



Luz de Sincrotrón

DIRECTORIO

Rector

Dr. Alfonso Esparza Ortíz

Director del Instituto de Física “Luis Rivera Terrazas” (IFUAP)

Dra. María Eugenia Mendoza Álvarez

Director del Instituto de Ciencias (ICUAP)

Dr. Jesús Francisco López Olguín

Director 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. Claudia Teresa Martínez Martínez
claudiam@ifuap.buap.mx

Fís. José Andrés Núñez Ávila
janunez@ifuap.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 cuarto número ha sido posible gracias al apoyo de:

IFUAP - ICUAP/CIDS - FCFM

Programa de Fortalecimiento de Calidad
Educativa
(PFCE-2018/2019) 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

Sabemos que la divulgación científica no es una tarea simple, así que con gran entusiasmo les presentamos la cuarta edición de la revista *Con-Ciencia Estudiantil*.

Hay muchos investigadores doctos en sus áreas, pero pocos divulgadores científicos. No siempre es fácil explicar de forma clara y sencilla los conocimientos, por eso, 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 1 - Primavera 2019.
Tiraje de 100 ejemplares impresos

■ Presentación. Comité Editorial	2
■ Portada: Una brillante luz. José Núñez Ávila	3
■ Estudiantil: La Ecuación de Dirac. Pedro F. Ocaña García	5
■ Actualidad: Diseño y construcción de un robot móvil síncrono. Marco A. Filio García, Rafael F. González Zárate e Hiram N. García Lozano	7
■ Estudiantil: El papel del análisis térmico en el área de alimentos. Oswaldo Zamora Morales y María P. Amador Ramírez	12
■ Hablando de: Sobre el problema de gravedad cuántica. Ricardo Rosas Rodríguez	16
■ Local: Entrevista al Dr. Alberto Escalante Hernández.	20
■ Estudiantil: Sacrificios humanos al Dios Sol. Alfredo Romero Contreras	23
■ Hablando de: La cicloide, la curva del ritmo perfecto. Eréndira Munguía Villanueva	25
■ Estudiantil: Una mirada distinta al campo magnético. Olivo Rojas Hernández	33
■ Opinión: La Big Science en Latinoamérica ¿Cómo hacer Ciencia en el Tercer Mundo? Rafael A. Gutiérrez Guerrero	35
■ Ilustrada: Noche de las estrellas 2018. Felipe Pacheco Vázquez	38

PRESENTACIÓN

Les damos la bienvenida al cuarto 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* tuvimos la oportunidad de contar con la participación de autores de diversas universidades del país. Además, 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.
- **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.

Comité editorial

Comprender el universo y todo lo que hay dentro de él no es una tarea fácil, sobre todo cuando se estudian las posibles aplicaciones de ese conocimiento para el beneficio común de todos los seres. Una herramienta muy potente para tal estudio es la radiación de sincrotrón la cual permite adentrarse al mundo de la física, la biología, la química, la ingeniería, las ciencias médicas e incluso al patrimonio cultural. La producción y manipulación de la radiación de sincrotrón requiere de conocimientos en ciencia de materiales, ingeniería, óptica, física relativista, mecánica cuántica, física y química de la materia condensada, entre otros.

La radiación de sincrotrón es la radiación electromagnética emitida por electrones que se desplazan a velocidades relativistas a lo largo de una trayectoria curva. Esta radiación electromagnética cubre el amplio rango desde el infrarrojo lejano hasta los rayos X duros e incluso los rayos gamma; resultando ser la mejor fuente para el rango del ultravioleta y los rayos X suaves[2]. Los fotones en este rango de energía son del orden de los enlaces de los electrones en las capas internas y en las capas de valencia en los sólidos y moléculas, tal como lo muestra la figura 1.

La producción de los fotones comienza con la aceleración de los electrones; por ejemplo, un trozo de aluminato de bario de un centímetro cúbico de volumen, mediante un proceso termiónico, se comporta como un cátodo y pone a disposición electrones en la superficie del mismo que pueden desprenderse utilizando un potencial el cual pone los electrones en movimiento y los acelera con la ayuda de cavidades de microondas en un acelerador lineal. Luego de la aceleración inicial los electrones entran en un anillo que los propulsa a velocidades relativistas para luego ser inyectados a un anillo de almacenamiento en el cual circulan por horas. Los electrones desean mantener una trayectoria en línea recta y, mediante potentes imanes, se debe ajustar al movimiento circular. La luz de sincrotrón se produce cuando los electrones cambian de dirección alrededor del anillo, esto sucede cuando se manipulan mediante imanes de doblado o cuando pasan a través de dispositivos de inserción. En los puntos donde los electrones cambian de dirección, emiten un abanico de radiación. Esta radiación se bifurca del anillo de almacenamiento e ingresa a las estaciones de trabajo. Aquí se refina con dispositivos como los monocromadores y espejos lista para ser utilizada.

La imagen de portada de esta edición de la revista Con-Ciencia Estudiantil es una fotografía de la cámara de experimentos de la estación de trabajo HR-RIXS de la línea 8.0.1 del Advanced Light Source (ALS) en el Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) ubicado en Berkeley, California. El Dr. Paul Olalde Velasco dirige la tesis de maestría de Ciencias en la especialidad de Ciencias de

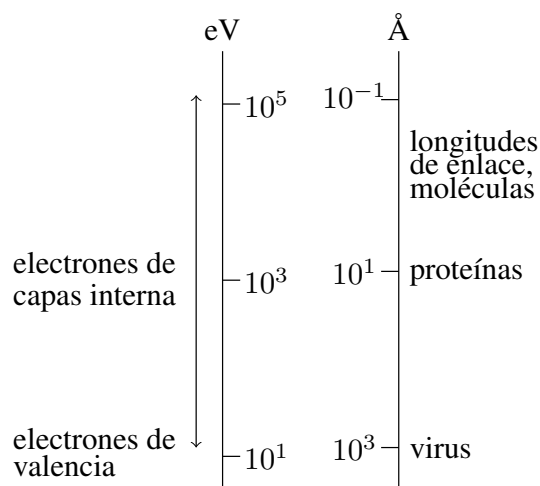


Figura 1: Importancia de la radiación de rayos X suaves y rayos X duros. Las regiones que cubre están dentro de parámetros de interés tal como lo muestra la figura.

Materiales (IFUAP) de su servidor la cual es el estudio de ferritas nanoestructuradas de cobalto y níquel utilizando los espectros de absorción de rayos X obtenidos a partir de interacción de las muestras y del haz de fotones producido en el sincrotrón. La línea 8.0.1 utiliza las técnicas de absorción de rayos X (XAS), emisión de rayos X (XES) y fluorescencia de rayos X (XFS) y además dispersión de rayos X inelástica resonante (RIXS) para realizar investigación en las áreas de ciencias aplicadas, químicas, el área energética, ciencias de la tierra y del medio ambiente y ciencia de materiales.

El uso de la radiación sincrotrón parece ser tan fantástico que se antoja tener un sincrotrón en la BUAP; sin embargo, no es tan sencillo. El costo de construcción y mantenimiento es elevado y las instalaciones requeridas enormes. Un ejemplo es el presupuesto anual del ALS el cual asciende hasta los 65 millones de dólares con un costo de 99.5 millones de dólares para la construcción[3]. Actualmente los usuarios locales de luz sincrotrón deben emigrar hacia los más de 50 sincrotrones que se encuentran en funcionamiento alrededor del mundo, la construcción de un sincrotrón genera progresos enormes para el país y regresa la inversión inicial con creces. México tiene planes de unirse a esta fuente de luz con la construcción de un 'Sincrotrón Mexicano' en el estado de Hidalgo[4]. Sin duda alguna es una excelente noticia que llena de expectación a la comunidad que ha trabajado por años para que se haga realidad obtener una herramienta tan potente al alcance de las manos.

Dejo en las manos del lector interesado en el tema el enlace: lightsources.org donde se puede encontrar una visión general de todas las fuentes de radiación de sincrotrón.



José Núñez Ávila

Egresado de la licenciatura en física de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras y pasante de la maestría en ciencias con la especialidad en ciencia de materiales en el IFUAP.

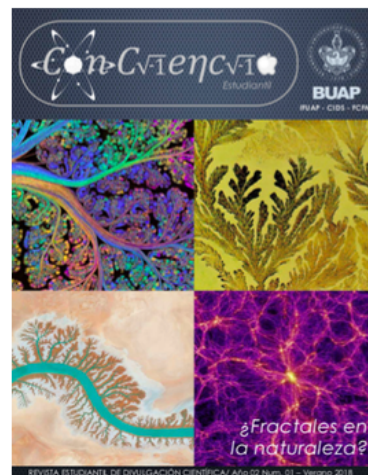
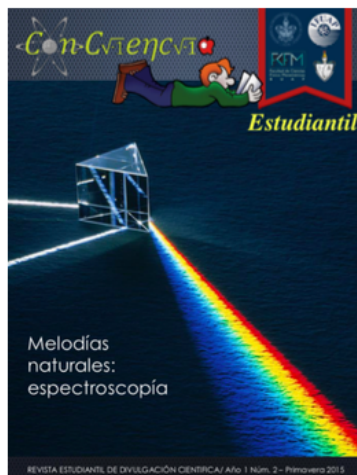
Instituto de Física “Ing. Luis Rivera Terrazas”, BUAP
Av. San Claudio y Blvd. 18 Sur, Col. San Manuel, Ciudad Universitaria, Puebla, Pue. C.P. 72570.
josenunezfs@ifuap.buap.mx

Referencias

- [1] Jaeschke, E.J., Khan, S., Schneider, J.R. y Hastings, J.B.: *Synchrotron Light Sources and Free-Electron Lasers: Accelerator Physics, Instrumentation and Science Applications*. Synchrotron Light Sources and Free-Electron Lasers. Springer International Publishing, 2016.
- [2] Margaritondo, Giorgio: *Introduction to synchrotron radiation*. Oxford University Press, 1988.
- [3] Advanced Light Source: *About the ALS*, Agosto 2018. <https://als.lbl.gov/about/about-the-als/>, [En línea; visitado 14/Enero/2019].
- [4] Álvarez, Claudia Juárez: *Impulso al primer sincrotrón mexicano: George Smoot, Premio Nobel de Física 2006*, Diciembre 2018. <http://ciencia.unam.mx/leer/818/impulso-al-primer-sincroton-mexicano>, [En línea; visitado 14/Enero/2019].

Los invitamos a leer nuestros números anteriores:

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



Resumen

Son pocas las ecuaciones que consiguen reunir todo un abanico de virtudes tal como lo hace la ecuación de Dirac, es por eso que es una de las construcciones teóricas más importantes del siglo XX. En este trabajo se pretende mostrar, a través de una deducción simple, los aspectos más importantes de esta ecuación.

1. Introducción.

En 1925 Schrödinger desarrolla la formulación ondulatoria de la mecánica cuántica partiendo de la descripción clásica de la energía y convirtiendo sus magnitudes en operadores cuánticos[1]. Esta ecuación probó ser exitosa para describir las propiedades atómicas, sin embargo, ya en esta época se sabía que a altas velocidades la descripción clásica de la energía de la que partió Schrödinger no era correcta. Esta fue la gran contribución de Paul Dirac, convertir la ecuación de Schrödinger en una ecuación cuántica relativista[2]. Además de la simplicidad y belleza de sus trazos, entre las bondades de esta ecuación podemos encontrar la predicción de la antimateria, el origen del espín de las partículas elementales y la descripción del entrelazamiento cuántico.

2. De Schrödinger a Dirac.

Para empezar, consideremos el siguiente problema matemático: Encontrar a y b para que se cumpla

$$\sqrt{x^2 + y^2} = ax + by. \quad (1)$$

Para resolver este problema, intuitivamente optaríamos por “elevar al cuadrado ambos lados de la ecuación”,

$$x^2 + y^2 = (ax + by)^2 = a^2x^2 + b^2y^2 + 2abxy. \quad (2)$$

Esto implica que

$$a^2 = 1, \quad b^2 = 1, \quad ab = 0. \quad (3)$$

Es fácil ver que no existe solución para estas condiciones. La genialidad de Dirac consistió en suponer que

$$ab \neq ba, \quad (4)$$

con esto, las condiciones para resolver el problema se convierten en

$$a^2 = 1, \quad b^2 = 1, \quad ab + ba = 0. \quad (5)$$

Después de varios intentos y gracias a su formación matemática, Dirac encontró una solución usando matrices de 4×4 . Las soluciones fueron

$$a = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \quad b = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

Veamos ahora el problema físico al que se enfrentó Dirac. La expresión para la energía E de una partícula libre de masa m moviéndose a una velocidad relativista es

$$E = \sqrt{(pc)^2 + (mc^2)^2} \quad (7)$$

donde p es el momento o ímpetu de la partícula y c es la velocidad de la luz. En el proceso de cuantización se asignan a las magnitudes E y p operadores \hat{E} y \hat{p} que actúan sobre el espacio de estados denotados por ψ . De ese modo, la versión cuántica de esta ecuación es

$$\hat{E}\psi = \sqrt{(\hat{p}c)^2 + (mc^2)^2}\psi \quad (8)$$

Esta ecuación presenta un problema y es que no tiene sentido que el operador \hat{p} se encuentre dentro de la raíz. Para resolver esto usaremos el resultado anterior con el que obtenemos la siguiente expresión

$$\hat{E}\psi = (a\hat{p}c + bmc^2)\psi \quad (9)$$

Esta es una de las formas de expresar la ecuación de Dirac.

Prosigamos ahora a encontrar sus soluciones las cuales revelarán sus increíbles propiedades. Para hacerlo, trabajaremos en lo que en física se denomina “espacio de momentos”. En este espacio los operadores \hat{E} y \hat{p} se representan únicamente por sus valores. Sustituyendo las matrices a y b obtenemos

$$E\psi = \begin{pmatrix} mc^2 & 0 & 0 & pc \\ 0 & mc^2 & pc & 0 \\ 0 & pc & -mc^2 & 0 \\ pc & 0 & 0 & -mc^2 \end{pmatrix} \psi \quad (10)$$

Así, encontrar las soluciones de la ecuación de Dirac no es más que un problema de valores y vectores propios. Las soluciones son

$$E_1 = \sqrt{(pc)^2 + (mc^2)^2} \quad (11)$$

para los vectores

$$\psi_1 = \alpha \begin{pmatrix} 0 \\ \sqrt{(pc)^2 + (mc^2)^2} + mc^2 \\ pc \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (12)$$

$$\psi_2 = \alpha \begin{pmatrix} \sqrt{(pc)^2 + (mc^2)^2} + mc^2 \\ 0 \\ 0 \\ pc \end{pmatrix}, \quad (13)$$

donde $\alpha = 1/\sqrt{(pc)^2 + (E + mc^2)^2}$, y

$$E_2 = -\sqrt{(pc)^2 + (mc^2)^2} \quad (14)$$

para los vectores

$$\psi_3 = \beta \begin{pmatrix} 0 \\ -\sqrt{(pc)^2 + (mc^2)^2} + mc^2 \\ pc \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (15)$$

$$\psi_4 = \beta \begin{pmatrix} -\sqrt{(pc)^2 + (mc^2)^2} + mc^2 \\ 0 \\ 0 \\ pc \end{pmatrix}, \quad (16)$$

donde $\beta = 1/\sqrt{(pc)^2 + (E - mc^2)^2}$.

3. Predicción de antimateria.

Para cada valor del momento p existen dos soluciones de energía positiva. Esto encajaba perfectamente con una propiedad de las partículas que en ese momento se había observado (el espín) y que en partículas como los electrones se daba en dos valores. A este tipo de partículas con solo dos valores posibles de espín se les decía de “espín 1/2”, por lo que la ecuación de Dirac trataba precisamente sobre estas partículas. Además de esto, observamos que existen dos soluciones adicionales de energía negativa. Debido a que un electrón en un estado de energía positiva podría brincar a un estado de energía negativa, y después irse en cascada hacia abajo a $E = -\infty$ emitiendo en el proceso una cantidad infinita de energía (por decir, radiación electromagnética), estas soluciones parecían una catástrofe para la ecuación. La solución de Dirac a este problema recae en el hecho de que las partículas de espín 1/2 obedecen el principio de exclusión de Pauli. Dirac supuso que los estados de energía negativa estaban ya completamente llenos, y que el principio de exclusión de Pauli impedía que cualquier otro electrón entrara al “mar” de estados de energía negativa. Este “mar de Dirac” es el “vacío”; entonces, sobre la teoría de Dirac, el “vacío” está lleno de un mar infinito de partículas con energía negativa y de espín 1/2.

Esta ingeniosa teoría hace una predicción importante, supongamos que ocurre una vacancia en el mar de electrones: un “hueco” con energía $-|E|$. Un electrón con energía E puede llenar este hueco emitiendo energía $2E$ y dejando al

“vacío” sin una carga neta, por lo que el hueco tendría una carga e^+ y energía positiva. Este hueco es llamado positrón, la antipartícula del electrón[3]. Esta partícula fue encontrada experimentalmente por primera vez en 1932, lo que inspiró una considerable confianza en la ecuación de Dirac. De hecho la ecuación de Dirac ha sido extraordinariamente exitosa en sus predicciones y aplicaciones.

4. Conclusiones.

Es importante ver que al considerar los efectos de la relatividad especial en los fenómenos cuánticos, el espín surge de forma natural[4]. Esto dio una explicación física a un fenómeno que hasta ese momento solo había sido descrito de forma matemática.

La llegada de la ecuación de Dirac trajo consigo la descripción de nuevos procesos de la naturaleza como la creación y destrucción de partículas, lo que se derivó en una nueva perspectiva de la realidad llamada Teoría Cuántica de Campos y con ella la electrodinámica cuántica, una de las teorías físicas más precisas.



Pedro Fernando Ocaña García

Egresado de la ingeniería en física aplicada de la Universidad Tecnológica de la Mixteca.

Universidad Tecnológica de la Mixteca.

Carretera a Acatlima Km. 2.5 Huajuapán de León, Oax.,

México C.P. 69000.

fer_25o5@hotmail.com

Referencias

- [1] Penrose, R.: *The Road to Reality*. Jonathan Cape, 2004.
- [2] Sakurai, J. J.: *Modern Quantum Mechanics*. Addison Wesley, 2ª edición, 1994.
- [3] Ryder, L. H.: *Quantum Field Theory*. Cambridge University Press, 2ª edición, 1985.
- [4] Dirac, P. A. M.: *Lectures in Quantum Mechanics*, volumen 1. Belfer Graduate School of Science Monograph Series, 1ª edición, 1964.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT MÓVIL SÍNCRONO

Sección Actualidad

Marco A. Filio García, Rafael F. González Zárata e Hiram N. García Lozano

Resumen

Actualmente el campo de la robótica móvil se encuentra en pleno crecimiento. Múltiples aplicaciones se han desarrollado para realizar diversas actividades como: monitoreo, rescate, exploración o transporte. En este trabajo se explica el diseño, construcción e implementación de un robot móvil con un sistema de locomoción síncrona a tres ruedas. Se diseñaron piezas de cada una de las partes del robot utilizando el software Solid Works (CAD) y posteriormente se realizó el ensamblaje con piezas mecánicas obtenidas con impresión 3D. Finalmente se implementó un control lineal para el seguimiento de una trayectoria deseada.

1. Introducción

La robótica es una disciplina científica que aborda la investigación y desarrollo de sistemas mecánicos, denominados robots. Estos son diseñados para realizar una amplia variedad de aplicaciones industriales, científicas y comerciales [1]. El término robot proviene de la palabra “robota” y significa trabajo, fue introducido en nuestro vocabulario por el dramaturgo Karel Capek en 1921. Existen muchas definiciones para describir a un robot, entre ellas la adoptada por el “Robot Institute of America” (RIA): un robot es un manipulador multifuncional reprogramable diseñado para mover materiales, partes, herramientas o dispositivos especializados a través de movimientos programados para la ejecución de una variedad de tareas [1]. Los robots son utilizados en áreas como el control de movimiento, diseño de ambientes de programación, inteligencia artificial, sensores, visión, planificación y coordinación, entre otras muchas cosas. Existe una gran variedad de robots con diversas estructuras geométricas y mecánicas, las cuales definen su funcionalidad y aplicación. Los robots móviles pueden ser clasificados en terrestres (ruedas, patas y oruga), marinos (submarinos) y aéreos (helicópteros, drones), todos ellos robots no tripulados. Por su parte los robots humanoides (androides) son máquinas antropomórficas capaces de imitar las funciones básicas del ser humano y por último los robots industriales utilizados para la automatización de procesos (robots manipuladores y brazos mecánicos).

