

EPISTEMUS

CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SALUD

UNIVERSIDAD DE SONORA, JUNIO 2011, NÚMERO 10



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

INVESTIGACIÓN

Estudio de la degradación de tomate
Proyectos servicios sustentables
Patrones alimentarios en escuelas
Sistema automático-inteligente
Galletas enriquecidas con fibra

DESDE LA ACADEMIA

Propóleos y su actividad antibacteriana
Gestión del agua doméstica urbana
Importancia de los biocerámicos
Tuberculosis: una enfermedad milenaria

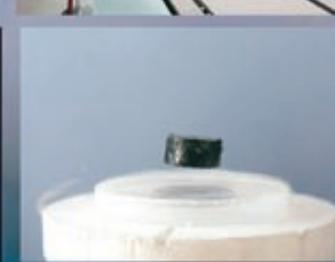
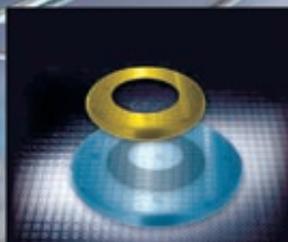
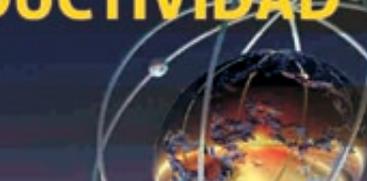
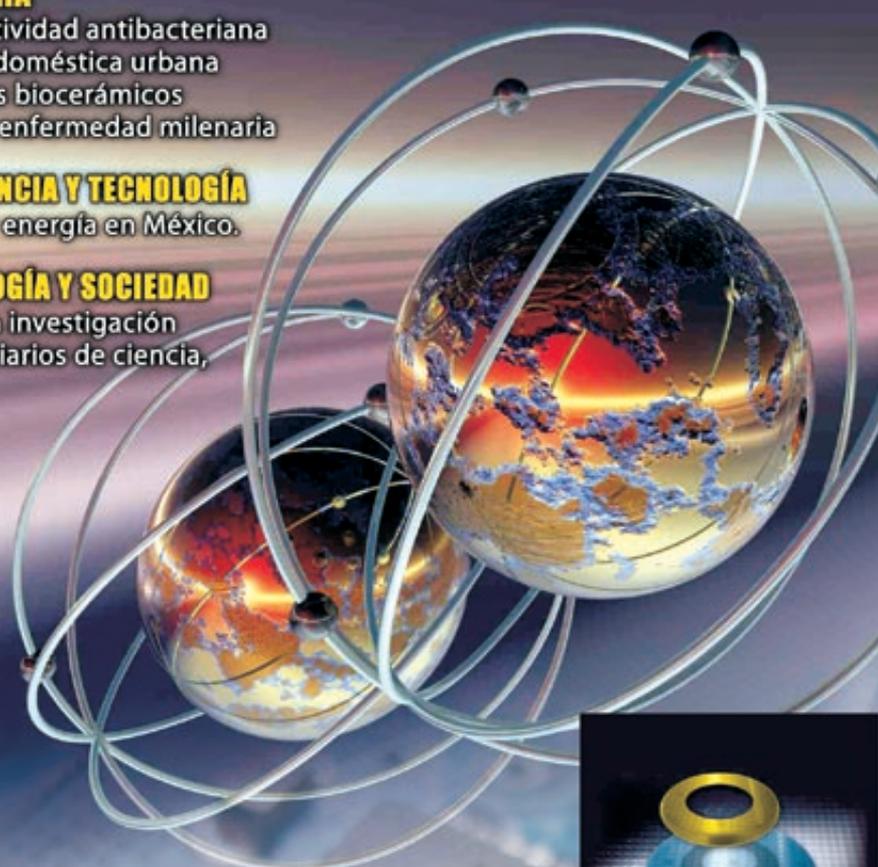
POLÍTICAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Agua, alimentos y energía en México.

CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD

Metodología de la investigación
Noti-ingenio, Breviarios de ciencia,
Cientigramas

100 AÑOS DE SUPERCONDUCTIVIDAD



Indexada en:

Sistema Regional de Información
de Línea para Servicios Científicos
de América Latina, el Caribe, España y Portugal

latindex

ÍNDICE DE REVISTAS LATINOAMERICANAS EN CIENCIAS PERIÓDICA



UNIVERSIDAD DE SONORA

DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS

Programas de Vinculación

Laboratorio de Investigación Consultoría Estadística



OBJETIVO:

Tiene por objetivo proporcionar soluciones a problemas de la sociedad a través de la aplicación y el desarrollo de métodos estadísticos.

Informes:

Dr. José A. Montoya
montoya@mat.uson.mx
Ext. 2457

BAEM

Bufete de Asesoría en Educación Matemática

OBJETIVO:

Ofrece servicios relacionados con la problemática de la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas en todos los niveles educativos.

Informes:

Dra. Silvia Elena Ibarra Olmos
sibarra@gauss.mat.uson.mx
Ext. 2418

El Bufete de Asesoría en Educación Matemática es un organismo del Departamento de Matemáticas de la Universidad de Sonora



LABORATORIO DE INVESTIGACION
Y DESARROLLO EN COMPUTO
AVANZADO

OBJETIVO:

Solución de problemas de los sectores industriales y/o de servicios mediante el desarrollo de sistemas de cómputo avanzado.

Informes:

Dr. Pedro Flores Pérez
pflores@gauss.mat.uson.mx
Dra. María Guadalupe Cota Ortiz
lcota@gauss.mat.uson.mx
Ext. 2450

Dr. Jesús Adolfo Mijárez Sosa

Jefe del Departamento

www.mat.uson.mx ☎ (662) 2592155

CONTENIDO

DIRECTORIO 2

EDITORIAL 3

BASES 4

INVESTIGACIÓN



ESTUDIO DE LA DEGRADACIÓN DE TOMATE POR VIBRACIÓN MEDIANTE INFERENCIA BAYESIANA 5

Armando Ayala Corona,
Manuel A. Rodríguez Medina



PROGRAMA DE SERVICIOS SUSTENTABLES PARA LOS TALLERES DE CARROCERÍA EN LA CIUDAD DE HERMOSILLO, SONORA 9

Andrea Zavala Reyna, Luis Eduardo Velázquez Contreras, Nora Elba Munguía Vega



PATRONES ALIMENTARIOS Y SU RELACIÓN CON EL ESTADO NUTRICIO EN ESCOLARES DE PRIMER GRADO DE DOS ESCUELAS PÚBLICAS DE HERMOSILLO, SONORA 15

Trinidad Quizán Plata, Samuel Galaviz Moreno, Armida Espinoza López, María Esther Orozco García



SISTEMA INTELIGENTE PARA LA GESTIÓN DE UN CENTRO DE DISTRIBUCIÓN BASADO EN LA IDENTIFICACIÓN DE PRODUCTOS 21

Julio C. Encinas, Juan Pablo Soto, Roberto Núñez, Andrés García Higuera.



ÁREAS DE OPORTUNIDAD PARA IMPULSAR LA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE EN IMPRENTAS 27

María Magdalena Romo Ayala,
Amina Marín Martínez



GALLETAS ENRIQUECIDAS CON FIBRA A PARTIR DE SUBPRODUCTOS DE LA MOLIENDA DEL TRIGO 34

Ana Lourdes Romero Baranzini,
María G. Salazar García, Faviola Reyes Pérez,
Ana Leticia García Villa



COMPOSTA VÍTREO-MINERAL PARA FERTILIZACIÓN DE LA CUCURBITA PEPO PEPO 40

Rafael Jordán Hernández, Edilia Cabrera Galo,
Yamilé de la Nuez Pantoja

DESDE LA ACADEMIA



DESCUBRIMIENTO DE LA SUPERCONDUCTIVIDAD 43
Eduardo Verdín López



EL EFECTO MEISSNER Y LA LEVITACIÓN MAGNÉTICA 49
Raúl Pérez Enríquez



PROPÓLEOS, PRODUCTO DE LA ABEJA PARA COMBATIR INFECCIONES 57
Moisés Navarro Navarro, Javier Hernández Martínez, Carlos Arturo Velázquez Contreras



