proyectos de la ciencia básica son una inspiración para generaciones de jóvenes y la semilla de la prosperidad para el mañana; está en nuestras manos darles el uso y valor adecuado.



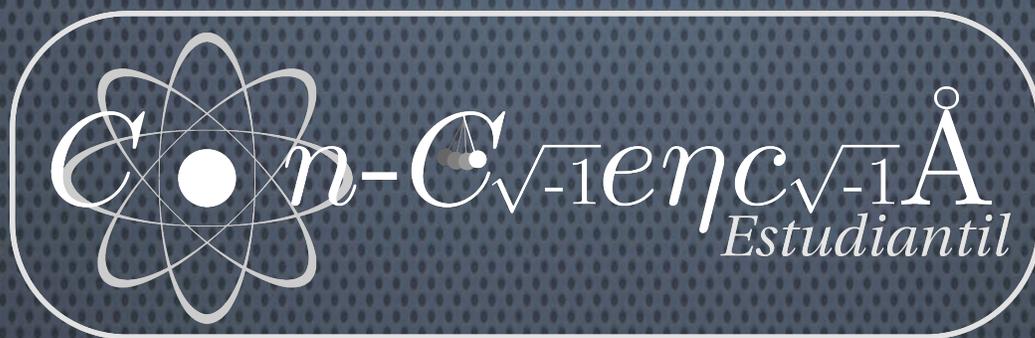
**Dr. David Michael Gale**

Originario de Gran Bretaña, estudió Física en Birmingham, Inglaterra, y el posgrado en Óptica en el Imperial College of Science and Technology, Londres. Trabaja en el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica desde 1994, originalmente como Investigador Titular. Ha apoyado el Gran Telescopio Milimétrico desde 1995, pero fue asignado al proyecto de tiempo completo en 2011 con responsabilidad para la instalación, alineación y mantenimiento de su óptica. Actualmente es Ingeniero Titular del INAOE, con alrededor de 20 artículos de ingeniería y desarrollo tecnológico, la mayoría en los proceedings del SPIE Astronomical Telescopes and Instrumentation. Es co-autor de los dos primeros artículos del EHT sobre el imagen del M87

**Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE)  
Gran Telescopio Milimétrico - Alfonso Serrano (GTM/LMT)**

[dgale@inaoep.mx](mailto:dgale@inaoep.mx)





**El comité editorial recibe tus propuestas:**

**Artículos de Divulgación Científica**

**Reseñas**

**Semblanzas**

**Ilustraciones**

**Fotonota**

**Infografía**

**Crónicas Científicas**

**[conciencia.buap@gmail.com](mailto:conciencia.buap@gmail.com)**