Los robots móviles han sido creados con la finalidad de extender el campo de aplicación de la robótica hacia la navegación autónoma, la cual permite el desplazamiento del robot sin la intervención humana. La importancia de los robots móviles radica en que poseen un espacio de trabajo ilimitado y tiene la capacidad de adaptarse a una gran diversidad de entornos, ya sean totalmente desconocidos o conocidos parcialmente. Sus aplicaciones abarcan trabajos subterráneos, misiones espaciales y de exploración, vigilancia e intervención de seguridad (desactivación de explosivos, operación en zonas radioactivas) o aplicaciones militares [1]. La autonomía de un robot móvil se basa en el sistema de navegación automática, que incluyen tareas de planificación, percepción y control [2].

Los robots móviles con ruedas son la solución más simple y eficiente para conseguir la movilidad en terrenos suficientemente lisos y libres de obstáculos, permitiendo conseguir velocidades relativamente altas. Existen dos clasificaciones para el tipo de ruedas en los robots móviles, las ruedas convencionales (rueda fija, rueda de centro orientable y rueda de centro orientable desplazado) y las ruedas suecas (rueda omnidireccional). Los sistemas de locomoción más comunes con ruedas convencionales son la configuración Ackerman (dos ruedas fijas de tracción y dos ruedas de dirección), la configuración triciclo clásico (dos ruedas fijas y una rueda tanto para dirección como de tracción), direccionamiento diferencial (dos ruedas fijas tanto para dirección como de tracción haciendo uso de una diferencia de velocidad) y la configuración síncrona (todas las ruedas son tanto de dirección como de tracción y se mueven al mismo tiempo).

2. Método: Construcción de un robot móvil síncrono

El paso inicial es el diseño funcional del robot (figura 1) ajustando ciertas características mecánicas relacionadas con los sistemas de transmisión de movimiento. Se realiza una selección del tipo de rueda, tipo de sistema de locomoción, tipo de sistema de transmisión de movimiento y del tipo de motores como fuentes de potencia [3–8].

Posteriormente, se realiza un pequeño bosquejo a mano alzada del sistema de transmisión; donde los puntos claves son las posiciones de cada uno de los actuadores, el sistema de transmisión de movimiento por polea y banda dentada, la posición de las ruedas de centro orientable y cada una de sus respectivas cajas de reducción. Partiendo del bosquejo, se emplea el software CAD. Las partes fundamentales en el diseño del robot son: la caja de reducción (figura 2) para el sistema de tracción, formada por varios engranes y diseñadas por el perfil de involuta; el sistema de transmisión de movimiento, conformado por un eje sólido y uno hueco concéntrico por medio de baleros y el chasis principal, donde

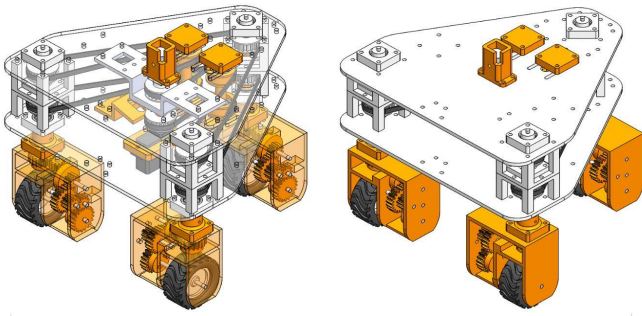


Figura 1: Prototipo de robot móvil síncrono.

se encuentran los actuadores y un sistema de tensión para las bandas dentadas.

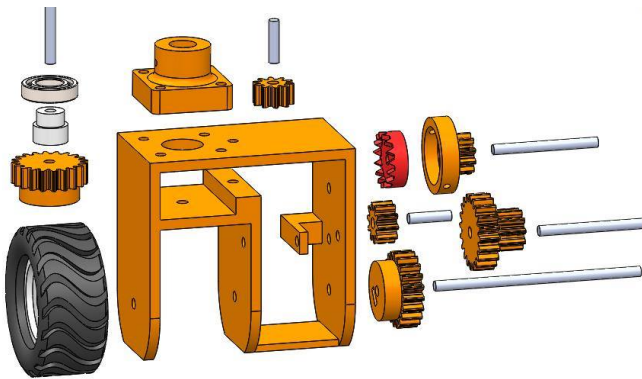


Figura 2: Vista en explosión de la caja de reducción.

Después de construir el prototipo virtual, se elaboran los elementos mecánicos con una impresora 3D y se realiza el ensamblado del prototipo (figura 3). Así, se puede proceder a implementar una estrategia de control, para verificar el funcionamiento de los sistemas de tracción y dirección.

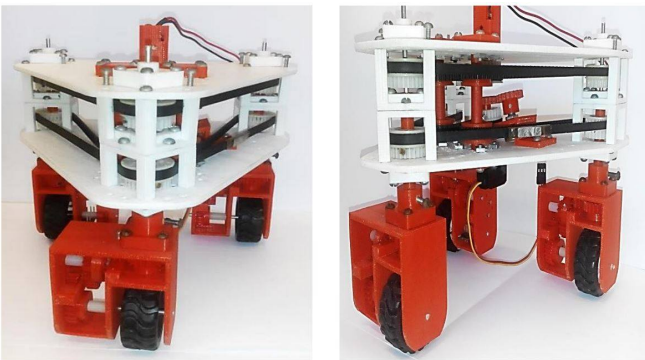


Figura 3: Ensamble completo de robot móvil.

3. Resultados

Primero, es importante aclarar que el control de robots móviles es un área que se encuentra en desarrollo, con desafíos

y retos por afrontar. Su finalidad es controlar la posición, dirección, orientación y/o velocidad de un robot móvil, a partir de una referencia dada y realimentando información procedente de sensores, con el objetivo de ejecutar un plan preestablecido o realizar una determinada tarea ante cambios en el entorno [2]. Existen muchos modelos de seguimiento de trayectorias. En este trabajo se implementó una ley de control lineal basada en el modelo cinemático (el cual es similar al de un monociclo pero sin los problemas de estabilidad) del robot para realizar el seguimiento de una trayectoria conocida.

Para comprender mejor este modelo observemos la figura 4, donde se visualiza la posición de referencia (la cual se desea alcanzar), la posición actual y orientación.

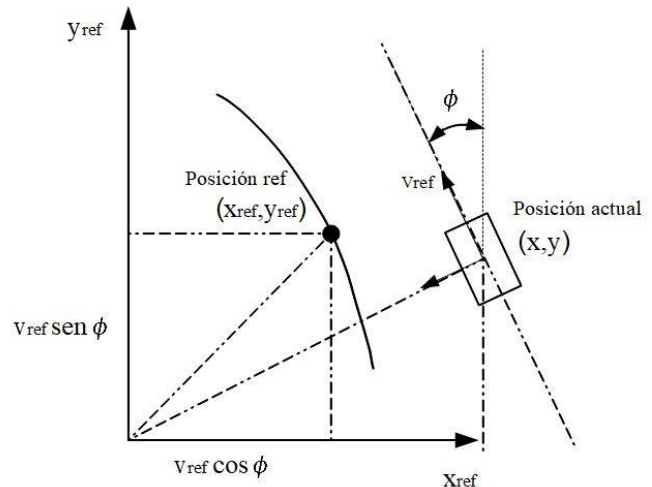


Figura 4: Posición de referencia y actual.

El robot móvil debe moverse a una velocidad lineal v_{ref} y angular ω_{ref} . La posición de referencia del robot se describe por las expresiones (1).

$$x_{ref} = v_{ref} \cos \phi_{ref}; \quad y_{ref} = v_{ref} \sin \phi_{ref} \quad (1)$$

En (1) la única variable que se desconoce es ϕ_{ref} . Al derivar se obtiene como resultado la velocidad angular, la cual se conoce y se puede utilizar. Donde las nuevas ecuaciones son (2).

$$x'_{ref} = -v_{ref} \sin \phi_{ref}; \quad y'_{ref} = v_{ref} \cos \phi_{ref}; \quad \phi'_{ref} = \omega_{ref} \quad (2)$$

Así, se pueden calcular las ecuaciones de la dinámica de error, que representan la diferencia entre la posición deseada del robot y la alcanzada:

$$\begin{aligned} e_1 &= -(x_{ref} - x) \sin \phi + (y_{ref} - y) \cos \phi \\ e_2 &= -(x_{ref} - x) \cos \phi + (y_{ref} - y) \sin \phi \\ e_3 &= \phi_{ref} - \phi \end{aligned} \quad (3)$$

donde se ha aplicado un cambio de coordenadas para simplificar el diseño de la estrategia de control.

Proponiendo una ley de control lineal [2],

$$u_1 = -k_1 e_1; \quad u_2 = -k_2 \text{sgn}(v_{ref}) e_2 - k_3 e_3 \quad (4)$$

en el cual se busca que

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e_1 = \lim_{t \rightarrow \infty} e_2 = \lim_{t \rightarrow \infty} e_3 = 0$$

Esta ley de control garantiza que el error se aproxime a cero utilizando las siguientes ganancias:

$$k_1 = 2\delta w_n; \quad k_2 = \beta |v_{ref}|; \quad k_3 = 2\delta w_n \quad (5)$$

Donde δ es el factor de amortiguamiento, w_n la frecuencia natural no amortiguada y β un factor de ponderación mayor a cero. Los términos δ y w_n determinaran la velocidad en que el robot se aproxima a la trayectoria deseada así como también la frecuencia de oscilación que tendrá este al intentar ajustarse a la misma.

A continuación se realizaron simulaciones del comportamiento del robot ocupando MATLAB&SIMULINK. Para su implementación, se utilizó un sistema embebido (Arduino). Por medio de diagramas a bloques, se implementaron la estrategia de control y las lecturas de los sensores. Teniendo un prototipo funcional se procedió a realizar las simulaciones del modelo de control lineal, con la técnica de escalado de velocidad en el robot móvil síncrono, con la finalidad de tener un parámetro de comparación con los resultados físicos. Después de muchas pruebas y de ajustes en el modelo se obtuvieron resultados con un error aceptable, en comparación con su simulación.

Se presentan resultados con dos entradas de velocidades lineal y angular diferentes.

3.1. Prueba 1: Entrada escalón como velocidad

El paso inicial consiste en seleccionar una velocidad lineal y una velocidad angular, las cuales debe seguir el robot. La velocidad lineal deseada es una función escalón de 0.2 m/s en $t = 0$ s y en $t = 20$ s y se reduce a 0.1 m/s (figura 5a). La velocidad angular deseada, tiene la misma forma iniciando en 0.3 rad/s en $t = 0$ s y reduciéndose a 0.2 rad/s en $t = 10$ s (Figura 5b).

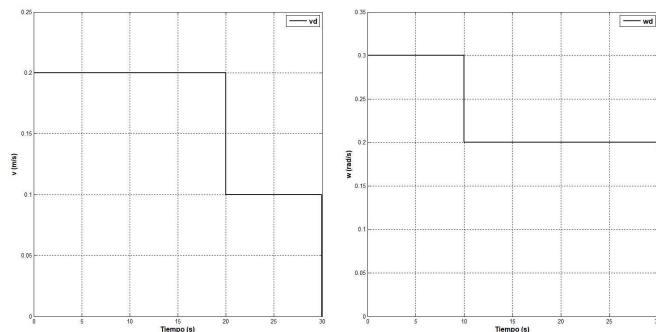


Figura 5: a) Velocidad lineal, b) Velocidad angular.

Las figuras 6a y 6b muestran la velocidad lineal y angular para la primera prueba del robot móvil. Como se puede observar a pesar del ruido generado por los sensores las velocidades obtenidas por el robot se aproximan a las deseadas.

Con estas velocidades de entrada se genera la siguiente trayectoria, figura 7. La línea negra representa la trayectoria generada por las velocidades de entrada. La línea azul representa el movimiento real del robot, utilizando un esquema de control lineal.

3.2. Prueba 2: Curva tipo Bézier.

Si bien las trayectorias de la prueba 1 se aproximan entre sí, es deseable minimizar las oscilaciones obtenidas en las velocidades del robot (figura 6). Con este fin se optó por cambiar la entrada de control, de una entrada escalón a una curva más suave, para lo cual se ocupó una curva tipo Bézier. Esta tiene como objetivo alcanzar una referencia deseada en un tiempo determinado, de manera suave sin cambios bruscos.

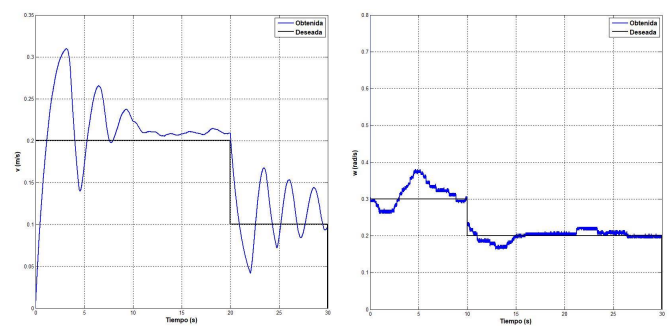


Figura 6: a) Velocidad lineal obtenida por censado de codificador de cuadratura, b) Velocidad angular obtenida por censado de potenciómetro.

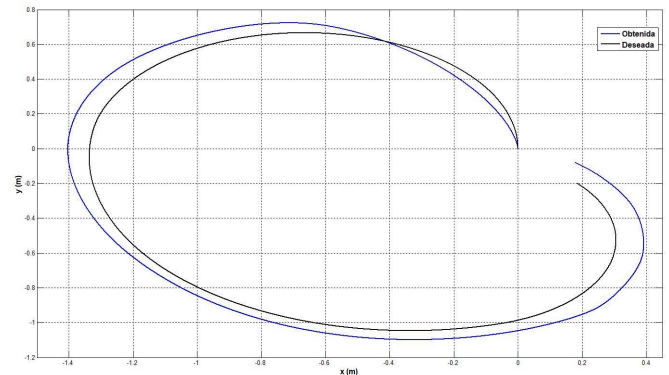


Figura 7: Posición del robot robot móvil con el modelo de control lineal y con la técnica de escalado de velocidad.

En la figura 8a, se observa la implementación de una curva Bézier que alcanza una referencia de una velocidad lineal de 0.2 m/s en un tiempo de 0 a 1.3 s; mientras que la figura 8b, describe la velocidad angular que alcanza una referencia de 0.73 rad/s en un periodo de 0 a 2 s.

En la figura 9, se puede observar que el simple cambio en la referencia de entrada disminuye en gran medida las oscilaciones (como se observan en la figura 6), tanto en la velocidad lineal como en la angular. El pico que presenta la

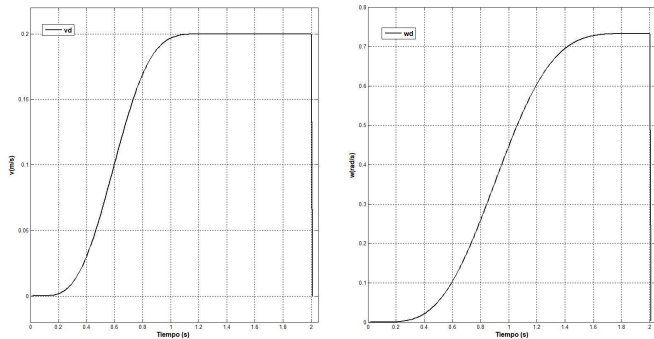


Figura 8: a) Velocidad lineal, b) Velocidad angular utilizando Bézier.

línea azul es debido a que como sensor de posición se ocupó un potenciómetro rotacional, el cual en su valor mínimo no llega a cero.

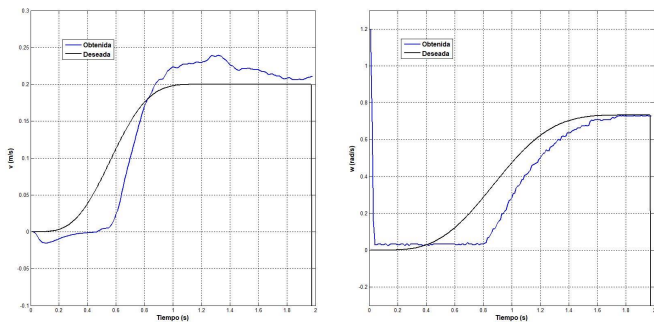


Figura 9: a) Velocidad lineal obtenida por censado de codificador de cuadratura, b) Velocidad angular obtenida por censado de potenciómetro.

La línea en color negro es la trayectoria generada por las entradas de la curva Bézier (figura 10). La línea en color azul es la obtenida por el robot móvil síncrono. Como se puede observar en la figura 10 el movimiento del robot se aproxima más a la trayectoria deseada con el mismo esquema de control.

4. Conclusiones

Este artículo reporta el diseño y construcción de un robot móvil tipo síncrono elaborado en el laboratorio de control, UNPA Campus Loma Bonita. Como parte fundamental se implementó una estrategia de control en la cual se mostró que un simple cambio en las entradas de referencia de tipo escalón a una más suave (tipo Bézier) reduce en gran medida las oscilaciones en el seguimiento de las velocidades deseadas, lo que mejora el desempeño del robot.

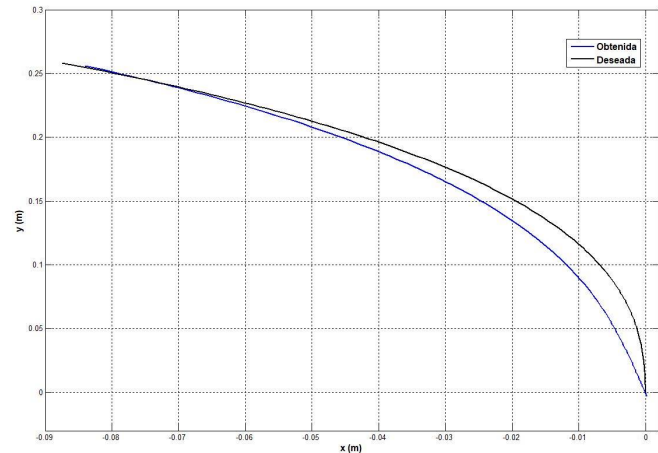


Figura 10: Posición del robot móvil con el modelo de control lineal y con la técnica de escalado de velocidad.

Referencias

- [1] Reyes, Fernando: *Robótica - control de robots manipuladores*. Alfaomega Grupo Editor, México, 2011.
- [2] Ollero, Anibal: *Robótica: manipuladores y robots móviles*. Alfaomega Grupo Editor, México, 2007.
- [3] Budynas, R. y Nisbett, J.: *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. McGraw-Hill, México, 2008.
- [4] Erdman, A. y Sandor, G.: *Diseño de mecanismos, análisis y síntesis*. Prentice Hall Hispanoamericana, México, 1998.
- [5] Robert, L.: *Diseño de maquinaria*. McGraw-Hill, México, 2005.
- [6] Costas, D. y Gómez, E.: *Simulador didáctico de tallado de engranajes rectos*, 2011. http://danicos.net/Simulador_Tallado_Engranajes/download/Simulador_Tallado_Engranajes_Rectos.pdf, visitado el 2018-00-00.
- [7] Matlab & Simulink: *Tutoriales de Matlab y Simulink-Análisis de tiempo de respuesta de un motor de cc*. http://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?aux=Activities_DCmotorA, visitado el 2018-00-00.
- [8] Díaz, E.: *Aplicación de estrategias de control lineal y no lineal en el modelo matemático de un robot móvil*. Tesis de Licenciatura, Universidad del Papaloapan, México, 2014.



Marco Antonio Filio García

Ingeniero en mecatrónica, egresado de la Universidad del Papaloapan, Campus Loma Bonita.

marcus_que_chido@hotmail.com



Rafael Fernando González Zárate

Egresado de la ingeniería en electrónica y de la maestría en ciencias en sistemas digitales del Instituto Tecnológico de Orizaba. Actualmente es profesor investigador en la Universidad del Papaloapan.

gonzalez@unpa.edu.mx



Hiram Netzahualcóyotl García Lozano



Ingeniero en electrónica egresado del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec y de la maestría y doctorado en control automático del CINVESTAV. Actualmente es profesor investigador y director del Instituto de Agroingeniería en la Universidad del Papaloapan.

hgarcia@unpa.edu.mx

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
 Ciencia de Materiales: posgrado_mat@ifuap.buap.mx

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





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

MAestrÍA EN DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES



BUAP.