TEORÍA DE BARDEEN, COOPER Y SCHRIEFFER, PRIMERA EXPLICACIÓN MICROSCÓPICA DE LA SUPERCONDUCTIVIDAD 61
Carlos Figueroa Navarro



UNA APROXIMACIÓN DE LOS SISTEMAS EMERGENTES EN LA GESTIÓN DEL AGUA DOMÉSTICA URBANA, CASO: HERMOSILLO, SONORA 67
Arturo Ojeda Cruz



MÉTODO ALTERNO PARA COSTEAR LA PRODUCCIÓN EN INDUSTRIAS DE TRANSFORMACIÓN 74
Jaime Díaz Santana.



IMPORTANCIA DE LOS BIOCERÁMICOS DE FOSFATOS DE CALCIO COMO SUSTITUTOS DEL TEJIDO ÓSEO 79
Martín Antonio Encinas Romero



TUBERCULOSIS: UNA ENFERMEDAD MILENARIA QUE REQUIERE UNA NUEVA VACUNA 85
Adriana Garibay Escobar,
Paola del Carmen Gastélum Aviña

POLÍTICAS EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA



LIMITACIONES NEOLIBERALES AL DESARROLLO SOSTENIBLE EN AGUA, ALIMENTOS Y ENERGÍA EN MÉXICO 89
Osvaldo Landavazo Gracia,
Jorge Luis Taddei Bringas

CTS-EPISTEMUS



METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN: EPISTEMOLOGÍA Y CIENCIA 94
Ricardo Rodríguez Mijangos

NOTI-INGENIO 100

BREVIARIOS DE CIENCIA 102

CIENTIGRAMA 104

EPISTEMUS



UNIVERSIDAD DE SONORA

EPISTEMUS, Año 5, No.10, Diciembre-Junio 2011, es una publicación semestral ARBITRADA y es editada por la Universidad de Sonora, Unidad Regional Centro, a través de las Divisiones de Ingeniería, Ciencias Exactas y Naturales y Ciencias Biológicas y de la Salud. Con dirección en Blvd. Luis Encinas y Blvd. Rosales, Colonia Centro, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora. Tel. (662) 2592136 y (662) 2592157, www.uson.mx, www.ingenierias.uson.mx, pacheco@correom.uson.mx. Editor responsable: Rafael Pacheco Rodríguez. Con fundamento en lo dispuesto por los artículos 173, 174, 175 y 189 de la Ley Federal del Derecho de Autor, 70 y 77 de su reglamento, el Instituto Nacional del Derecho de Autor, de la Secretaría de Educación Pública, otorgó el Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo en el género de Publicaciones Periódicas a la revista EPISTEMUS con la Reserva: 04-2010-020313043300. El ISSN está en trámite. Impresa por Color Express de México, S.A. de C.V. 12 de Octubre, No. 130, Col. San Benito, C.P. 83190, Hermosillo, Sonora, con distribución nacional. Este número se terminó de imprimir el 25 de junio de 2011, con un tiraje de 1,000 ejemplares. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación, siempre y cuando se cite la fuente respectiva y se den los créditos correspondientes.

EPISTEMUS está INDEXADA en el Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal (LATINDEX) y en el Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias: PERIÓDICA. Puede ser consultada en forma gratuita por internet.