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

EL PAPEL DEL ANÁLISIS TÉRMICO EN EL ÁREA DE ALIMENTOS

Sección Estudiantil

Oswaldo Zamora Morales y María P. Amador Ramírez

Resumen

Se realizó una revisión bibliográfica de artículos recientes acerca de métodos de análisis de conservadores de alimentos y la importancia de estas técnicas en el estudio y mejoramiento de la conservación de alimentos, se hace un recorrido por el concepto de análisis térmico a lo largo de esta área de estudio, se plantean y obtienen las bases y fundamentos de calorimetría diferencial de barrido y termogravimetría, técnicas de análisis y estudio de moléculas de gran importancia a fin de obtener nuevos conocimientos de ellas y poder predecir su comportamiento en diferentes condiciones físicas y químicas, se exponen algunos ejemplos de aplicaciones en el estudio de diversos compuestos de los alimentos.

1. Introducción

En el pasado, el análisis térmico (TA) fue utilizado como un método estándar para la investigación de polímeros. Está constituido por un grupo de técnicas en las que una propiedad de la muestra es monitoreada en función del tiempo o de la temperatura. Mientras la temperatura de la muestra cambia en forma programada, en una atmósfera determinada, se pueden determinar la estabilidad térmica de una sustancia, agua libre (humedad), agua ligada (de cristalización), retención de solventes, pureza de una sustancia, punto de ebullición, punto de fusión, calores de transición, calores específicos, caracterización de minerales, caracterización de fibras, etc.

Las técnicas calorimétricas se han aplicado en diversos estudios de moléculas a lo largo de la historia a fin de conocer sus comportamiento con base en su estructura química, una de las áreas de estudio son los sistemas alimenticios, ya que se han utilizado para estudiar diferentes compuestos del contenido de estos como proteínas, carbohidratos, lípidos, etc. También se han estudiado conservadores para alargar la vida útil del alimento ya que pueden presentar interacciones con los demás constituyentes alimenticios, lo cual puede comprobarse por calorimetría diferencial de barrido (DSC) a través de cambios en el flujo de calor durante el calentamiento de una muestra en un rango de temperatura. Mientras tanto, se ha observado, que gracias a los resultados que ofrece DSC, está siendo utilizado cada vez más en la industria alimentaria para el análisis de rutina del proceso y el control de calidad y no sólo para investigación y desarrollo.

Este trabajo tiene como objetivo mostrar la importancia de estudios por DSC y termo gravimetría (TGA) para la identificación de las transiciones, comportamiento, y la caracterización de propiedades térmicas de los conservadores de alimentos. También se da una descripción general de las principales áreas de aplicación del análisis térmico.

1.1. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).

El término calorimetría diferencial de barrido (DSC) se confundía inicialmente con el análisis diferencial térmico (DTA), técnica pionera en el análisis térmico (Cambridge,

2013). El propósito de los instrumentos térmicos diferenciales es registrar la diferencia entre el cambio de entalpía que ocurre en una muestra y un material inerte de referencia cuando ambos se calientan.

En la DSC, la muestra y la referencia se calientan independientemente, por lo que se puede medir directamente la diferencia en flujo de calor para mantener una temperatura igual en ambas. Así, los datos se obtienen en forma de entradas diferenciales de calor (dH/dt) en función de la temperatura.

1.2. Análisis Termogravimétrico (TGA).

Es una técnica en la que la masa de la muestra es monitoreada en función del tiempo o de la temperatura, cuando la temperatura de la muestra sigue cierto programa, en una atmósfera específica. El análisis termogravimétrico (TGA), mide la masa (pérdida o ganancia) de una muestra cuando ésta se somete a un programa controlado de temperatura.

El material es calentado en un horno y al mismo tiempo se va midiendo el peso a medida que es calentado. Al final del ensayo se obtendrán los diferentes perfiles de descomposición que sufrirá el material durante todo el proceso de calentamiento. Por esta técnica pueden determinarse: el porcentaje de pérdida de peso por descomposición, por deshidratación, por pérdida de disolvente, por pérdida de plastificante, estabilidad térmica u oxidativa, la descarboxilación, la pirólisis o el porcentaje de aditivos (Cambridge, 2013).

1.3. Componentes de los Alimentos.

- Hidratos de carbono. Su función principal es la de aportar energía al organismo. Se encuentran en alimentos básicos que han constituido la base de la alimentación de la humanidad a lo largo de la historia: cereales, legumbres, tubérculos, frutas, verduras y hortalizas, lácteos, alimentos manufacturados, etc.
- Proteínas. Las encontramos en todo el organismo, en el músculo, en el hueso y en los líquidos corporales. Se necesitan a lo largo de toda la vida para formar y reparar tejidos. Se encuentran en alimentos de origen animal

(como los huevos, carnes y pescados o la leche y sus derivados) y en algunos de origen vegetal (legumbres, cereales o frutos secos).

- **Lípidos.** Las grasas o lípidos constituyen el nutriente energético por excelencia. Además suministran los ácidos grasos esenciales y proporcionan al organismo las vitaminas A, D, E y K. Su ingesta es imprescindible, aunque el exceso de su aporte, sobre todo de grasa saturada, es perjudicial para la salud.
- **Vitaminas.** Las vitaminas son nutrientes esenciales, ya que no pueden sintetizarse en el organismo y han de ser ingeridos con la dieta. Su función principal es la de regular reacciones metabólicas que tienen lugar en el organismo.
- **Minerales.** Son elementos químicos imprescindibles para el normal funcionamiento del metabolismo. Los minerales pueden desarrollar tanto una función reguladora (formando parte de hormonas y enzimas) como estructural (por ejemplo calcio y fósforo en el hueso o hierro en la hemoglobina).
- **Fibra.** Desempeña funciones fisiológicas sumamente importantes como estimular los movimientos intestinales. También existe una asociación entre la incidencia de enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer y las poblaciones que tienen dietas pobres en fibras.

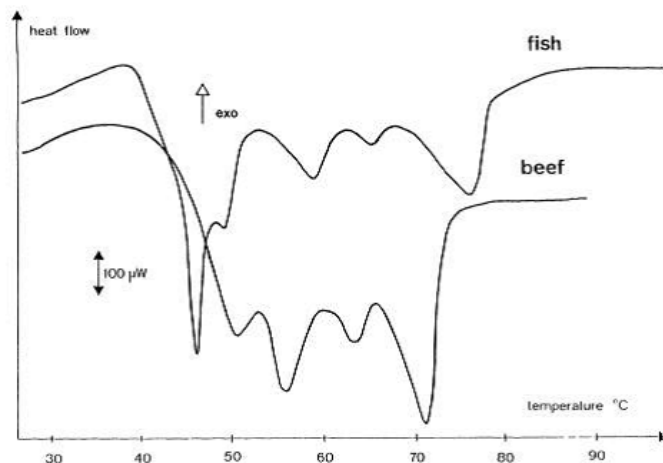


Figura 1: Desnaturalización de proteínas animales. El análisis térmico puede dar información sobre la composición de alimentos. El músculo es un sistema complejo compuesto de diferentes clases de proteínas, la desnaturalización de cada una de estas se refleja en una serie de picos en el termograma de cada muestra y sirve como “huella dactilar” de un músculo. En la gráfica se pueden ver termogramas de dos muestras de músculo de pescado y de vacuno, observándose claramente las diferencias. Mediante el análisis térmico puede estudiarse el efecto de los tratamientos térmicos en los alimentos[1].

2. Aplicaciones del análisis térmico en estudios de productos

La calorimetría diferencial de barrido ha sido ampliamente utilizada como técnica de caracterización de almidones de diferentes orígenes, sometidos a distintos tratamientos. A continuación se describen brevemente algunos ejemplos.

3. Impacto mundial

Lamentablemente hay regiones del mundo donde los alimentos son escasos y la gente sufre de desnutrición, diversas organizaciones están preocupadas por esta situación, por lo tanto los servicios alimenticios y los propios alimentos deben ser mejorados, además cabe resaltar que el crecimiento poblacional demandará más alimentos en diversas partes del mundo, el uso del análisis térmico permitirá que esto se solucione de la mejor manera.

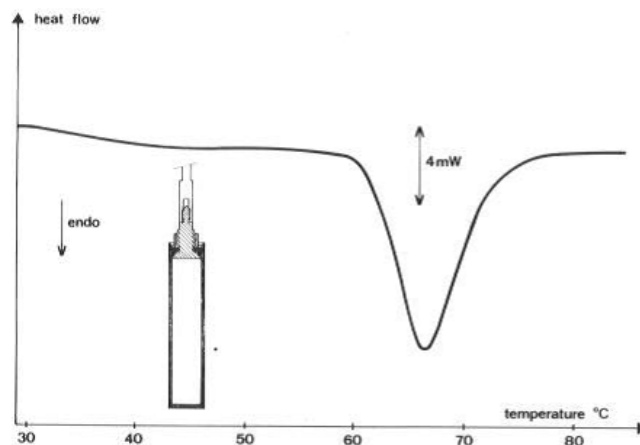


Figura 2: Gelatinización de almidón. Cuando es sometida a un calentamiento en presencia de agua, una muestra de almidón experimenta un proceso de gelatinización, que viene acompañado por un efecto endotérmico. La forma del pico endotérmico y la temperatura del mínimo son características de cada tipo de almidón, según su origen vegetal, y permiten una caracterización del mismo[2].

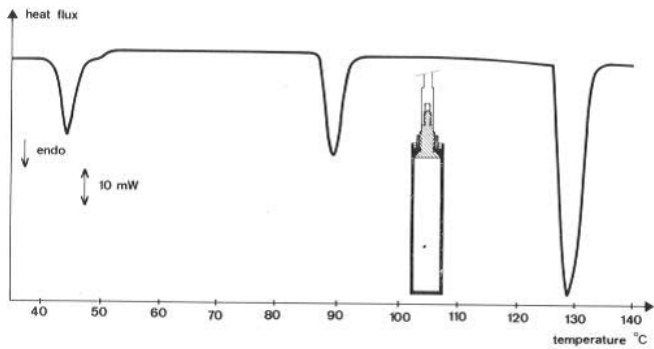


Figura 3: Transiciones de fase del nitrato (conservador de alimentos). Cuando se calienta una muestra de esta sal desde temperatura ambiente hasta 150°C, se pueden percibir tres picos endotérmicos a 44.0°C, 89.5°C y 128.5°C, que se corresponden con otras tantas transiciones de formas alotrópicas. El área encerrada entre cada uno de los picos y la línea base permite calcular el valor de los calores de transición[1].

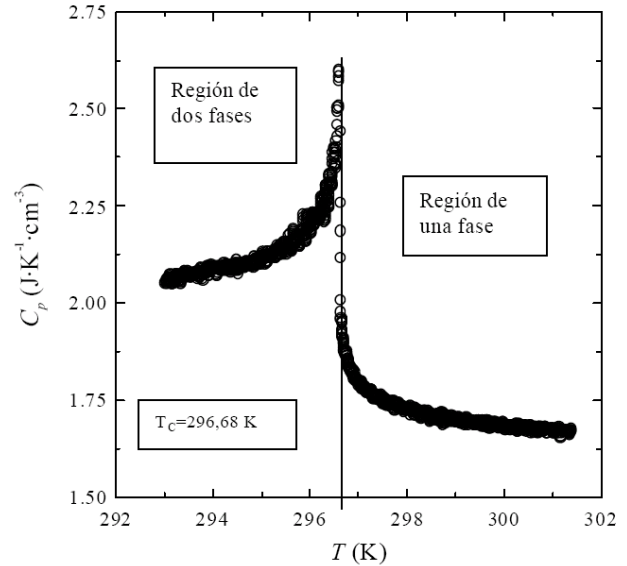


Figura 5: Medida de Calores Específicos. La DSC permite medir calores específicos de líquidos con gran precisión. El termograma muestra una curva Lambda, característica de una transición de segundo en una mezcla de composición crítica, que presenta miscibilidad parcial al disminuir su temperatura, originándose una separación de fases a la temperatura crítica, para el estudio de diversas bebidas como jugos, refrescos, etc[4]

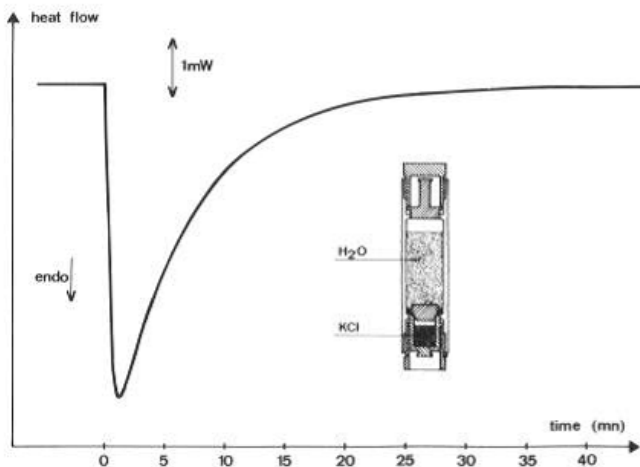


Figura 4: Calor de disolución de una sal. Una masa de 8.7 mg de ClK se ha disuelto en 5 ml de agua a 25°C. Se observa un efecto endotérmico que refleja el calor de disolución de la sal. La integración del pico permite el cálculo de un calor de disolución en esta experiencia de 17,680 J/mol, frente al valor de la literatura de 17,570 J/mol. Con un dispositivo similar puede estudiarse el calor y tiempo de curado de productos carnicos, en la industria alimentaria[3].

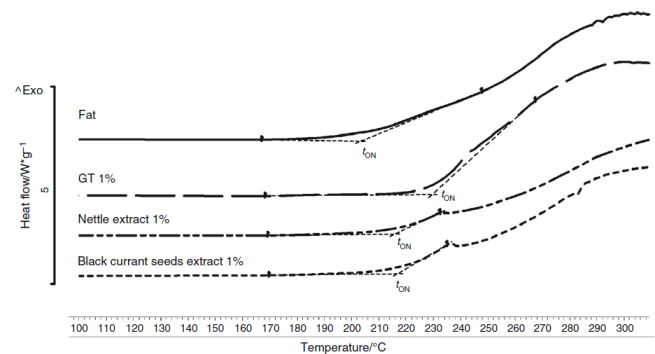


Figura 6: Ejemplo de escaneo por DSC. Oxidación no isotérmica de muestras de grasa extraídas de galletas después de hornear que contienen extractos de plantas (GT, Extracto de ortiga, extracto de semillas de grosella negra) y sin ellos a velocidad de calentamiento $b = 10^{\circ}\text{C min}^{-1}$ [5].

4. Conclusiones

La información disponible de las técnicas básicas de TGA y DSC no es la adecuada para la solución completa de la mayoría de los problemas en el área de alimentos. Esta tiene que ser operable y mejorada para ser mejor comprendida y pueda ser utilizada de la mejor manera.

El estudio termodinámico de los alimentos debe ser óptimo para mejorar la calidad de estos. Se sugiere hacer esfuerzos para mejorar la investigación científica. La clave para hacer esto se basa sobre la educación proporcionada por las instituciones, los fabricantes y los organismos nacionales e internacionales de análisis térmico y sociedades de calorimetría.

Referencias

- [1] Zbikowska, Anna, Kozłowska, Mariola, Poltorak, Andrzej, Kowalska, Malgorzata, Rutkowska, Jaroslawa y Kupiec, Milena: *Effect of addition of plant extracts on the durability and sensory properties of oat flake cookies*. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 134(2), 2018.
- [2] Farah, Juliana S., Silva, Marcia C., Cruz, Adriano G. y Calado, Verônica: *Differential calorimetry scanning: current background and application in authenticity of dairy products*. Current Opinion in Food Science, 22:88 – 94, 2018. Foodomics Technologies 2018 * Innovations in Food Science.
- [3] Toledo, Mettler: *Collected Applications Thermal Analysis*. Web.
- [4] Camire, Mary Ellen, Camire, Alex y Krumhar, Kim: *Chemical and nutritional changes in foods during extrusion*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 29(1):35–57, 1990.
- [5] Bet, Camila Delinski *et al.*: *Influence of the addition of hydrocolloids on the thermal, pasting and structural properties of starch from common vetch seeds (Vicia sativa sp)*. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 133(1):549–557, 2018.
- [6] Malik, N., Gouseti, O. y Bakalis, S.: *Effect of freezing with temperature fluctuations on microstructure and dissolution behavior of freeze-dried high solid systems*. Energy Procedia, 123:2 – 9, 2017.
- [7] *Texture in Food*. Woodhead Publishing, 1st edición, 2003.
- [8] López, Karina Salas: *Estudio termoquímico del furaneol y norfuraneol*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Químicas, 2013.
- [9] *Thermal Analysis*. Academic Press, 1st edición, 2011.

Oswaldo Zamora Morales

Estudiante de la Facultad de Ciencias Químicas de la BUAP.
osv24@hotmail.com



María Patricia Amador Ramírez

Egresada de la licenciatura y maestría en química y del doctorado en ciencias químicas de la BUAP. Actualmente es profesora en la BUAP.

pay_navam@yahoo.com

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

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

Seminario de estudiantes del IFUAP

Este seminario tiene como propósito fomentar el intercambio de ideas acerca de diversos temas que competen a la ciencia y de este modo motivarnos a desarrollar un mayor conocimiento en diversas áreas científicas, en un ambiente menos formal.

Te invitamos a asistir, las pláticas se realizan todos los martes a las 13:00 h en el auditorio del IFUAP.

Contacto:

Correo: seminario_estudiantes@ifuap.buap.mx

Web:

ifuap.buap.mx/seminario/SeminarioEstudiantil.php

Sociales:

facebook.com/SE.IFUAP

SOBRE EL PROBLEMA DE GRAVEDAD CUÁNTICA

Sección Hablando de...

Ricardo Rosas Rodríguez

Resumen

Uno de los grandes problemas que enfrenta la física hoy en día es el de cuantizar el campo gravitacional. Es sorprendente que una fuerza que no se asocia usualmente con conexiones, la gravedad, pueda ponerse en términos de éstas (variables de Ashtekar). Ahora se usan estas variables de conexión y las de lazo como una opción para la cuantización de la gravedad. Otros enfoques conocidos son la teoría de cuerdas y la teoría de twistores. En este artículo expondré de manera muy breve y poco formal el problema de gravedad cuántica desde la perspectiva de conexiones y de lazos.

Iniciaré este artículo con un comentario que escuché hace poco tiempo. Un profesor de física afirmó: “*La ciencia actual ya no es posible si no se hace en equipo. La época de los monjes que se encerraban en un monasterio para descubrir algo ya ha pasado, ahora es solamente historia de libros viejos*”.

Pero... ¿Qué tan cierto podría ser esto? Yo considero que es simplemente su opinión personal. De acuerdo a Rovelli[1], la física ya no ha avanzado desde mediados del siglo pasado debido a que hay demasiado pragmatismo en ella. La gran mayoría de los físicos se dedicó a tratar de aplicar lo conocido y olvidó indagar en fundamentos nuevos.

En la actualidad hay personas que trabajan en la física de manera independiente y que han hecho descubrimientos realmente importantes. Voy a citar el caso de Julian Barbour, que menciona Lee Smolin en su libro sobre el Problema con la Física[2]. Esta persona terminó su Ph.D. en física, se compró una granja y con el tiempo que le sobraba se dedicó a pensar en el problema del tiempo (en gravedad cuántica). Él menciona que las actividades de docencia y trámites burocráticos en la universidad le dejaban menos tiempo para pensar (en el tiempo) que el simple hecho de cuidar vacas y gallinas. Ahora él es una de las personas más reconocidas en el área de Gravedad Cuántica, por los artículos y libros que ha publicado[3, 4].

Como podrán darse cuenta, queridos lectores, he sido influenciado por los creadores de la gravedad cuántica de lazos, Rovelli y Smolin[5, 6], quienes se basaron en la representación de conexiones de Abhay Ashtekar[7, 8] de la Relatividad General (RG), para escribir sus ahora famosos artículos. Las dos líneas de investigación más famosas para atacar el problema de gravedad cuántica son: teoría de lazos y teoría de cuerdas. En este trabajo pretendo introducirlos de manera breve a la teoría de lazos.

Antes de abordar el tema enlistaré los 5 problemas que menciona Smolin sobre la física hoy en día[2]:

- *El problema de gravedad cuántica.*
- *El problema de interpretación de la teoría cuántica.*
- *El problema de unificar las 4 fuerzas fundamentales en la naturaleza.*

- *El problema de cómo surgen las constantes en el modelo estándar.*
- *El problema de la energía y materia oscura.*

Yo agregaría un sexto problema: *el problema de computación e información cuántica*. Hay un viejo artículo de Richard Feynman que trata sobre esto y el cual leí hace ya algunos años[9]. Sin embargo, hace poco leí un libro de ciencia ficción de Dan Brown, *El Origen*, en el cual hacen creer al lector que la NASA y Google ya tienen una computadora de este tipo. No sé qué tan cierto pueda ser esto, lo que sí sé es que hay gente trabajando en este problema de la computadora cuántica y los 5 que menciona Smolin. Muchos de estos investigadores, escribe Smolin, son como los viejos alquimistas: Copérnico, Galileo, Giordano Bruno, Lavoisier, Planck, Einstein, Heisenberg, Schrödinger, Dirac,... Y sí necesitan, muchas veces, trabajar individualmente para ganar intuición e inspiración y sacar a flote ideas verdaderamente relevantes para el progreso de la humanidad. Como en cierta ocasión que J. J. Sakurai (el autor del libro de mecánica cuántica que todo físico conoce) le preguntó a Dirac en Princeton sobre sus últimas colaboraciones, a lo que el gran Dirac respondió: “*Las ideas realmente buenas se obtienen individualmente*”.

El problema de gravedad cuántica ya es muy viejo. De hecho Einstein lo menciona en sus artículos: “*Sin embargo, debido al movimiento interatómico de los electrones, los átomos deberían radiar no sólo energía electromagnética, sino también gravitacional, aunque sólo en diminutas cantidades. Como esto es apenas verdadero en la Naturaleza, parece que la teoría cuántica debería modificar no sólo la electrodinámica Maxwelliana sino también la nueva teoría de la gravitación*”, decía él. Algunos investigadores de renombre trataron de atacar este problema, Dirac, Landau, Feynman entre otros. De hecho Feynman trató de aplicarle integral de trayectoria a este problema, pero se complicó demasiado y le escribió a su esposa: “*recuérdame no seguir con él*”.

La primera vez que leí sobre el problema de gravedad cuántica fue en el libro de Stephen Hawking: *Una Breve Historia del Tiempo*[10]. El problema consiste en hallar una teoría que unifique la RG y la teoría cuántica. En breve daré

un esbozo de estas dos teorías. Hawking menciona que es difícil justificar la búsqueda desde un punto de vista práctico, aunque podría decirse algo similar (antes de su invención) sobre la relatividad y la mecánica cuántica, las cuales nos han dado la energía nuclear y la microelectrónica. Hawking finaliza con lo siguiente: “*El profundo deseo de conocimiento de la humanidad es justificación suficiente para continuar su búsqueda. Y ésta no cesará hasta que poseamos una descripción completa del Universo en el que vivimos*”.

Actualmente el Universo es descrito a nivel microscópico (atómico y nuclear) por la mecánica cuántica. A este nivel suceden cosas que nos parecen extrañas ya que estamos acostumbrados a observar objetos más grandes. Por ejemplo, un electrón puede estar en 2 lugares al mismo tiempo. Además ya no podemos medir la posición de una partícula con certeza (principio de incertidumbre de Heisenberg), sino solamente la probabilidad de que una partícula se encuentre en determinada posición en un cierto instante. Esto se hace a través de la función de onda del sistema $\psi(x, t)$, la cual se obtiene por medio de la ecuación de movimiento de Schrödinger.

A niveles macroscópicos, como el sistema solar, galaxias, incluso el Universo mismo, la mejor teoría con la que contamos para describirlos es la RG, la teoría de gravitación de Einstein. Aquí debe identificarse al campo gravitacional con el mismo espaciotiempo, y el sistema es descrito por las ecuaciones de movimiento de Einstein. Con esto no me refiero a su famosa ecuación $E = mc^2$, la cual es una relación que nos dice que energía y masa son la misma cosa, c es la constante de proporcionalidad entre ellas y tiene el valor de la velocidad de la luz en el vacío (3×10^8 m/s), más bien me refiero a las ecuaciones análogas a las ecuaciones de Maxwell del campo electromagnético.

Resulta que las cuatro ecuaciones de Maxwell que aprendemos en nuestros cursos básicos de electromagnetismo pueden escribirse en forma covariante (en forma independiente del sistema de coordenadas) en términos de dos simples ecuaciones:

$$\partial_\alpha F^{\alpha\beta} = \frac{4\pi}{c} J^\beta, \quad \partial_\beta(\epsilon^{\alpha\beta\gamma\delta} F_{\gamma\delta}) = 0 \quad (1)$$

donde

$$(F_{\alpha\beta}) = \begin{pmatrix} 0 & E_x & E_y & E_z \\ -E_x & 0 & -B_z & B_y \\ -E_y & B_z & 0 & -B_x \\ -E_z & -B_y & B_x & 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

es el tensor de campo electromagnético o tensor de Faraday, y $J_\beta = (\rho c, -\mathbf{J})$ es la cuadricorriente. Las leyes de Maxwell implican conservación de la carga $\partial_\alpha J^\alpha = 0$, o, equivalentemente,

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{J} = 0. \quad (3)$$

En la teoría de Newton el campo gravitacional se representa por el potencial gravitacional Φ el cual satisface la ecuación de Poisson

$$\nabla^2 \Phi = 4\pi G \rho. \quad (4)$$

Einstein propone algo muy similar

$$G_{\alpha\beta} = R_{\alpha\beta} - \frac{1}{2} R g_{\alpha\beta} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\alpha\beta} \quad (5)$$

donde $T_{\alpha\beta}$ es el tensor de energía-momento que satisface la ley de conservación $\nabla^\alpha T_{\alpha\beta} = 0$. $G_{\alpha\beta}$ es el tensor simétrico más simple que satisface $\nabla^\alpha G_{\alpha\beta} = 0$.

Así que la ecuación de Einstein implica automáticamente conservación de energía-momento. De la misma forma que las ecuaciones de Maxwell $\partial_\alpha F^{\alpha\beta} = 4\pi J^\beta$, implican conservación de la carga eléctrica $\partial_\alpha J^\alpha = 0$.

Tomando la traza de (5), uno tiene $R = -\frac{8\pi G}{c^4} T$, y así

$$R_{\alpha\beta} = \frac{8\pi G}{c^4} \left(T_{\alpha\beta} - \frac{1}{2} g_{\alpha\beta} T \right). \quad (6)$$

La ecuación de Einstein en el vacío es el caso especial cuando $T_{\alpha\beta} = 0$. Lo que dice que $G_{\alpha\beta} = 0$, lo cual equivale a que el tensor de Ricci sea cero:

$$R_{\alpha\beta} = 0. \quad (7)$$

Ahora, existen Lagrangianas con las cuales pueden obtenerse tanto las ecuaciones de Maxwell como las de Einstein que describimos arriba por medio de las ecuaciones de Euler-Lagrange. Cuando uno hace la transformada de Legendre para obtener la Hamiltoniana y las ecuaciones de Hamilton para el campo electromagnético se obtienen las ecuaciones de Maxwell conocidas.

Las ecuaciones de Hamilton para el campo gravitacional son un poco más complicadas y fueron obtenidas por primera vez en 1962 por Arnowitt, Deser y Misner[11] en términos de la métrica espacial y en 1986 Ashtekar logró reescribir éstas ecuaciones de manera más simple en términos de conexiones por medio de una transformación canónica genial[7, 12].

Cuando uno promueve la Hamiltoniana de la RG, en términos de conexiones de Ashtekar, a un operador cuántico, se obtiene una ecuación análoga a la ecuación de Schrödinger, la cual se conoce como la ecuación de Wheeler-DeWitt ($\hat{H}\Psi = 0$). Algo sorprendente en esta representación es que existe una solución no trivial (una función de onda) a esta ecuación, conocida como el estado de Chern-Simons o estado de Kodama[13, 14]. Lo sorprendente es que esta solución surge de una teoría de Chern-Simon para conexiones de Yang-Mills[15] y las constricciones de RG (las cuales conforman la Hamiltoniana) son mucho más complicadas, sin embargo, un cálculo directo muestra que, efectivamente, las constricciones de la RG aniquilan esta función de onda[16, 17].

Ahora, cuando uno quiere ir a la representación de lazos de una teoría de norma se pueden tomar dos caminos. Uno es mediante una transformada de lazos, análoga a la transformada de Fourier para ir de la representación de posición a la de momentos en mecánica cuántica. Otro camino es tomar un álgebra de variables clásicas no canónica y promover éstas a operadores.

En la representación de lazos de la RG existe una solución a la ecuación de Wheeler-DeWitt, la cual está

relacionada con invariantes de nudos[18], se le conoce como el polinomio de Kauffman y es una generalización de otro polinomio conocido como el polinomio de Jones[19]. Puede probarse que efectivamente el polinomio de Kauffman es una solución a dicha ecuación en esta representación aplicando las constricciones, pero es bastante complicado[20]. Una manera alternativa y mucho más simple para ver esto es notar que el polinomio de Kauffman no es más que la transformada de lazo del estado de Chern-Simons.

Todo lo que he platicado hasta ahora se refiere a la parte *canónica* de la teoría, i.e., la cuantización formal de la RG canónica, reescrita en términos de variables de Ashtekar. La cuantización de la geometría se derivó a partir de ésta y llevó a la descripción de *redes de espín* de la geometría cuántica, donde surgen los operadores de área y de volumen a la escala de Planck. Esta parte puede llamarse cuantización a la Dirac. La cuantización a la Feynman se basa en la suma sobre geometrías y se conoce como *espuma de espín*, la cual fue inspirada por los trabajos de Hawking y su grupo en los 70's del siglo pasado.

Para finalizar, los *problemas* de la teoría cuántica de lazos de gravedad son varios. Entre ellos está la consistencia de la teoría, sus pruebas experimentales (no se ha corroborado aún ésta) y la posibilidad de que haga *predicciones nuevas*. Por tanto, la teoría necesita un desarrollo adicional, o quizás una modificación, para ser completa.

Otro gran problema en gravedad cuántica es el problema del tiempo y de su interpretación. Algunos autores sugieren que es necesario identificar un tiempo interno en la teoría en términos del cual ésta podría escribirse como una ecuación de Schrödinger.

Con todo esto se han introducido varias modificaciones a la RG, como las teorías de gravedad modificada de Krasnov, gravedad de Hovara, etc. Sobre nuevas predicciones de gravedad cuántica de lazos podría comentar sobre la posibilidad de la existencia de un *gran rebote* (big bounce) en lugar de otra gran explosión (big bang), la cual sugiere A. Ashtekar en alguno de sus artículos.

Conclusión

No podemos decir que la teoría cuántica de la gravedad ya esté concluida, tanto en el formalismo de lazos como en el de cuerdas y otros (twistores, geometría no conmutativa, triangulaciones dinámicas, etc.). Ya mencioné algunos de sus problemas, en los cuales muchos investigadores siguen trabajando, aunque han pasado ya más de 30 años desde que Ashtekar introdujo sus variables. Lee Smolin dice que la física está en una crisis y muchos físicos también (en crisis personales), como si estuviéramos en un punto muerto. Sin embargo debemos seguir con la búsqueda, y seguir los pasos de los grandes maestros en la actualidad (montarse a hombros de gigantes), como Ashtekar, Rovelli, Smolin, Penrose, Witten (quien aún sigue trabajando por la parte de nudos). Lo que esperamos todos es quizás una predicción dramática, tal como las ondas electromagnéticas, cuando Maxwell unificó la electricidad y el magnetismo, o como la antimateria, cuando Dirac unificó la relatividad especial con la mecánica cuántica

o los agujeros negros y el big bang cuando Einstein unificó la teoría de gravitación de Newton con el espaciotiempo y la relatividad. Algo nuevo deberá surgir con la unificación de la mecánica cuántica y la RG. Habrá que esperar solamente.

Quiero terminar con una frase de Alejandro Dumas en su "Conde de Montecristo", para no terminar como lo hacen John Baez o Carlo Rovelli en sus libros citados en la Bibliografía (los cuales recomiendo ampliamente, sobre todo el de Baez para los que deseen iniciar el estudio en esta área de la física), donde proponen un problema final: obtenga la teoría cuántica de la gravedad y diseñe experimentos para probarla. La frase de Dumas es la siguiente:

"No, no sé a donde voy, no obstante deseo continuar mi camino; si me equivoco los hombres me castigarán, pero Dios me absolverá".

Referencias

- [1] Rovelli, C.: *Quantum gravity*. Cambridge University Press, Cambridge, 2004.
- [2] Smolin, L.: *The trouble with physics*. Houghton Mifflin Company, Boston, 2006.
- [3] Barbour, J.: *The end of time*. Oxford University Press, Nueva York, 2000.
- [4] Barbour, J.: *The nature of time*. arXiv:0903.3489v1, visitado el 2009-00-00.
- [5] Rovelli, C. y Smolin, L.: *Knot theory and quantum gravity*. Phys. Rev. Lett., 61(10):1155, 1988.
- [6] Rovelli, C. y Smolin, L.: *Loop space representation for quantum general relativity*. Nucl. Phys. B, 331(1):80, 1990.
- [7] Ashtekar, A.: *New variables for classical and quantum gravity*. Phys. Rev. Lett., 57(18):2244, 1986.
- [8] Ashtekar, A.: *New hamiltonian formulation of general relativity*. Phys. Rev. D, 36(6):1587, 1987.
- [9] Feynman, R. P.: *Quantum mechanical computers*. Optics News, 11:11, 1985.
- [10] Hawking, S. W.: *A brief history of time. From the big bang to black holes*. Bantam Books, Nueva York, 1988.
- [11] Arnowitt, R., Deser S. y Misner, C.: *Gravitation: an introduction to current research*. L. Witten Wiley, Nueva York, 1962.
- [12] Rosas-Rodríguez, R.: *Alternative variables for the dynamics of general relativity*. Int. J. Mod. Phys. A, 23(6):895, 2008.
- [13] Chern, S. S. y Simons, J.: *Characteristic forms and geometric invariants*. Ann. of Math., 99(1):48, 1984.

- [14] Kodama, H.: *Holomorphic wave function of the universe*. Phys. Rev. D, 42(8):2548, 1990.
- [15] Yang, C. N. y Mills, R. L.: *Conservation of isotopic spin and isotopic gauge invariance*. Phys. Rev., 96(1):191, 1954.
- [16] Baez, J. y P. Muniainn J.: *Gauge fields, knots and gravity*. World Scientific, Singapore, 1994.
- [17] Rosas-Rodríguez, R.: *On the Chern-Simons state in general relativity and modified gravity theories*. J. Phys.: Conf. Series, 545, 2014.
- [18] Kauffman, L. H.: *Knots and physics*. World Scientific, Singapore, 1991.
- [19] Jones, V.: *A polynomial invariant for knots via Von Neumann algebras*. Bull. Am. Math. Soc., 129(1):103, 1985.
- [20] Gambini, R. y Pullin, J.: *Loops, knots, gauge theories and quantum gravity*. Cambridge University Press, Cambridge, 2000.



Ricardo Rosas Rodríguez

Egresado de la licenciatura en física de la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas de la BUAP y de la maestría y doctorado en física en el IFUAP. Actualmente es profesor investigador en la Universidad Tecnológica de la Mixteca.

Universidad Tecnológica de la Mixteca.
Carretera a Acatlima Km. 2.5 Huajuapán de León, Oax.,
México C.P. 69000.
rosas@mixteco.utm.mx

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Ciencias Físico Matemáticas

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>

¿Sabías que...



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

ENTREVISTA AL DR. ALBERTO ESCALANTE HERNÁNDEZ

Sección Local

Dr. Alberto Escalante Hernández

El Dr. Alberto Escalante Hernández estudió la licenciatura en la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y el posgrado en el Instituto de Física “Ing. Luis Rivera Terrazas”. También realizó una estancia posdoctoral en el Observatorio de París. Actualmente forma parte del Grupo de Gravitación y Cosmología del IFUAP y es miembro del SNI en el nivel II.



*...Terquedad, los estudiantes deben de ser muy tercos y dudar de todo...
...(y) deben de tener amor y respeto por el trabajo que se realiza.*

Revista: Podría hablarnos un poco de su área de investigación.

Dr. Escalante: Mi área de interés es la gravedad cuántica, la unificación de la mecánica cuántica con la teoría de la relatividad general de Einstein. Esto es un problema abierto que no se ha resuelto. Por lo tanto, se buscan teorías o modelos alternativos que describan la gravedad, o bien, mejorar la gravedad cuántica (como se conoce actualmente para empatarla con la gravedad) y así obtener una teoría gravitacional cuántica. El tratado se forma desde algo muy clásico hasta algo cercano a la parte cuántica, debido a que los conceptos actuales no pueden aplicarse directamente al campo gravitacional. Es necesario seguir trabajando en ello.

R: ¿Qué lo motivó a hacer una carrera científica?

Dr. E.: Gracias a un profesor de secundaria, Jesús Hernández. Él me acercó a la física y me motivó a la enseñanza. En aquella época, él estaba haciendo su tesis referente a la teoría de la relatividad general. Para mi era un tema desconocido, pero él

me explicó de forma divulgativa el trabajo hecho por Einstein y que era la teoría de la relatividad general. Ahí nació mi amor por la física y decidí estudiar la carrera. De hecho, la teoría de la relatividad general es el tema en el que trabajo.

R: ¿Admira a algún científico?

Dr. E.: A varios. Einstein es la referencia por el trabajo que hago, pero también admiro los trabajos de Landau, Planck, Boltzmann y Maxwell.

R: ¿Cómo cree que debe ser la elección de un área de investigación?

Dr. E.: Creo que todo debe partir de la parte académica, de los cursos. Los investigadores deben ser buenos para dar clases, buenos para investigar y buenos para asesorar. Sin importar el área que sea, mostrar las aplicaciones del tema o del curso, para motivar e interesar a los estudiantes en las diferentes áreas de estudio. Por eso es importante estar actualizado, para poder decirles el camino actual que la ciencia está tomando.

R: ¿Qué nos puede decir acerca de su campo de investigación? ¿cuáles han sido sus aportaciones más importantes?

Dr. E.: Sinceramente, espero todavía no encontrar la respuesta. Es lo bonito de este trabajo, subes un escalón y aparecen nuevos retos, y así continuas subiendo escalón tras escalón. No tengo un trabajo favorito de todo lo que he hecho y espero seguir contribuyendo.

R: ¿Cuál es el proceso que usted sigue para hacer investigación?

Dr. E.: Ocurre algo curioso cuando te apasionas por lo que haces. Para mí hacer ciencia es como hacer arte. En el arte lo importante es que quieres decir y como lo quieres transmitir, y lo mismo ocurre con la ciencia. A veces, la ciencia como el arte, es frustrante. Te puedes encontrar con sentimientos encontrados como desesperación, desilusión o incluso melancolía. Toda una serie de sentimientos que pueden ser plasmados, convertidos y a los que se les puede dar una expresión estética. Lo primero que ocurre cuando se tiene una idea es analizarla, sentir si te emociona, si te agrada. En mi área los cálculos son muy pesados, no puedes estar un día animado y otro no, debes estar totalmente apasionado para no sentir frustración si los cálculos no salen. No desanimarse al ver que otros están publicando y tú no. Todo se puede hacer si hay pasión, por eso es un arte.

R: Hay alguna anécdota que recuerde con gusto de su época de estudiante.

Dr. E.: Cuando realicé mi estancia posdoctoral en el extranjero, estuve en Francia y trabajé con Brandon Carter. Un día, Carter me dijo que en una de las cenas llegaría Stephen Hawking y que tendría que dar un seminario. Entonces, un 23 de mayo del 2008 di mi seminario y recuerdo muy bien la fecha, porque el seminario duró 6 horas. Cada cosa que decía iba seguido del “ve y demuéstalo”. Ya en la última pregunta, después de haber sido cuestionado por 6 horas y tras el “pruébalo” recurrente respondí: es trivial. Todos se empezaron a reír. Carter se levantó, explicó la respuesta y contó una anécdota: en una ocasión, estaba con Stephen Hawking y Dennis Sciama (quien fue asesor de Hawking y Carter) mientras Dirac daba clases. En algún momento Hawking le preguntó a Dirac si creía que cierto paso de la demostración era trivial. Como respuesta Dirac volteó la mirada al pizarrón por 30 minutos, pasado el tiempo, miró a Hawking y respondió, ¡efectivamente es trivial!

R: ¿Cuáles son sus mayores satisfacciones a nivel profesional?