REVISTA EPISTEMUS

Universidad de Sonora
Unidad Regional Centro, Edificio 5-M
Blvd. Luis Encinas y Rosales, Colonia Centro.
C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México.
Teléfono: (662) 2592157.
Correo: pacheco@correom.uson.mx
Atn. Rafael Pacheco Rodríguez
Director Ejecutivo



UNIVERSIDAD DE SONORA

Dr. Heriberto Grijalva Monteverde
Rector
Dr. Enrique F. Velázquez Contreras
Secretario General Académico
M.E. Rosa Elena Trujillo Llanes
Secretaría General Administrativa
Dra. Arminda Guadalupe García de León
Peñúñuri
Vicerrectora de la Unidad Regional Centro
M.D.O. Manuel Ignacio Guerra Robles
Director de Vinculación y Difusión

DIRECCIÓN GENERAL

Dr. Jesús Leobardo Valenzuela García
Dr. Mario Onofre Cortez Rocha
M.C. Miguel Ángel Moreno Núñez

DIRECCIÓN EJECUTIVA

Ing. Rafael Pacheco Rodríguez

DIRECCIÓN EDITORIAL

M.C. Olga Barragán Hernández
Fis. Emiliano Salinas Covarrubias
M.C. Sandra M. Gómez Cuadras

COMITÉ EDITORIAL (En este número)

Dr. Gerardo Álvarez Hernández
Dr. Carlos Manuel Bucio Villalobos
Dr. Luis Alberto García F.
Dra. María Isabel Ortega Vélez
M. C. Sandra Mireya Gómez Cuadras
Dra. Amina Marín Martínez
M.C. Andrea Zavala Reyna
M.C. Ely Parada Ruiz
Dra. Rosa Elena Navarro Gautrín
Dr. Ángel Benjamín Gutiérrez Cureño
Dr. Juan Saiz Hernández
M.C. Martín René Sortillón Valenzuela
Ing. Rafael Pacheco Rodríguez
M.C. Alejandrina Bautista Jacobo
Dr. Raúl Pérez Enríquez
Dr. Eduardo Verdín López
Fis. Emiliano Salinas Covarrubias

CORRECCIÓN DE ESTILO

Emiliano Salinas C., Rafael Pacheco R.

DISEÑO

LDG Benito Montaña

IMPRESIÓN

COLOR EXPRESS DE MÉXICO, S.A DE C.V.
12 de octubre, No. 130
Col. San Benito, Hermosillo, Sonora

EDITORIAL

La revista Epistemus, órgano de divulgación científica y tecnológica de la Universidad de Sonora, llega con este número a 10 ediciones, un proyecto que inició hace 5 años, es ahora una realidad en la vida académica de la Universidad de Sonora. Los medios escritos cumplen una función muy importante en la divulgación de la ciencia, pues representan un instrumento de comunicación importante ya que tiene la virtud de ser material que fácilmente se integra a las salas de bibliotecas, por otro lado, ahora con las nuevas tecnologías de la información, se puede tener acceso en forma electrónica y ser parte del acervo científico y tecnológico del mundo. La Universidad de Sonora no contaba con un medio de este tipo, en el que la comunidad académica diera a conocer los proyectos de investigación y las experiencias acumuladas de conocimiento.

Las Divisiones de Ingeniería, Ciencias Exactas y Naturales, Ciencias Biológicas y de la Salud unieron esfuerzos y crearon la Revista Epistemus. Iniciaron en 2006 el proyecto con una edición es semestral, imprimiendo 1,000 ejemplares que se distribuyen a cerca de 120 universidades afiliadas a la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior, (ANUIES), Centros de Investigación del país, dependencias federales y estatales. En el estado de Sonora se hace llagar a todas las bibliotecas de los 72 municipios, a cerca de 120 planteles de educación media superior, a los sectores empresariales, a dependencias gubernamentales y a medios de comunicación. También se envía a instituciones a nivel internacional con las que se tienen convenios firmados. El impacto a la fecha es positivo, se citan algunos ejemplos: los empresarios se contactan con los autores de artículos, los cuales pudieran tener un impacto en el proceso productivo, se ha recibido reconocimiento del sector educativo oficial pues algunos contenidos son investigaciones relacionadas con el proceso de enseñanza aprendizaje y la salud de los jóvenes