Dr. E.: Me propongo metas, cortas pero alcanzables. Mi objetivo no son los reconocimientos, sino preparar buenos recursos humanos, doctores bien formados con ideas propias, porque eso es lo que se necesita en México. Un estudiante puede sentirse realizado al ver su nombre en una revista plasmando una idea propia. Así también se logra la

trascendencia, no sólo con premios y reconocimientos. Esto es trascender desde la raíz y la raíz son los estudiantes.

R: ¿Es verdad que el estudio de la ciencia esta destinado a unos pocos?

Dr. E.: No, cualquier persona puede hacer ciencia, esto es lo bonito del trabajo. Si te amarran las manos o los pies, no podrás agarrar las cosas o no podrás correr, pero nadie te puede amarrar la mente. Nosotros nos marcamos el límite de las ideas. Así, un joven de 26 años -Albert Einstein- en 1905, llega y publica 5 artículos. Cualquiera puede hacer ciencia, el límite está en cuanto estás dispuesto a sacrificar; ya sea tiempo, familia, personalidad o la salud. Por eso es importante encontrar un equilibrio.

R: ¿Qué cree que se necesita para hacer una carrera científica?

Dr. E.: Terquedad, los estudiantes deben de ser muy tercos y dudar de todo. Hay un mal que aqueja a México, como le decía Octavio Paz en su libro el “Laberinto de la Soledad”, el mexicano no es creyente es crédulo. Así, se puede ver que hay estudiantes que creen en lo que dicen los investigadores sólo porque lo dice el investigador. En cursos, a propósito he dicho cosas mal y no me han cuestionado o refutado.

También deben de tener amor y respeto por el trabajo que se realiza. Por ejemplo, los médicos se sienten orgullosos de ser médicos, los físicos no. El físico menosprecia su trabajo, deberían estar más orgullosos de serlo y de decir, yo nací para esto. No debe de haber desinterés, por ejemplo las personas religiosas se saben de pies a cabeza los versículos, mientras que si le preguntas a un estudiante sobre los armónicos esféricos, puede responder no me acuerdo y dado que es esto los que nos apasiona deberíamos tenerle más respeto. No es necesario memorizarlo todo, claro, pero si manejar de pies a cabeza los conocimientos más básicos.

R: ¿Qué opina de la frase: Sólo la ciencia que se aplica sirve?

Dr. E.: La ciencia básica y la ciencia aplicada sirven. La ciencia aplicada permite ver los resultados de los conocimientos que se van desarrollando, permite ver aplicaciones inmediatas como en el caso de la física médica o la física de partículas. Y aunque la ciencia básica no da resultados de aplicaciones tan inmediatos, completa el desarrollo de la ciencia. Ambas se deben apoyar.

R: ¿Qué opina de la ciencia en México?

Dr. E.: A pesar de que se cree lo contrario, hay mucho reconocimiento en el extranjero de la gente que hace trabajo científico en México. Y eso, se ve cuando viajas fuera del país y te comienzan a preguntar por investigadores. También puede verse con el número de citas, cuando te comienzan a citar -en el extranjero- personas que no conoces. Hay muy buen trabajo en México, el problema es que el mexicano es muy malinchista. Pensamos que no somos buenos, cuando la realidad es otro, aunque tengamos que sortear algunos obstáculos. Sin embargo,

me pasó algo curioso. Cuando trabajaba en el Observatorio de París y mandaba un artículo a publicar, la respuesta de la revista era positiva, sin objeción alguna y en menos de 2 meses. Al llegar a México, envíe otro trabajo a la misma revista, en mi opinión mejor que el enviado desde París y fue rechazado en menos de 2 meses. Así, el primer año fue difícil pero no desistí y hoy en día no tengo ningún problema al publicar.

R: ¿Cuál es su opinión acerca de la educación en México?

Dr. E.: Hay mayor acceso a la información, ya no hay que cargar los libros físicamente basta con cargarlos al iPad, permitiendo economizar el tiempo. Creo que las generaciones recientes pueden no estar aprovechando como deberían la tecnología que tienen a su alcance. Pueden ser buenos para manejar los celulares o las cámaras pero no son buenos para optimizar esa tecnología para el conocimiento. Siempre hay una gaussiana, estudiantes muy buenos y otros que les cuesta más. Además, creo que los profesores, deben de hacer uso de estas herramientas para preparar los cursos. El inconveniente podría ser aquellos estudiantes que no tienen acceso a estos recursos o que pueden pasar más tiempo en las redes sociales que aprovechando las nuevas tecnologías en la generación de conocimiento.

R: ¿Cuál considera que es el papel de la mujer en la ciencia?

Dr. E.: Es admirable, admiro el trabajo de varias mujeres. Por ejemplo, Marie Curie es la única persona que tiene dos Premios Nobel, uno en Física y otro en Química. También admiro muchísimo el trabajo de Emmy Noether o a Lisa Randall con el modelo Randall-Sundrum de dimensiones extras. Hoy en día las mujeres tienen más oportunidades de estudiar, y estudiar lo que quieran, así que no deberían desaprovechar la oportunidad. Somos diferentes genéticamente, pero la igualdad de oportunidades debe existir. Ojalá más mujeres se animaran a estudiar física. Debería aumentar la divulgación de la carrera desde la preparatoria para que más mujeres estudien física.

R: ¿Cómo cree que debería ser la divulgación científica?

Dr. E.: La divulgación debería de realizarse en todos los niveles, a partir de la secundaria para mostrar las alternativas a los jóvenes; enseñarles que hay algo más que derecho o medicina.

R: ¿Qué prefiere la investigación o la docencia?

Dr. E.: Las dos cosas, ambas te complementan. Sólo hacer investigación te desconecta del mundo; interactuar con las

personas y que te hagan preguntas vuelve dinámico el trabajo. No podría dedicarme cien por ciento a la investigación o cien por ciento a la docencia. Lo ideal es tener un equilibrio.

R: Hay alguna anécdota que pueda compartírnos de su experiencia como docente.

Dr. E.: El primer estudiante que gradúe, prácticamente lo gradúe a distancia. Yo estaba en Francia y él estaba en Oaxaca. Lo asesoré a distancia, lo conocí hasta que llegué a México. El resultado de su trabajo de licenciatura fue muy bueno y fue publicado en *Annals of Physics*. Fue mi primer estudiante y era muy bueno, se graduó con honores. Después cuando empezó sus estudios en Inglaterra, me escribió diciéndome que todos los consejos que le había dado le servían mucho. Ganó la pasión, ese sentimiento de escribir queriendo sorprender a todo el mundo.

R: La creencia popular es que los científicos no tienen hobbies. ¿Qué nos puede decir de esto?

Dr. E.: Claro que tenemos hobbies. Juego frontón a mano. Todas las mañanas me despierto a las 6 am y juego 2 o 3 horas. También me gustan mucho los videojuegos como *Zelda*, *Halo*, *Gear of Wars* o *Resident Evil*.

R: ¿Acostumbra a leer libros de literatura o escuchar música? ¿Cuáles recomendaría a nuestros lectores?

Dr. E.: El movimiento 49 de Tchaikovsky y “La noche en que Frankenstein leyó el Quijote” de Santiago Posteguillo, que es un conjunto de historias que han pasado las personas que han hecho literatura. Por ejemplo, narra como Percy Shelley escribió *Ozymandias*, el poema dedicado a Ramsés II. De hecho el libro lleva ese título porque a Mary Shelley se le ocurrió escribir Frankenstein tras leer el Quijote. Estaban Lord Byron, Percy y Mary Shelley en la casa de campo de Lord Byron y apostaron sobre quien podría escribir la mejor novela de terror. Y ganó Mary Shelley. Es un libro que me gusta porque relata como grandes escritores se han inspirado para hacer sus obras, que es algo que también hacemos en la ciencia. Si Victor Hugo se encerró seis meses para escribir *Nuestra Señora de París* también nosotros podemos hacer grandes obras científicas.

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

Resumen

¿Qué tienen en común la cultura maya y las celdas solares?, la respuesta es muy simple: su estrecha relación con el Sol. El siguiente artículo explica los aspectos fundamentales de las celdas solares desde un punto de vista poco explorado, buscando que el lector se familiarice con una de las civilizaciones Mesoaméricas más importantes, los mayas.

Mesoamérica, una de las seis cunas de la civilización, vio nacer a una de las culturas más importantes, influyentes y trascendentales que el mundo ha conocido, la cultura maya.

Los antiguos mayas son conocidos por el legado que han heredado al mundo moderno, por ejemplo, en la arquitectura apreciamos la delicadeza y exactitud en las construcciones que edificaron como la gran pirámide de Chichén Itzá[1], el desarrollo de un sistema de escritura[2], muestra de un extraordinario desarrollo intelectual y la más valiosa aportación a la humanidad, el concepto de cero[3], cuyo uso es universal e indispensable en todas las áreas de desarrollo humano, además de otras aportaciones derivadas de la cosmovisión de esta cultura.

Sin embargo, uno de los rasgos más impactantes de la civilización maya fue el culto desmesurado a las deidades protectoras y dadoras de vida, como su dios sol, K'inich Ahau; tan importantes eran que debían ser honradas con derramamientos de sangre. Así como para estas civilizaciones antiguas el sol era parte crucial de su vida, aún lo es para nosotros. Gracias a él se obtienen los alimentos que necesitamos para nuestra sobrevivencia, regula los ciclos de lluvia, influye directamente en el clima, etc[4]. Pero no es la única aportación que el sol tiene para nosotros, actualmente se ha proyectado como una alternativa a la crisis energética que el mundo enfrenta, ahora es turno del sol de regresarnos un poco de lo que los mayas ya le habían entregado.

Harold Kroto, en 2003, planteó los 10 principales problemas que la humanidad enfrentaría en la primera mitad del siglo XXI, la cual está encabezada por la necesidad de suministrar energía de manera eficiente y económica a la sociedad[5]. Es importante señalar que esta problemática está por encima de otras por las que el mundo atraviesa como el acceso al agua, alimentos y salud. Por ello, la búsqueda de alternativas para generar energía es una tarea urgente en la que la comunidad científica se ha encaminado y por supuesto, ha dirigido su mirada hacia al sol como una potencial fuente energética ¡nos da energía sin ni siquiera pagar por ella!

La manera de transformar la energía luminosa en energía eléctrica es por medio de los dispositivos fotovoltaicos, los cuales basan su funcionamiento en el efecto fotoeléctrico[6]. Variedades de estos dispositivos han sido estudiados y hasta clasificados en 3 generaciones debido a las distintas características que presentan.

Un ejemplo de estos dispositivos son las celdas solares sensibilizadas por tinte (DSSC, Dye Sensitized Solar Cell, por sus siglas en inglés)[7], la funcionalidad de estas celdas ha sido equiparable a la fotosíntesis que las plantas llevan a cabo para obtener su alimento, pero ¿qué son estos dispositivos? ¿cómo funcionan? ¿por qué la comunidad científica se enfoca a estudiarlos?

Brian O'Regan y Michael Grätzel creadores de la DSSC, emplearon un semiconductor (TiO_2 , dióxido de titanio) con una gran capacidad para adsorber en su superficie un tinte basado en rutenio, un electrolito basado en el agente óxido/reductor, yoduro/triioduro y un catalizador en el contraelectrodo (platino), obteniendo un 7 % de eficiencia[8], que en comparación con las celdas de silicio (26 % de eficiencia) es aún un valor muy bajo.

A pesar de ello, la comunidad científica se ha esforzado en la búsqueda de nuevos materiales que sustituyan a aquellos que son escasos y caros como lo es el rutenio, llegando a emplear tintes derivados de frutas, inclusive otros semiconductores o combinación de ellos, obteniendo hasta un 13 % de eficiencia, por lo que este dispositivo se convirtió en una posibilidad para producir energía limpia y renovable. Ahora los esfuerzos están dirigidos a aumentar la eficiencia y mantener la estabilidad de las celdas, por lo que es importante conocer los componentes básicos de una DSSC y su rol.

Así como los mayas extraían el corazón a sus víctimas y lo mostraban palpitando a la multitud extasiada, nosotros podemos ver el palpar de una DSSC cuyo corazón es el óxido semiconductor mesoporoso el cual forma parte del fotoánodo, sin duda el semiconductor favorito de los científicos es el TiO_2 , aunque su primo lejano, el ZnO (óxido de zinc) se ha proyectado como una alternativa prometedora. En el fotoánodo, la microestructura, tamaño de partícula, la porosidad, y la distribución del tamaño de poro juegan un papel crucial en la modulación de las propiedades fotovoltaicas.

Al igual que el corazón mantiene la sangre fluyendo en el cuerpo humano y esta a su vez regula el funcionamiento de los demás órganos, el corazón de la DSSC se encarga de dar soporte a las moléculas de colorante, la sangre de una DSSC, las cuales son las responsables de la producción y transferencia de electrones, estos últimos son las partículas esenciales involucradas en los procesos que permiten a una celda funcionar. Una vez que los electrones son obtenidos

del tinte y transferidos al semiconductor, siguen su camino pasando por un circuito externo y posteriormente llegan a un contraelectrodo; este último tiene la función de transferir los electrones al electrolito que tiene la tarea de regenerar el colorante y entonces cerrar el circuito[9].

Como se ha descrito, una DSSC se compone de diferentes materiales, los cuales pueden ser sustituidos por otros que mejoren las propiedades de la celda. Este es el reto, encontrar los materiales que den la mayor eficiencia, que presenten el menor impacto sobre el ambiente y que puedan durar por años sin mostrar cambios en su estructura ni en sus propiedades. Este es el porqué del interés de investigadores en encontrar la fórmula correcta que resuelva nuestros problemas energéticos.

Mayas, aztecas, popolocas, chichimecas y demás culturas de Mesoamérica buscaban mantener el equilibrio universal y asegurar la victoria del dios sol sobre los enemigos que acechaban escondidos en la penumbra de la noche. Así se libraban las batallas titánicas de estos dioses mitológicos que dirigían el destino de la humanidad. Ahora, en nuestras manos está nuestro destino, nuestra batalla es contra el cambio climático y debemos asegurar la victoria con el sacrificio científico que se hace en cada experimento.



Alfredo Romero Contreras

Egresado de la Facultad de Ingeniería Química de la BUAP y de la maestría en ciencia de materiales del IFUAP, donde actualmente realiza el doctorado.

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.
aromero@ifuap.buap.mx

Referencias

- [1] Fields, V.M. *et. al.: Los mayas: señores de la creación : los orígenes de la realeza sagrada.* Formato grande. Independent Publishing Group, 2005.
- [2] *Los investigadores de la cultura maya.* Universidad Autónoma de Campeche, 2002.
- [3] Construcción, C. T.: *Energía solar fotovoltaica.* Grupo Planeta.
- [4] Instituto Politécnico Nacional: *Sacbé, la ruta maya,* 1999. <http://oncetv-ipn.net/sacbe>, Revisado en Noviembre 2018.
- [5] Kroto, H.: *El memorando de Estocolmo,* Mayo 2011. http://www.nobel-cause.de/stockholm-2011/download/Memorandum_ES.pdf, Revisado en Noviembre 2018.
- [6] Vilorio, J.R.: *Energías renovables: lo que hay que saber.* Paraninfo, 2012.
- [7] Sugathan, V., John, E. y Kumaraswamy, S.: *Fundamentals of Dye Sensitized Solar Cells.* Lap Lambert Academic Publishing GmbH KG, 2015.
- [8] O'Regan, Brian y Grätzel, Michael: *A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films.* Nature, 353:737 EP –, Oct 1991.
- [9] Grätzel, Michael: *Dye-sensitized solar cells.* Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews, 4(2):145 – 153, 2003, ISSN 1389-5567.

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

LA CICLOIDE, LA CURVA DEL RITMO PERFECTO

Sección Hablando de ...

Eréndira Munguía Villanueva

Resumen

Se demuestra la propiedad isócrona de la cicloide, la cual descubrió y utilizó Christiaan Huygens para construir el reloj de péndulo cicloidal. El presente artículo pretende ser un ejemplo de cómo construir conocimientos y habilidades a partir de un problema concreto, y donde las técnicas empleadas no sobrepasan los contenidos del primer año de una licenciatura en matemáticas o ingeniería.

1. Introducción

El Siglo XVII es llamado el “siglo de la física” debido a aportaciones como las de Galileo Galilei, René Descartes e Isaac Newton que dieron origen a la física clásica y al sistema de pensamiento mecanicista. Es un siglo de esplendor económico y científico en Europa, gran parte gracias a la explotación de las colonias europeas en América, África y Asia.

Es también el siglo de la mexicana Juana Inés de Asbaje que en el año 1666 ingresa al convento para convertirse en Sor Juana Inés de la Cruz, poder estudiar latín y continuar su carrera de escritora y filósofa. En Inglaterra en el mismo año otra escritora, Margaret Cavendish, publica el primer libro de ciencia ficción del que se tiene registro “La Descripción de un Nuevo Mundo, El Mundo-Abrasador” (The Description of a New World, Called the Blazing-World), cuyo personaje principal es una joven que descubre un mundo lleno de criaturas y tecnologías fantásticas. Esta es una de entre muchas obras de Margaret, algunas de las cuales no son ficciones sino tratados de Filosofía Natural, o lo que conocemos actualmente como ciencias exactas. Sirve de inspiración a Margarete la correspondencia que sostiene con los diplomáticos y científicos holandeses Constantijn Huygens y su hijo Christiaan Huygens. Además de recibir y enviar cartas a Margaret, Christiaan Huygens dedicó gran parte de su trabajo al problema de la medición del tiempo, y fruto de su dedicación fue la invención del reloj de péndulo en 1656. Tratando de perfeccionar su invento Huygens descubrió las propiedades de la Cicloide que describiremos en este artículo, él mismo da a conocer en 1673 este descubrimiento en su obra “Horologium oscillatorium” con las siguientes palabras:

“El péndulo simple no puede ser considerado como una medida del tiempo segura y uniforme, porque las oscilaciones amplias tardan más tiempo que las de menos amplitud; con ayuda de la geometría he econtrado un método, hasta ahora desconocido, de suspender el péndulo; pues he investigado la curvatura de una determinada curva que se presta admirablemente para lograr la deseada uniformidad. Una vez que hube aplicado esta forma de suspensión a los relojes, su marcha se hizo tan pareja y segura, que después de numerosas experiencias sobre la tierra y sobre el agua,

es indudable que estos relojes ofrecen la mayor seguridad a la astronomía y a la navegación. La línea mencionada es la misma que describe en el aire un clavo sujeto a una rueda cuando ésta avanza girando; en matemáticas se la denomina cicloide, y ha sido cuidadosamente estudiada porque posee muchas otras propiedades; pero yo la he estudiado por su aplicación a la medida del tiempo ya mencionada, que descubrí mientras la estudiaba con interés puramente científico, sin sospechar el resultado.”

En el presente artículo se estudiarán algunas de las propiedades de la Cicloide que menciona Huygens, las herramientas que usaremos serán conceptos de matemáticas y física que pudieran estar contenidos en los cursos de preparatoria de la especialidad de física-matemática. Resaltando que no siempre se necesita una cantidad inmensa de conocimiento para resolver algún problema de matemáticas o sus aplicaciones, a veces basta con manejar herramientas básicas y echar a volar la imaginación y la creatividad.

2. Construcción y propiedades geométricas de la Cicloide

Para dibujar una cicloide podemos simplemente tomar un círculo que rueda sin deslizarse por una línea recta, marcar un punto y seguir su trayectoria durante el rodamiento. Por ejemplo en la figura 1 el punto A yace en la circunferencia que rueda por la línea L , al inicio del movimiento el punto marcado coincide con el punto M , pero conforme la circunferencia gira A describe una curva que va formando arcos, esta curva es la famosa Cicloide.

Si la recta por donde rueda la circunferencia estuviera en una banqueta recién pintada de rojo, entonces la parte de la circunferencia que ha estado en contacto con el suelo se pintaría también. Con esto en mente es fácil deducir que si O el punto de contacto de la circunferencia con la recta L en algún momento del rodamiento, entonces el segmento de circunferencia OA tiene la misma longitud que el segmento de recta MO .

Antes de continuar con nuestro estudio de la cicloide hablaremos sobre una herramienta importante en el estudio de movimientos de rotación.

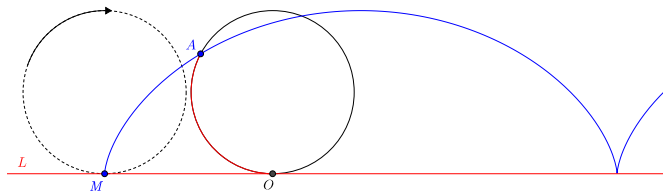


Figura 1

2.1. Velocidad de un cuerpo que gira

La velocidad de un cuerpo en movimiento indica su rapidez, es decir si va más o menos lento, pero también la dirección instantánea del movimiento. Veamos un ejemplo, imaginemos que amarramos una piedra a una cuerda y la hacemos girar. La piedra describirá un movimiento circular si logramos mantener fijo el otro extremo de la cuerda. Claramente este movimiento circular cambiará si la cuerda se rompe, en ese caso la fuerza de tensión de la cuerda desaparece y, despreciando otras fuerzas, la piedra saldrá disparada en la dirección de su velocidad en el momento de la ruptura, esto es, en dirección perpendicular al radio del círculo que describía antes del corte.

Además, recordemos que una recta es tangente a una curva si la recta toca a la curva (localmente) sólo en un punto. Teniendo en mente la simetría del círculo no es difícil convencerse de que la recta tangente a una circunferencia en un punto debe ser perpendicular al radio que pase por dicho punto. Así, para cada punto, la dirección con la que escapa nuestra piedra (esto es, su vector velocidad) y la dirección de la recta tangente al círculo coinciden. Véase la figura 2.

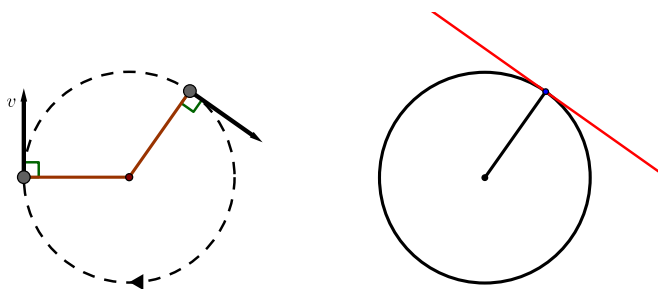


Figura 2

2.2. Centro instantáneo de rotación

Examinemos el movimiento giratorio de una figura plana rígida, por ejemplo un pedazo de cartón, cuando la figura se mueve en un plano de manera tal que un punto O permanece inmóvil en todo momento, mientras que la figura gira alrededor de O . Cualquier otro punto A de la figura en movimiento describe una circunferencia que tendrá como radio el segmento OA , así que la velocidad a la que se mueve el punto A va dirigida perpendicularmente a dicho segmento.

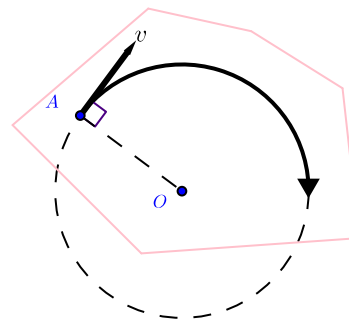


Figura 3

Consideremos ahora un cuerpo que se mueve sobre un plano de manera arbitraria. Pensemos en su movimiento en un instante de tiempo, es decir, no a lo largo de un intervalo de tiempo, sino solamente durante un instante determinado. Imaginemos el tipo de movimientos que realiza durante su desplazamiento arbitrario, como las dimensiones y la forma del objeto no cambian, en cada momento aislado de tiempo efectúa un *movimiento instantáneo* que o bien es un *movimiento de avance rectilíneo* con cierta velocidad instantánea, o bien es de *rotación* alrededor de cierto punto denominado **centro instantáneo de rotación**. El centro instantáneo de rotación es aquel punto que no se mueve en el instante de tiempo que consideramos, mientras que cualquier otro punto A de la figura en movimiento tiene en ese momento una velocidad que no es nula y que está dirigida perpendicularmente al segmento OA .

Regresando a nuestra cicloide, recordemos que para dibujarla hacemos rodar un círculo por una línea inmóvil L sin que resbale. Resulta que en todo momento de tiempo, el punto O de contacto del círculo con L es el centro instantáneo de rotación. Entonces en cada momento el punto A sobre la circunferencia tiene una velocidad instantánea que está orientada perpendicularmente al segmento OA .

La dirección de la velocidad de un punto en movimiento coincide con la tangente a la curva descrita por el punto. Así resulta que la recta que pasa por A en la dirección de su vector velocidad es la recta tangente a la cicloide en dicho punto. Sea D el punto de la circunferencia opuesto por el diámetro al punto O . No es difícil verificar que el segmento AD está contenido en la recta tangente a la cicloide en el punto A (basta aplicar propiedades elementales de los triángulos). Véase la figura 4.

2.3. Evoluta de la Cicloide

A una línea recta que es perpendicular a la tangente de una curva y que pasa por el punto de tangencia, se la denomina *recta normal* a la curva. En nuestro caso la recta que contiene el segmento AO es la normal a la cicloide en el punto A .

Observaremos ahora una de las propiedades más importantes de la cicloide. La figura 5 muestra las rectas normales a la cicloide en varios puntos.

¡Las normales de la cicloide original parecen formar una

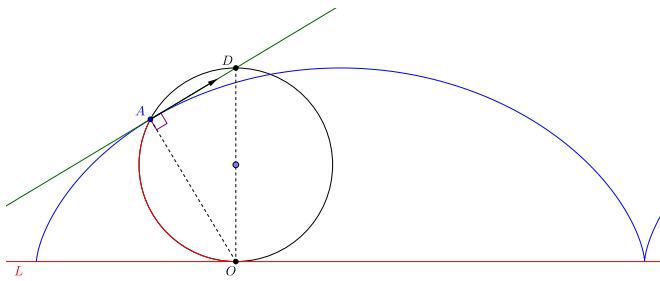


Figura 4

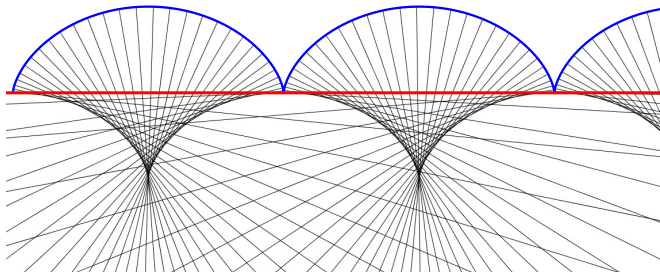


Figura 5

nueva cicloide! Además, si observamos con cuidado veremos que cualquier normal a la cicloide superior es tangente a la cicloide inferior. Si dos curvas K_1 y K_2 tienen la propiedad de que cualquier normal de K_1 es tangente a K_2 y viceversa decimos que K_2 es la *evoluta* de K_1 . Así nuestra observación puede ser reformulada como que la evoluta de la cicloide es igual a ella misma pero desplazada. Demostremos matemáticamente esta propiedad.

Examinemos cierta posición del círculo cuya rodadura por la recta L forma la cicloide superior, llamemos M a la posición inicial del punto marcado de esta circunferencia. Las letras A , O y D tienen el mismo significado que antes. Construyamos un círculo que sea simétrico al que acabamos de examinar respecto al punto O , y supongamos que A' y D' son puntos simétricos a los puntos A y D . Sea L' una recta paralela a L que pasa por D' , entonces la cicloide inferior está generada al seguir el punto del círculo inferior que en la posición inicial coincidía con M , cuando el círculo rueda por L' sin deslizamiento. El segmento MC tiene la misma longitud que la semicircunferencia OD (igual a πr , donde r es el radio de la circunferencia). Por consiguiente, el segmento OC es de la misma longitud que el arco AD . En otras palabras, el segmento $D'Q$ tiene la misma longitud que el arco $D'A'$. Esto significa que el punto A' yace en la cicloide inferior. De las propiedades de las tangentes y normales demostradas anteriormente se deduce ahora (dado que D' es el centro momentáneo de rotación durante la rodadura del círculo por la recta L') que OA' es tangente y $A'D'$ es normal a la cicloide inferior. Puesto que los segmentos OA y OA' son la continuación uno del otro veremos que la normal AA' respecto a la cicloide superior, elegida

arbitrariamente, es una tangente para la cicloide inferior.

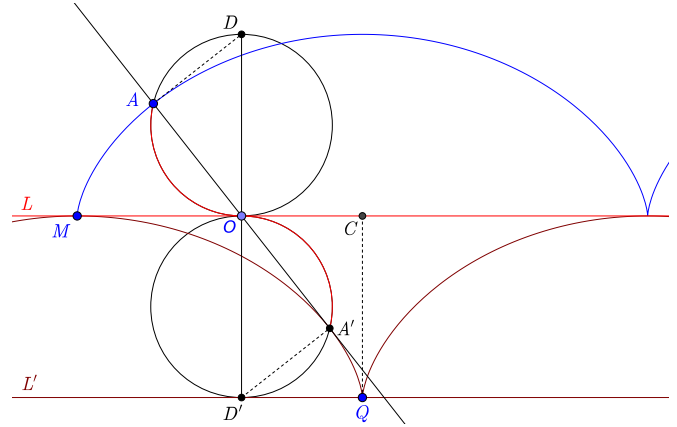


Figura 6

3. La Cicloide en ecuaciones

Hasta aquí, para estudiar todas las propiedades de la cicloide hemos utilizado herramientas elementales de la geometría y algunas nociones intuitivas de física, ni siquiera hemos tenido necesidad de introducir coordenadas. Es hasta ahora que escogeremos un sistema coordenado y usaremos ahora sí algunas herramientas del cálculo diferencial.

3.1. Ecuaciones paramétricas

Por comodidad supongamos que el origen de nuestro sistema de coordenadas coincide con el punto marcado en la posición inicial, es decir el punto M , el eje X con la recta L y que la circunferencia que rueda tiene radio 1. Veamos cuáles son las coordenadas del punto marcado A en un momento determinado del rodamiento de la circunferencia. A esta descripción de los puntos sobre la cicloide en términos de sus coordenadas le llamaremos ecuaciones paramétricas.

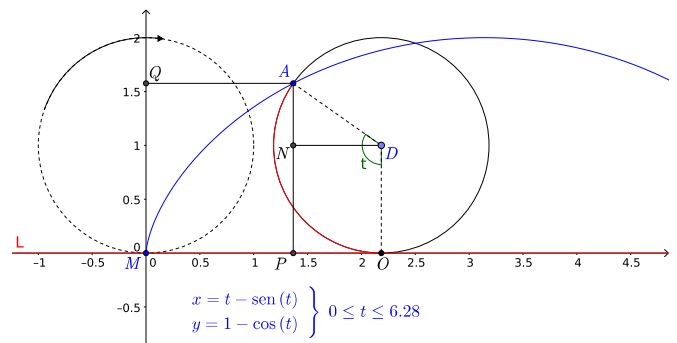


Figura 7

Sea P el punto de intersección de la vertical que pasa por A con el eje X , sea Q el punto de intersección de la horizontal que pasa por A con el eje Y , y sea N el punto de intersección de la horizontal que pasa por el centro D de la circunferencia

y el segmento AP . Entonces la coordenada x del punto A es igual a la longitud del segmento MP , y la coordenada y del punto A es igual a la longitud del segmento MQ . Llamemos t al ángulo $\sphericalangle ADO$. Supongamos por ahora que $\pi/2 < t < \pi$ como en la figura 7. Entonces $\sphericalangle ADN = t - \pi/2$. Como la circunferencia tiene radio 1, el segmento ND es igual al $\cos(t - \pi/2)$, y el segmento NA es igual al $\sin(t - \pi/2)$. Recordemos que $\cos(t - \pi/2) = \sin(t)$ y $\sin(t - \pi/2) = -\cos(t)$. Observemos que si t está medido en radianes, dado que la circunferencia tiene radio 1, la medida de t es igual a la medida del arco OA cuya longitud es la misma que la del segmento MO . Así las coordenadas (x, y) del punto A en nuestro sistema coordenado están dadas por:

$$x = |MP| = |MO| - |PO| = t - \cos(t - \pi/2) = t - \sin(t)$$

$$y = |MQ| = |PN| + |NA| = 1 + \sin(t - \pi/2) = 1 - \cos(t)$$

Se puede demostrar que las ecuaciones se cumplen también para otros intervalos, el primer arco completo de la cicloide corresponde al conjunto de puntos (x, y) que satisfacen las ecuaciones anteriores cuando t varía de 0 a 2π .

Esta manera de describir las coordenadas de los puntos que conforman una curva se conoce como ecuaciones paramétricas porque describen las coordenadas de dichos puntos como funciones del parámetro t .

3.2. Longitud de arco

¿Cuánto medirá un arco completo de la cicloide? ¿Y un segmento de arco? Se puede demostrar que si conocemos la descripción de las coordenadas (x, y) de los puntos que forman una curva, y si éstas están dadas en función de un parámetro t , entonces la longitud del pedazo de curva que va desde el punto correspondiente a t_0 hasta el correspondiente a t_1 está dada por

$$\int_{t_0}^{t_1} \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2} dt$$

Así, tomando al ángulo t como parámetro (véase la figura 7), la longitud de la mitad de un arco de la cicloide está dada por la expresión en (1).

De lo anterior tenemos que un arco completo tiene longitud 8 (cuando el radio de la cicloide es 1). Siguiendo el mismo razonamiento obtendremos que si A es el punto correspondiente a un valor t del parámetro, entonces la longitud del arco sobre la cicloide de M a A está dada por

$$\int_0^{t/2} 4 \sin(u) du = 4 - \cos(u) \Big|_0^{t/2} = 4[1 - \cos(t/2)]$$

$$\int_0^\pi \sqrt{(1 - \cos(t))^2 + (\sin(t))^2} dt = \int_0^\pi \sqrt{1 - 2\cos(t) + \cos^2(t) + \sin^2(t)} dt = \int_0^\pi \sqrt{2 - 2\cos(t)} dt \quad (1)$$

$$= \int_0^\pi \sqrt{2(1 - \cos(t))} dt = \int_0^\pi 2 \sin\left(\frac{t}{2}\right) dt = \int_0^{\pi/2} 4 \sin(u) du = 4 \left[-\cos(u) \Big|_0^{\pi/2} \right] = 4[-\cos(\pi/2) - (-\cos(0))] = 4$$

La longitud del arco sobre la cicloide del punto A al punto más alto la denotaremos por α , está dada por:

$$\alpha = 4 - 4[1 - \cos(t/2)] = 4 \cos(t/2)$$

$$= 4 \cos(\pi/2 - s) = 4 \sin(s)$$

donde s es el ángulo mostrado en la figura 8. Este último cálculo nos ayudará a descubrir otra de las propiedades fascinantes de la cicloide.

4. El péndulo de Huygens

Regresemos al estudio de las normales de la cicloide.

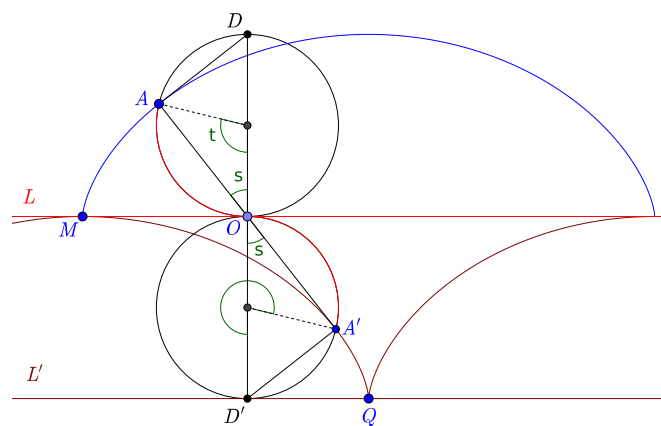


Figura 8

Calculemos la distancia $|AA'|$, como el triángulo OAD es un triángulo rectángulo cuya hipotenusa mide 2, entonces $\cos(s) = |OA|/2$, y como el punto O es el punto medio del segmento AA' entonces

$$|AA'| = 4 \cos(s) = 4 \cos\left(\frac{\pi - t}{2}\right) = 4 \sin\left(\frac{t}{2}\right)$$

Además, por lo que vimos anteriormente la longitud del segmento sobre la cicloide inferior del punto A' al punto Q está dada por

$$\widehat{A'Q} = 8 - 4 \left[1 - \cos\left(\frac{\pi + t}{2}\right) \right] = 4 - 4 \sin\left(\frac{t}{2}\right)$$

Así, si sumamos la longitud del arco sobre la cicloide del punto Q al punto A' más la longitud del segmento $A'A$ el

resultado será siempre

$$\widehat{A'Q} + |AA'| = 4 \sin\left(\frac{t}{2}\right) + 4 - 4 \sin\left(\frac{t}{2}\right) = 4$$

en particular no dependerá de la posición de A , ni del ángulo t .

Imaginemos pues que construimos un péndulo suspendiendo un peso de un hilo entre dos contornos sólidos que tienen la forma de arcos de cicloide. Al oscilar el péndulo, el hilo se ciñe a uno u otro de estos contornos cicloidales. Lo que acabamos de demostrar es que si el hilo mide cuatro veces la longitud del radio del círculo con el que se trazaron las cicloides, en condiciones ideales, el movimiento del peso suspendido describirá una cicloide de las mismas dimensiones. Véase la figura 9 y observe que ésta se obtiene volteando de cabeza la figura 8.

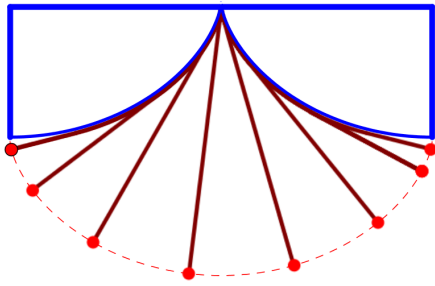


Figura 9

4.1. Ecuación diferencial del péndulo cicloidal

Describamos con mayor detalle el movimiento de nuestro péndulo cicloidal. Supongamos que en el punto Q está sujeto un hilo de 4 unidades de longitud, de cuyo extremo pende un cuerpo P . Consideremos que el hilo que sostiene al péndulo es inextensible y carece de peso. Con los resultados de la sección anterior, y con la suposición de que el hilo es inextensible, podemos afirmar que el cuerpo P se moverá describiendo una cicloide. El péndulo puede considerarse como un punto pesado, es decir, que tiene cierta masa m pero prescindimos de sus dimensiones. De las fuerzas que actúan sobre P tendremos en cuenta, además de la tensión del hilo, la fuerza de gravedad. La fuerza de resistencia del aire se puede despreciar y no consideraremos el rozamiento del hilo contra el tope en forma de cicloide. Aunque sabemos ya muchas cosas del movimiento del péndulo, no tenemos una manera de saber exactamente cuál será su posición en un tiempo determinado si echamos a andar el péndulo. Encontrar estas descripciones es la labor que haremos a continuación usando nuevamente algunos conceptos de física, geometría y una pizca de cálculo.

Supongamos que el cuerpo P se encuentra en cierto instante en un punto A de la cicloide que describe. El punto inferior de esta cicloide lo designaremos por C .

Marquemos las circunferencias que generan las cicloides (seguimos suponiendo que estas circunferencias tienen radio 1). El ángulo en radianes que forma el hilo con la vertical lo denotaremos por s como antes. El punto A se encuentra más alto que C , la diferencia entre estas alturas la denotaremos por h , como el diámetro de la circunferencia es 2, tenemos que $\cos(s) = (2 - h)/|OA|$. Pero como vimos anteriormente, la longitud del segmento $|OA|$ es igual a $2 \cos(s)$. Véase la figura 10. Obtenemos entonces:

$$h = 2 - |OA| \cos(s) = 2 - 2 \cos(s) \cos(s) = 2 \sin^2(s)$$

Como antes denotemos por la letra griega α la longitud del arco de la cicloide de A a C , anteriormente observamos que $\alpha = 4 \sin(s)$, así tenemos que $h = \alpha^2/8$.

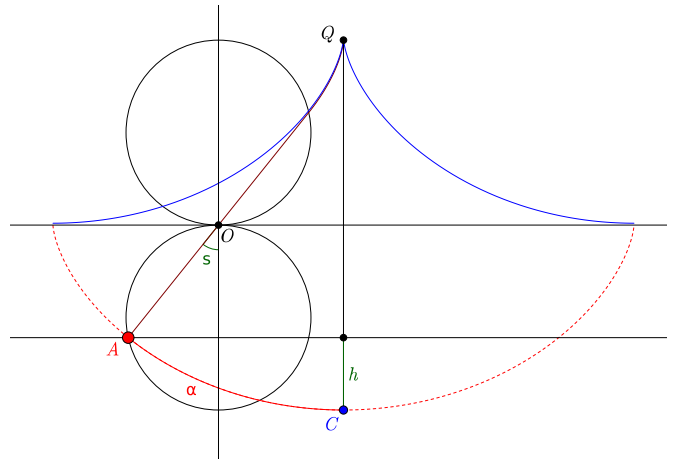


Figura 10

Por esto, considerando que cuando el péndulo se encuentra en la posición C su energía potencial es nula, hallamos que si está en la posición A el valor de dicha energía será

$$W^{(p)} = mgh = mg \cdot \frac{\alpha^2}{8}$$

Denotemos por v la rapidez a la que se mueve el péndulo, su energía cinética tiene entonces el valor

$$W^{(c)} = \frac{mv^2}{2}.$$

Por tanto, la energía total E del péndulo (cuando se encuentra en el punto A) se expresa por la fórmula

$$E = mg \frac{\alpha^2}{8} + \frac{mv^2}{2}$$

Puesto que el péndulo al moverse no realiza ningún trabajo (ya que hemos despreciado las fuerzas de rozamiento y de resistencia), su energía se conserva siempre igual, es decir, la magnitud de E es constante. Manipulando la última igualdad obtenemos

$$\frac{8E}{mg} = \alpha^2 + \frac{4v^2}{g}$$

En el lado izquierdo de esta ecuación aparecen cantidades constantes, las únicas cantidades que varían en función de la posición del cuerpo P son α y v . Como v es la velocidad del cuerpo P y α representa el avance de dicho cuerpo, entonces estas magnitudes están relacionadas: la derivada de α respecto del tiempo es igual a v . De ahora en adelante t denotará el tiempo en segundos (y no un ángulo como había sido anteriormente). Podemos entonces escribir

$$\frac{8E}{mg} = \alpha^2 + \frac{4}{g} \left(\frac{d\alpha}{dt} \right)^2$$

Esta última es una ecuación diferencial, resolverla significa encontrar una expresión de α en función del tiempo. Es decir, una vez encontrada la solución de esta ecuación podremos saber la posición y la velocidad de nuestro péndulo después de t segundos de haberlo soltado para que empezara a oscilar.

4.2. Resolución de la ecuación diferencial para el péndulo cicloidal

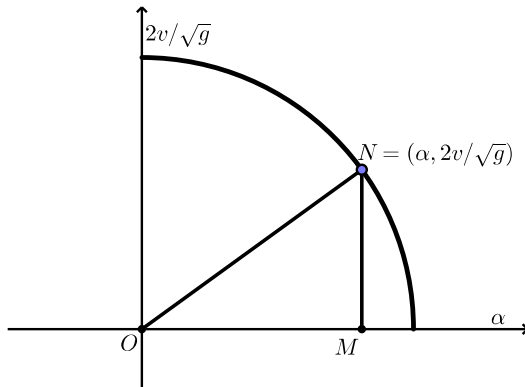


Figura 11

Elijamos un sistema de coordenadas en el plano, tomemos sobre su eje de abscisas la magnitud α y sobre su eje de ordenadas la magnitud $v/2\sqrt{g}$. En cada instante de tiempo t , al cuerpo P le corresponden unos determinados valores del camino recorrido α y de la velocidad v , a su vez estos valores determinan la coordenadas de un punto en nuestro sistema coordinado, llamemos N a dicho punto. Así, en cada instante t el péndulo P se representa por cierto punto N , si conocemos dónde está dicho punto podemos encontrar sus coordenadas α y $2v/\sqrt{g}$. Si O es el origen de nuestro sistema coordinado y M es la intersección de la vertical que pasa por N con el eje de las abscisas, la longitud del segmento ON se puede calcular usando el teorema de Pitágoras

$$|ON| = \sqrt{|MN|^2 + |OM|^2} = \sqrt{\frac{2v^2}{g} + \alpha^2},$$

pero como $\frac{8E}{mg} = \alpha^2 + \frac{4v^2}{g}$ obtenemos $|ON| = \sqrt{\frac{8E}{mg}}$.

Al moverse el péndulo variarán las magnitudes α y v , es decir, el punto N se moverá en el plano en que se tomó el

sistema de coordenadas, pero la distancia de dicho punto al origen será siempre la misma, será igual a la cantidad constante $\sqrt{8E/mg}$. Esto último significa que el punto N se moverá sobre una circunferencia de radio

$$R = \sqrt{\frac{8E}{mg}}$$

Esta circunferencia se llama *circunferencia de fases*. Véase la figura 11.

Hallemos la velocidad con que se mueve el punto N siguiendo la circunferencia. Esta velocidad tiene dirección tangencial a la circunferencia, supongamos que se representa por el vector NA . Descompongamos este vector en su componente horizontal y su componente vertical. La componente horizontal de la velocidad de N corresponde a la velocidad de la componente horizontal del punto N , y la componente vertical a la velocidad de la componente vertical de N .

Es decir, en este caso la componente horizontal NB representará la velocidad de traslación del punto M por el eje de abscisas. Como la distancia al punto M desde O es igual a α , la velocidad del punto M será igual a $v = d\alpha/dt$, es decir, $NB = v$. Por otro lado, partiendo de la semejanza de los triángulos ONM y NAB tenemos

$$\frac{|MN|}{|ON|} = \frac{|NB|}{|NA|}$$

De lo anterior, y como $|MN| = 2v/\sqrt{g}$, obtenemos

$$\frac{2v/\sqrt{g}}{R} = \frac{v}{|NA|}$$

Despejando tenemos

$$|NA| = \frac{\sqrt{g}R}{2}$$

Esta es la magnitud de la velocidad del punto N por la circunferencia (Véase la figura 12).

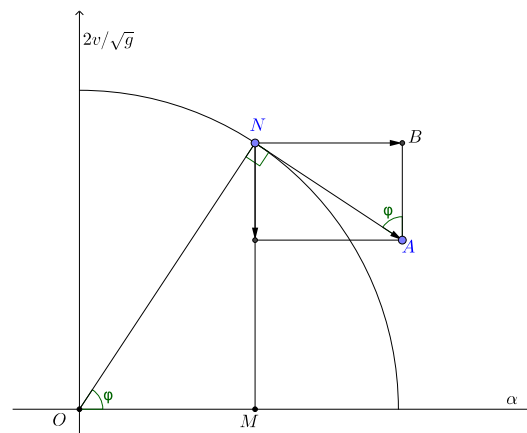


Figura 12

Llamemos α_0 y v_0 respectivamente a la elongación y a la velocidad del péndulo en el instante inicial, y N_0 al punto correspondiente de la circunferencia de fases. Entonces el radio de esta circunferencia tendrá el valor

$$R = \sqrt{\alpha_0^2 + \frac{4v_0^2}{g}}$$

Al cabo de t segundos de comenzar a moverse el péndulo, el punto N que se mueve con rapidez $\sqrt{g}R/2$, habrá recorrido desde N_0 la distancia $\sqrt{g}Rt/2$, por lo tanto, la magnitud del ángulo $\sphericalangle N_0ON$ será en radianes igual a $\sqrt{g}t/2$ (ver la figura 13). De este modo

$$\varphi = \sphericalangle MON = \sphericalangle M_0ON_0 - \sphericalangle N_0ON = \varphi_0 - \frac{\sqrt{g}t}{2}$$

De aquí obtenemos

$$|OM| = R \cos(\varphi) = R \cos\left(\frac{\sqrt{g}t}{2} - \varphi_0\right)$$

$$|NM| = R \sin(\varphi) = -R \sin\left(\frac{\sqrt{g}t}{2} - \varphi_0\right)$$

Recordando que $|OM| = \alpha$ y $|MN| = 2v/\sqrt{g}$, se tiene que

$$\alpha(t) = R \cos\left(\frac{\sqrt{g}t}{2} - \varphi_0\right)$$

$$v(t) = -R \sin\left(\frac{\sqrt{g}t}{2} - \varphi_0\right)$$

Estas fórmulas expresan la elongación y la rapidez del péndulo al cabo de t segundos de haber comenzado su movimiento, es decir, resuelven completamente el problema del movimiento del péndulo con las simplificaciones hechas.

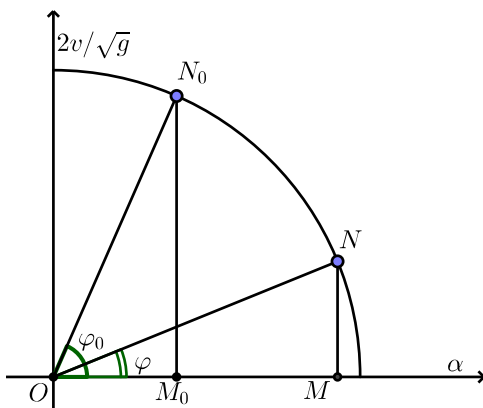


Figura 13

5. Periodo de oscilación

¿Cuánto tardará nuestro péndulo en ir y regresar? Podemos calcular esto usando las ecuaciones que encontramos, el

periodo de oscilación será el intervalo de tiempo T al cabo del cual la posición y la velocidad del péndulo sean las mismas en el instante t y en el instante $t + T$. Es decir, necesitamos encontrar T tal que $\alpha(t) = \alpha(t + T)$ y $v(t) = v(t + T)$.

Como las ecuaciones que rigen el movimiento del péndulo involucran seno y coseno, y éstas funciones tienen periodo 2π , entonces los valores de la expresión $\sqrt{g}t/2 - \varphi_0$ en los instantes t y $t + T$ deberán diferir uno de otro en 2π

$$\frac{\sqrt{g}}{2}(t + T) - \varphi_0 = \frac{\sqrt{g}}{2}t - \varphi_0 + 2\pi$$

Despejando T de esta expresión obtenemos $T = 4\pi/\sqrt{g}$.

La propiedad más importante de este péndulo es que su periodo de oscilación no depende del valor inicial α_0 , es decir, que el péndulo tardará el mismo tiempo en ir y regresar sin importar en qué posición comenzó a oscilar, esta propiedad se conoce como **isócrona**.

6. Conclusiones

A lo largo de este artículo hemos conocido la cicloide, encontrado un método para trazar sus rectas tangentes y normales, demostrado que es igual a su evoluta, todo esto considerando sólo sus propiedades geométricas (sin hacer uso de un sistema de coordenadas). Además de esto, una vez elegido un sistema de coordenadas adecuado, hemos encontrado sus ecuaciones paramétricas y su longitud de arco. Haciendo uso de todo lo anterior hemos demostrado que en un péndulo cicloidal, bajo condiciones ideales, el periodo de oscilación no depende de su amplitud, encontrando y resolviendo las ecuaciones diferenciales correspondientes con métodos elementales.

La autora de este artículo espera que la lectura haya sido amena, y que quien tenga estas páginas en sus manos se anime a descubrir nuevos fenómenos haciendo uso de las herramientas que posea, el conocimiento matemático y físico con que cuente, y una buena dosis de valentía e imaginación.

Referencias

- [1] Boltianski, V.: *¿Qué es el cálculo diferencial?* Lecciones populares de matemáticas. Mir, 1974.
- [2] Boltianski, V. y V. Más: *La envolvente*. Lecciones populares de matemáticas. Mir, 1977.
- [3] Varberg, D., E. Purcell y S. Rigdon: *Calculus*. Prentice Hall, 2000.



Eréndira Munguía Villanueva

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 de 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.

Universidad del Papaloapan

Av. Ferrocarril s/n, Col. Cd. Universitaria, Loma Bonita,
Oax., México C.P. 68400
erendira.munguia@gmail.com

POSGRADO
DS
SEMICONDUCTORES

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

DOCTORADO EN DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES

Admisión 2019
DOCTORADO

BUAP.

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

¿Sabías que...

La UNESCO proclamó el 2019 como el Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos.

La celebración conmemora el 150º aniversario de la creación de la tabla periódica por el químico ruso Dmitri Ivánovich Mendeléyev y permitirá rendir homenaje al descubrimiento de los elementos químicos nihonio (113), moscovio (115), teneso (117) y oganesón (118).

Resumen

En este artículo se considera una forma alternativa de interpretar el campo magnético originado por carga eléctrica en movimiento, con lo cual se obtiene una relación entre los campos eléctrico y magnético, para algunas fuentes de campo magnético.

1. Introducción

Difícilmente alguien no se ha sorprendido al tener en sus manos un imán. En la ciencia y la tecnología actuales el magnetismo es uno de los temas fundamentales y más apasionantes. Si alguna vez has leído un libro de física o llevado durante tus estudios alguna materia de física o electricidad, seguramente te has encontrado con que para entender y describir la fuerza magnética se utilizan ecuaciones matemáticas para calcular el campo magnético. En este artículo revisaremos una de esas ecuaciones, pero desde otro punto de vista y tal vez descubras cosas nuevas para ti.

Primero, recordemos algunos aspectos del electromagnetismo; cuando un pequeño objeto tiene carga eléctrica y se encuentra cerca de otro, habrá entre ellos una fuerza de interacción que es más grande mientras más cerca estén, en comparación a cuando están más alejados. Lo cual se describe mediante las ecuaciones de la fuerza eléctrica o por las ecuaciones del campo eléctrico.

$$F = \frac{kq_1q_2}{r^2} \quad (1)$$

El campo eléctrico se define en relación a una carga y a una fuerza eléctrica. Aunque tiene ventajas al describir la fuerza, es también a través de sus campos eléctricos que interactúan los objetos con carga eléctrica a diferencia de otros que necesitan estar en contacto directo para ejercer fuerza entre ellos. Para un pequeño objeto con carga eléctrica, es decir, una partícula cargada, se puede calcular su campo con la ecuación (2)

$$\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{\mathbf{r}} \quad (2)$$

En algunos libros se encuentra que la ecuación para calcular el campo magnético generado por una partícula cargada en movimiento con velocidad \mathbf{v} es:

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q}{r^2} \mathbf{v} \times \hat{\mathbf{r}} \quad (3)$$

Es aquí donde se puede tratar de analizar el significado físico de esta ecuación, la mayoría de los autores se refieren a \mathbf{v} como la velocidad de la partícula que genera el campo \mathbf{B} ,

pero ¿podría ser un poco diferente lo que en realidad sucede?. Si reflexionamos sobre el campo eléctrico y magnético, en especial sobre su esencia, tal vez nos demos cuenta de que podría no ser una acción a distancia, sino las unidades de campo o partículas de campo las que interactúan entre sí, no a distancia sino una junto a la otra.

Es decir, que la partícula cargada al moverse lleva consigo su campo eléctrico de modo que no sería directamente el movimiento de la carga lo que genera el campo magnético sino el movimiento del campo eléctrico de la carga, por lo cual se podría buscar alguna ecuación que relacione a \mathbf{v} y los campos \mathbf{E} y \mathbf{B} . Si se analizan algunas configuraciones de carga en movimiento como fuentes de campo magnético se puede encontrar lo siguiente:

- para una partícula

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q}{r^2} \mathbf{v} \times \hat{\mathbf{r}} = \mu_0\epsilon_0 \mathbf{v} \times \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{\mathbf{r}} \right) \quad (4)$$

comparando con la ecuación del campo eléctrico (2) se puede notar que

$$\mathbf{B} = \mu_0\epsilon_0 \mathbf{v} \times \mathbf{E} \quad (5)$$

- para un alambre recto muy largo

Los campos eléctrico y magnético de un alambre recto largo con densidad de carga λ y con corriente I , respectivamente

$$\mathbf{E} = \frac{\lambda \hat{\mathbf{r}}}{2\pi\epsilon_0 r} = \frac{\frac{dq}{dL} \hat{\mathbf{r}}}{2\pi\epsilon_0 r} \quad (6)$$

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 I \hat{\mathbf{r}}_t}{2\pi r} = \frac{\mu_0 \epsilon_0 \frac{dq}{dt} \frac{dL}{dL} \hat{\mathbf{r}}_t}{2\pi \epsilon_0 r} = \frac{\mu_0 \epsilon_0 \frac{dq}{dL} \frac{dL}{dt} \hat{\mathbf{r}}_t}{2\pi \epsilon_0 r} \quad (7)$$

$$= \frac{\mu_0 \epsilon_0 \lambda v_d \hat{\mathbf{r}}_t}{2\pi \epsilon_0 r} = \frac{\mu_0 \epsilon_0 \lambda \mathbf{v}_d \times \hat{\mathbf{r}}}{2\pi \epsilon_0 r} = \mu_0 \epsilon_0 \mathbf{v}_d \times \frac{\lambda \hat{\mathbf{r}}}{2\pi \epsilon_0 r} \quad (8)$$

Se puede ver que se obtiene la expresión (5).

- para un anillo con corriente

La carga de un anillo con corriente eléctrica \mathbf{v} no tiene dirección fija, por lo que no se puede aplicar directamente la ecuación anterior, pero sí para un elemento diferencial de alambre:

$$d\mathbf{E} = \frac{dq\hat{\mathbf{r}}_E}{4\pi\epsilon_0 r^2} \rightarrow \mathbf{E} = \frac{qz\hat{\mathbf{z}}}{4\pi\epsilon_0 r^{3/2}} \quad (9)$$

$$\mathbf{v} = \frac{d\hat{\mathbf{r}}}{dt} = -v(-\hat{\mathbf{i}}\sin\phi + \hat{\mathbf{j}}\cos\phi) \quad (10)$$

$$\begin{aligned} d\mathbf{B} &= \mu_0\epsilon_0\mathbf{v} \times d\mathbf{E} = \mu_0\epsilon_0v(\hat{\mathbf{i}}\sin\phi - \hat{\mathbf{j}}\cos\phi) \times d\mathbf{E} \\ &= \mu_0\epsilon_0v(\hat{\mathbf{i}}\sin\phi - \hat{\mathbf{j}}\cos\phi) \times \frac{dq\hat{\mathbf{r}}_E}{4\pi\epsilon_0 r^2} \\ &= \mu_0\epsilon_0v \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cos(\beta_{\hat{\mathbf{i}}, d\hat{\mathbf{E}}}) \\ &= \mu_0\epsilon_0v \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r^2} 1 \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} dB_z &= \mu_0\epsilon_0v \frac{dq \cos(90^\circ - \alpha)}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \mu_0\epsilon_0v \frac{dq \sin(\alpha)}{4\pi\epsilon_0 r^2} \\ &= \mu_0\epsilon_0v \frac{dqa}{4\pi\epsilon_0 r^2 r^{\frac{1}{2}}} = \mu_0\epsilon_0v \frac{\frac{q}{2\pi a} ds a}{4\pi\epsilon_0 r^{\frac{3}{2}}} \\ &= \mu_0\epsilon_0v \frac{dqa}{4\pi\epsilon_0 r^2 r^{\frac{1}{2}}} = \mu_0\epsilon_0v \frac{\frac{q}{2\pi a} ds a}{4\pi\epsilon_0 r^{\frac{3}{2}}} \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} B_z &= \mu_0\epsilon_0v \frac{\frac{q}{2\pi a} a}{4\pi\epsilon_0 r^{\frac{3}{2}}} \int_0^{2\pi} ds = \mu_0\epsilon_0v \frac{\frac{q}{2\pi a} a}{4\pi\epsilon_0 r^{\frac{3}{2}}} \int_0^{2\pi} a d\phi \\ &= \mu_0\epsilon_0v \frac{\lambda a}{4\pi\epsilon_0 r^{\frac{3}{2}}} 2\pi a = \mu_0\epsilon_0 \frac{dl}{dt} \frac{\lambda a^2}{2\epsilon_0 r^{\frac{3}{2}}} \\ &= \mu_0\epsilon_0 \frac{2\pi a}{t} \frac{\frac{q}{2\pi a} a^2}{2\epsilon_0 r^{\frac{3}{2}}} = \mu_0\epsilon_0 I \frac{a^2}{2\epsilon_0 r^{\frac{3}{2}}} \end{aligned} \quad (13)$$

Por tercera vez se tiene la ecuación (5).

Por lo anterior se puede suponer que podría generalizarse la ecuación (5) obtenida:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0\mu_0}} \rightarrow c^2 = \frac{1}{\epsilon_0\mu_0} \rightarrow \epsilon_0\mu_0 = \frac{1}{c^2} \quad (14)$$

$$\mathbf{B} = \frac{1}{c^2} \mathbf{v} \times \mathbf{E} \quad (15)$$

La ecuación (15) describe que un campo eléctrico, que se mueve con velocidad constante \mathbf{v} genera un campo magnético, que se puede calcular mediante la misma. Cuando el campo eléctrico se mueve con rapidez c , la ecuación en magnitud toma la forma:

$$B = \frac{1}{c} E \quad (16)$$

La cual coincide con la relación entre \mathbf{E} y \mathbf{B} para ondas electromagnéticas. La ecuación (15) tiene una forma simple y podría ser de utilidad.

2. Conclusiones

La ecuación obtenida permite calcular de forma simple el vector de campo magnético en términos del vector de campo eléctrico. Mediante un estudio más extenso se podrían analizar los casos, condiciones, posibles excepciones y límites de validez. En cuanto a la interpretación física, es interesante, por ejemplo, el caso del campo magnético de nuestro planeta; así como la relación del mismo con el campo eléctrico correspondiente a la electricidad atmosférica.

Referencias

- [1] Francis, Sears, Roger, Freedman, Hugh, Young y Mark, Zemansky: *Física Universitaria*, volumen 2. Pearson Educación, 9ª edición, 1999.



Olivo Rojas Hernández

Egresado de la licenciatura en física de la Universidad Autónoma del Estado De México. Formó parte del comité de revisión técnica del libro Ecuaciones diferenciales con aplicaciones de modelado, decimoprimer edición de Dennis G. Zill. Actualmente es profesor en el Instituto Tecnológico de Toluca.

Instituto Tecnológico de Toluca.

Av. Tecnológico s/n. Col. Agrícola Bellavista Metepec, Edo. De México, México C.P. 52149
azulcielo1989@gmail.com

LA BIG SCIENCE EN LATINOAMÉRICA ¿CÓMO HACER CIENCIA EN EL TERCER MUNDO?

Sección Opinión

Rafael A. Gutiérrez Guerrero

Resumen

El desarrollo del conocimiento científico ha atravesado un proceso evolutivo desde la simple observación y descripción del mundo hasta la profesionalización de equipos y desarrollo de personas especializadas en sus campos de conocimiento. Si bien es cierto que existen formas homologadas y consensuadas en la práctica de la ciencia, la influencia de los entornos sociales son claves en los indicadores sociales, así como el desarrollo científico y tecnológico para la comprensión de la ciencia en Latinoamérica.

La evolución de la ciencia de una práctica exclusiva para algunos individuos dedicados a la observación y contemplación de la naturaleza hasta la conglomeración de personas dedicadas a una labor de investigación bien estructurada y objetiva; con una gran disponibilidad de recursos económicos y de estructuras diseñadas especialmente para su práctica ha sido posible gracias a la toma de conciencia de su importancia y utilidad para la satisfacción de las necesidades de la sociedad moderna.

La Big Science, la nueva forma de la ciencia en la actualidad se hizo presente a inicios del siglo XX y finales del siglo XIX cuando los conflictos bélicos pusieron a prueba la capacidad organizativa y de innovación de la sociedad humana, dejando al descubierto la relación entre sociedad y ciencia.

En esta relación se hace hincapié en la forma en que las innovaciones científicas han cambiado la concepción del mundo, la interpretación de la realidad y los códigos morales imperantes, pero no sólo eso, sino también cambiaron las relaciones de producción de riqueza, la forma de transformar los recursos naturales y las instituciones encargadas de su práctica. En los anales de la historia, durante la Segunda Guerra Mundial, por primera vez se hizo manifiesta la necesidad de involucrar a la ciencia en el desarrollo de la sociedad y no sólo para la construcción del avance bélico, es decir, se ha convertido, en parte, en un accionar político.

Sin embargo, no es hasta acabada la Segunda Guerra Mundial cuando la investigación científica se convirtió en un componente integral de las universidades modernas de Latinoamérica.

Al término del conflicto armado, tras el triunfo del bando aliado el mundo se dividió en tres posiciones políticas: aquellos que apoyaban el proyecto económico capitalista, encabezado por Estados Unidos de América; el bando comunista, formado por la Unión de Repúblicas Soviéticas y sus aliados y por último, aquellos países con proyectos económicos que presentaban una mezcla de ambas posturas políticas. A este último grupo se le nombró "Tercer Mundo"[1].

Los países que fueron denominados de esta forma tenían características parecidas. Sus economías se encontraban en

transición o en aras del desarrollo y sus condiciones sociales eran inestables, incluso hasta caóticas.

En pocas palabras, este nombramiento conceptualmente se refería a aquellos países cuya economía se encontraba entre las condiciones precarias hasta un desarrollo moderado con vías a acceder a las condiciones económicas de un país de primer mundo (si las condiciones de desarrollo lo permitieran).

Este mundo postguerra se caracterizó por la creación de instituciones de cooperación global para la reconstrucción de los países beligerantes y la reestructuración de la distribución de los recursos globales. Este sistema funcionó para aquellas naciones que se encontraban en el foco del nuevo escenario mundial, ya que pronto cosecharon los bienes invertidos, reflejados en una recuperación lenta pero constante[2]. En contraparte, los países del tercer mundo fueron marginados de tales frutos del nuevo sistema político, dejando en claro las características únicas que las regiones geográficas poseían.

Durante las décadas de los cincuenta y sesenta, muchos gobiernos latinoamericanos crearon consejos nacionales de investigación dedicados a promover y financiar la investigación científica. Las universidades sufrieron reformas educativas con la expectativa de cumplir los objetivos encabezados por el modelo lineal de innovación, que en parte, confiaba en el libre flujo del desarrollo tecnológico por parte de los países más avanzados hacia aquellos que se encontraban en desventaja.

Pese a estos esfuerzos, la cruda realidad se manifestó en la interrupción de la formación académica de los nuevos graduados en disciplinas de investigación para atender las necesidades sociales de sus países, dedicarse a la administración de recursos de los programas creados, lo cual les alejaba del ejercicio de la investigación científica o la interrupción definitiva de su trabajo científico por conflictos bélicos o políticos. El resultado fue una escasa productividad tecnológica en el sector productivo latinoamericano, escasa demanda de conocimientos científicos producidos localmente y, como consecuencia, sistemas científicos escasamente vinculados a los procesos económicos y sociales[3].

En el contexto de la revolución creada por la interpretación de Thomas Kuhn en el papel de la ciencia en la sociedad,

quedó clara la necesidad de una nueva postura para las políticas científicas en la región y fue a través de núcleos de actores de las comunidades científicas que se tomó conciencia de la necesidad de producir un modelo independiente acorde con las características latinoamericanas. Destacándose el carácter marginal de la ciencia en la región y su dependencia a los centros mundiales de poder.

Así, la ciencia latinoamericana se encontraba dirigida hacia actores externos, convirtiéndola en una copia de modelos que no corresponden a las condiciones de los grupos sociales que la generaban.

Las tendencias de globalización mundial dieron la pauta para los nuevos modelos para la práctica de la ciencia. A diferencia del mundo postguerra, las comunicaciones entre regiones del mundo se acortan gracias al avance tecnológico y con ello surgieron nuevos problemas sociales que abordar.

En esta nueva perspectiva mundial, se propone un modelo de fortalecimiento de capacidades en ciencia y tecnología centrado en la producción local de conocimiento que se adapte al nuevo contexto mundial, además, declara la necesidad de implementar políticas que no solo tengan en cuenta la investigación y desarrollo, sino también, las etapas de producción social del conocimiento, que va desde la capacitación técnica hasta la científica. En un burdo ejemplo, pueden existir científicos sin ciencia pero no puede existir ciencia sin científicos.

La experiencia producida en los últimos 80 años nos ha demostrado que si bien pueden existir modelos que intenten explicar y predecir el comportamiento y resultados de los modelos implementados, la realidad puede diferir de la predicción. El panorama para América Latina y el Caribe nos muestra con datos del Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología -Iberoamericana e Interamericana (RICYT) que hacia el año de 1998 la inversión de América Latina en investigación y desarrollo era del 1.7% en comparación a Estados Unidos y Canadá que alcanzaba el 43%, esto de la inversión total mundial en investigación y desarrollo.

Dentro de esta misma región existe una distribución bien diferenciada de la inversión del producto interno bruto por país en ciencia y tecnología, dentro de ese mismo año, Argentina, Brasil y Cuba se destacaron en siendo quienes invertían entre el 0.50% al 0.55% de su PIB, a comparación de México con un 0.32% o países como Guatemala, El Salvador o Panamá cuyos inversiones no fueron mayores al 0.30%. Sale a relucir que América Latina posee una inversión casi heterogénea, lo que nos hace suponer las condiciones similares en que se encuentra la región[4].

Si bien, los datos presentados no muestran un panorama alentador, los datos obtenidos hacia 2014 muestran un crecimiento en la inversión del PIB en ciencia y tecnología, en el caso de México, Chile, Paraguay y Uruguay, se mantiene entre el 0.48% al 1.01% mientras que Brasil y Argentina aún se encuentran a la cabeza con una inversión entre el 1.10% y el 1.55%. Cabe declarar la importancia de la participación del sector público y privado en la inversión de capital para la producción del conocimiento científico y su aplicación, en

contraparte a la región, en países como EE. UU., Canadá y Japón predomina la inversión privada en investigación y desarrollo.

Sería un retroceso el considerar como un sólo indicador de avance la inversión de PIB en ciencia y tecnología para demostrar la realidad de la región, es por ello que surgen otras formas de mesurar este proceso.

Otra declaración del progreso en el avance científico es el número de investigadores y personal relacionado a las actividades científicas, para el año de 1998, en Iberoamérica había 358045 personas relacionadas al gremio, mientras que en 2014 la cifra incrementó a 767893 personas. Esto, junto al incremento de patentes producidas por año, declaran una tendencia de crecimiento para Iberoamérica.

Este crecimiento no es casualidad, si bien es cierto que el trabajo realizado y los modelos seguidos no han sido suficientes para satisfacer los problemas sociales, logísticos y estructurales a los que se enfrentan los gobiernos latinoamericanos, la identificación de capacidades comunes que alienten la cooperación internacional entre científicos y centros de investigación latinoamericanos, así como regionales han sido capaces de producir estrategias de crecimiento, las cuales son las redes científicas, tecnológicas e innovación que aglutinen a científicos, tecnólogos, empresas, universidades y centros de investigación con el objetivo de producir una ciencia propia de la región que le permite entrar al escenario global, además de la creación de proyectos de grandes emprendimientos.

El ejemplo dado por la Unión Europea por el proyecto del Laboratorio Europeo impulsado por el físico de Broglie, que culminó en la creación del CERN[6], puede funcionar como un modelo a seguir para la cooperación entre los países latinoamericanos para la creación de proyectos de colaboración científica que aprovechen los ámbitos en que han ido destacando cada país debido a sus características y condiciones únicas.

1. Conclusiones

La importancia de la cooperación y comunicación entre los países de la región cada vez es más visible debido a la necesidad de aprovechar las fortalezas individuales mostradas en pos del progreso común.

El camino recorrido a través del tiempo ha mostrado la necesidad de cooperación entre los países latinoamericanos, parte del fracaso del modelo de innovación fue la fe ciega en la cooperación desinteresada entre los centros de desarrollo tecnológico de los países de primer mundo con los del tercer mundo, abandonado ese modelo, además de la incapacidad de los primeros para considerar los problemas sociales que enfrentan los países de la región. Por ello, queda de manifiesto que la forma de hacer la Big Science en el tercer mundo tendrá que seguir el camino de la cooperación horizontal entre los países, la modificación de los planes educativos con modelos que sean fieles a las características sociales latinoamericanas, el aprovechamiento de los medios y tecnologías de comunicación

para la creación de un modelo único, donde cada Estado pueda marcar su camino bajo el objetivo del bien común.

Así, la experiencia latinoamericana o la Big Science en la región debe responder al entendimiento de la siguiente cita: “En resumen, queremos entender el mundo, conocerlo. Porque sólo si lo conocemos, podremos hacer uno nuevo, uno más grande, uno mejor.”

Es decir, la satisfacción de las necesidades regionales, en coordinación con la producción de conocimiento científico a nivel mundial[7].

Referencias

- [1] Sauvy, Alfred: *Régime de concurrence et concurrence de régimes*. Revue Économique, 3(6):769–784, 1952. https://EconPapers.repec.org/RePEc:prs:revec:reco_0035-2764_1952_num_3_6_406942.
- [2] Florensa, S.: *El Plan Marshall. En Siglo XX Historia Universal. La guerra fría. La OTAN frente al Pacto de Varsovia(91-102)*, 1984. Madrid: Siglo XXI.
- [3] Albornoz, M.: *Política Científica y Tecnológica Una visión desde América Latina*, 2000. <https://www.oei.es/historico/revistactsi/numero1/albornoz.htm>, Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación.
- [4] Albornoz, M.: *El estado de la ciencia*, 2000. Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología.
- [5] Tecnología, Red de Indicadores de Ciencia y: *Expenditure on R&D as a percentage of GDP 2007-2016*. <http://dev.ricyt.org/ui/v3/comparative.html?indicator=GASTOXPBI>.
- [6] CERN: *Our history*, 2016. <https://home.cern/about/who-we-are/our-history>, Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología.

- [7] Subcomandante Galeano: *Algunas Primeras Preguntas a las Ciencias y sus Conciencias*. Discurso pronunciado en el Festival de las Conciencias con sede en CIDECI-Unitierra, Diciembre 2016.



Rafael Alberto Gutiérrez Guerrero

Egresado de la licenciatura en física de la Universidad de Guadalajara. Actualmente se encuentra en el desarrollo de su tesis bajo la dirección del Dr. Carlos Rafael Michel Uribe.

**Centro de Ciencias Exactas e Ingenierías
Universidad de Guadalajara**

Blvd. Marcelino García Barragán No.1421, Col. Olímpica,
Guadalajara, Jalisco, México. C.P. 44430.

rafael.a.gg9@gmail.com

NOCHE DE LAS ESTRELLAS 2018

Sección Ilustrada

Dr. Felipe Pacheco Vázquez
Responsable de divulgación científica del IFUAP

La Noche de las Estrellas: el origen

Inspirado en el evento público “Les Nuits des étoiles” realizado por la asociación francesa de astronomía desde 1991, en México se realiza año con año desde 2009 y a nivel nacional “la Noche de las Estrellas” (NdeE), el evento de divulgación científica más importante del país. En cada edición, cientos de miles de asistentes se dan cita en varias sedes a lo largo y ancho del país, siendo atendidos por más de 15,000 estudiantes y científicos voluntarios para la observación astronómica.

El objetivo principal del evento es acercar la astronomía a la sociedad en general. Telescopios de todos los tamaños y resoluciones son facilitados por varias instituciones de educación superior e investigación, y se invita además a todas las personas que posean un telescopio a participar en el proyecto, para que lo compartan con otros asistentes en la observación. De este modo, y siguiendo las instrucciones de un guía, se explora el firmamento durante la noche indicada.

La Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) ha participado en la Noche de las Estrellas desde 2011, cuando la Academia Mexicana de Ciencias (AMC) comenzó a dirigir el evento. Desde entonces, más de una decena de académicos de nuestra institución participan en la organización de esta celebración científica que se realiza típicamente en el mes de noviembre, recibiendo a más de 10,000 asistentes cada año. En años anteriores, la sede del evento en la ciudad de Puebla era definida por la AMC y el INAOE. No obstante, dado el papel fundamental que la BUAP había jugado en la organización de la NdeE y al elevado número de profesores, estudiantes e investigadores universitarios que participaban, la ciudad universitaria de la BUAP fue reconocida por la AMC como sede oficial del evento a partir de 2018.

De este modo, el pasado 27 de noviembre, la BUAP recibió a más de 10,000 personas al abrir sus puertas para la “Noche de las Estrellas 2018: Cosmovisiones, las historias del cielo”, que se enfocó en las distintas visiones sobre el cosmos y el origen del universo, desde las culturas prehispánicas hasta nuestros días. En esta ocasión, 17 unidades académicas de la BUAP participaron en el evento. Las actividades fueron organizadas y dirigidas por un grupo interno de académicos, entre ellos, profesores e investigadores de FCFM, IFUAP, FCE, FCC y la Dirección General de Divulgación Científica. El financiamiento para el evento fue proporcionado por la administración central de la Universidad.

Para el evento se registraron casi 200 telescopios. El plan de observación incluyó al sol durante el día, y durante la noche: Saturno, la luna, la estrella doble de Albireo, la constelación de Perseo, la Galaxia de Andrómeda, el cúmulo abierto de

las Pléyades, Aldebarán y M45, en Tauro y el cúmulo de la libélula, en Casiopea; las estrellas del triángulo del Verano, las Constelaciones de la Lira, Cisne, Águila y Auriga; Betelgeuse y Rigel, de Orión, y Sirio, en el Can Mayor, la estrella más brillante del firmamento.

Pero la noche no se limita a la observación astronómica; además, se presentaron más de 140 talleres de ciencia en los que se discutieron experimentos caseros por más de 300 estudiantes de la universidad; se abrieron al público las puertas de 7 laboratorios de investigación, se presentaron 33 conferencias científicas por investigadores de alto perfil de la BUAP y una gran cantidad de actividades culturales.

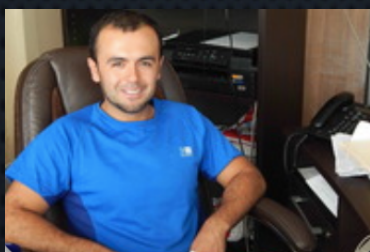
Participación del IFUAP

Junto con la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas (FCFM) que coordina los telescopios y la Facultad de Ciencias de la Electrónica (FCE), el Instituto de Física “Ing. Luis Rivera Terrazas” (IFUAP) se ha convertido en una de las unidades académicas fundamentales en la organización y en el número de actividades que se presentan durante la NdeE.

En la NdeE-2018, el IFUAP participó con 10 talleres científicos. Entre los temas que se presentaron encontramos experimentos de fluidos, como el efecto leidenfrost y el efecto Bernoulli, se explicó cómo funcionan los fuegos artificiales, experimentos sobre el sonido y las figuras de Chladni, electricidad, magnetismo, química y materiales granulares. Además, se abrieron las puertas de tres laboratorios del IFUAP al público: el laboratorio de análisis de superficies, el de microscopía de fuerza atómica y el laboratorio de difracción de rayos X. Por otro lado, se presentaron cinco conferencias en el auditorio del Instituto sobre mecánica cuántica, caos, onnis y otras vaciladas, cristalografía y cosmovisiones prehispánicas. El cierre de conferencias se coronó con un concierto de guitarra clásica y flauta.

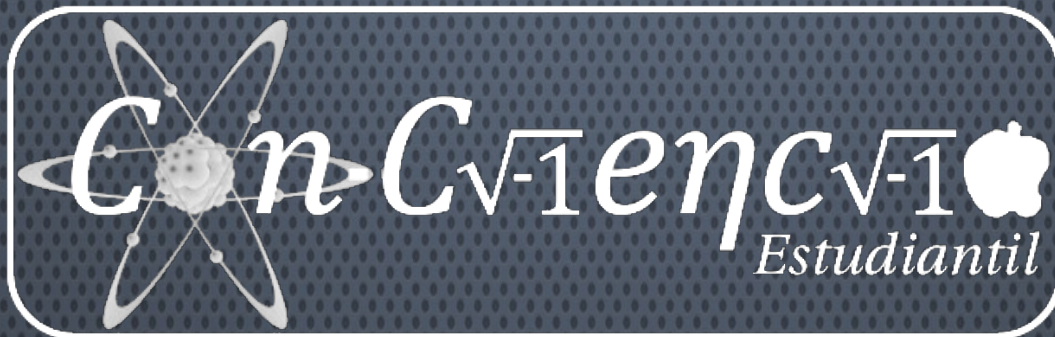
La Noche de las estrellas es un evento para compartir con la sociedad un poquito del conocimiento que hemos adquirido durante nuestra formación como científicos. Es una excelente oportunidad para aprender, enseñar, para acercarnos a niños y adolescentes y sembrar en ellos la semilla de la duda sobre la naturaleza que nos rodea.

Agradecimientos: en esta última edición participaron 16 estudiantes y 14 investigadores del IFUAP, para ellos mi más profundo agradecimiento. Se agradece también a la Dirección del Instituto, al personal de apoyo y administrativo por todo el soporte brindado para la realización del evento.



Dr. Felipe Pacheco Vázquez

Es egresado del doctorado en física aplicada del CINVESTAV-Mérida. Actualmente es profesor en el IFUAP y forma parte del grupo de Materiales Complejos e Inteligentes.



El comité editorial recibe tus propuestas:

Artículos de Divulgación Científica

Reseñas

Semblanzas

Ilustraciones

Fotonota

Infografía

Crónicas Científicas

conciencia.buap@gmail.com