Epistemus es ahora un puente de enlace entre la Universidad de Sonora y la sociedad. Un logro importante es la participación de la comunidad académica, pues la han hecho suya. A la fecha han participado 206 académicos con 193 artículos. Los autores participan en otros foros de difusión de su área, impartiendo conferencias y entrevistas en Radio Universidad. En su difusión internacional la revista está Indexada en sistemas de información, por lo que puede ser consultada por internet en su versión electrónica. Los que hacemos revistas impresas sabemos que se

requiere un gran esfuerzo, en tiempo y en recursos económicos por ello, se requiere integrar esfuerzos y experiencias en difusión por lo que promoveremos una Red de Comunicación entre las instituciones o dependencias que editan revistas para promover la cultura científica y potenciar el esfuerzo editorial de las regiones del país y de Iberoamérica.

En esta ocasión, la revista Epistemus dedica esa edición a la celebración de los 100 años del descubrimiento de la superconductividad, uno de los fenómenos más impresionantes que cambió el desarrollo de la ciencia en el mundo. Las Divisiones de Ciencias Exactas y Naturales, y la de Ingeniería, unieron esfuerzos integrando a sus áreas que tienen que ver con la física, la química y los materiales. En el programa académico, que comprendió del 24 de febrero al 12 de mayo del presente año, se impartieron 9 conferencias en la ciudad de Hermosillo y 3 en la ciudad de Navojoa, un curso, demostraciones físicas en laboratorio, mesa redonda, exposición de carteles, difusión en medios de comunicación (radio, prensa, televisión, internet.). Se contó con la presencia de los pioneros de la superconductividad en México, investigadores de la UNAM, del IPN y de la UNISON. El evento a decir del comité organizador, fue un magnífico pretexto para hablar de la ciencia y la tecnología y fortalecer la cultura científica de la sociedad. Epistemus dedica tres artículos especiales de los aspectos más sobresalientes de este tema. Esperamos sea de su interés.

Como en cada número se incluyen las secciones de Investigación, Desde la academia, Políticas de ciencia y tecnología y CTS-Epistemus. Los temas que se abordan son los siguientes: Servicios sustentables en microempresa; alimentación en escuelas; enfermedades crónicas como la tuberculosis; uso sustentable del agua, energía y la alimentación; seguridad industrial en empresas de Hermosillo, nuevos materiales para la calidad de vida; composta para fertilización, galletas enriquecidas con fibra; los propóleos y su actividad antibacteriana; la gestión del agua en la ciudad de Hermosillo, Sonora. Desde luego las tradicionales secciones Noti-ingenio, el Cientigrama en donde se mide sus conocimientos en ciencia y por último, Breviarios de ciencia con un tema para que los analice el maestro en su salón de clase con los alumnos o los pongan en los periódicos murales de las escuelas.

Esperamos sea de su interés

La educación, la ciencia y tecnología son consideradas pilares fundamentales sobre los que se sustenta el desarrollo de un país, por eso es importante fortalecer el enlace entre los que generan el conocimiento y los beneficiados de ello: la sociedad. Uno de los aspectos que distingue a la Universidad de Sonora es la generación de conocimiento y su impacto que tiene en la sociedad. Es así como las Divisiones de Ingeniería, Ciencias Exactas y Naturales y Ciencias Biológicas y de la Salud crearon el proyecto editorial Epistemus el cual, constituye un medio de información y comunicación para dar a conocer, en forma comprensible, las investigaciones realizadas o en proceso, las actividades académicas, las reflexiones en torno a la ciencia y tecnología, la cultura científica y la sociedad, proyectos de vinculación y extensión de la cultura y los servicios.

OBJETIVO

Dar a conocer el conocimiento que se crea, genera y enseña en la Universidad de Sonora con la finalidad de fortalecer la educación, la cultura científica y tecnológica y de la salud de los diversos sectores de la sociedad.

ÁREAS GENERALES DE CONOCIMIENTO

- Ingenierías: materiales, metalurgia, civil, minas, industrial, ambiental, hidráulica, sistemas de información, mecatrónica, alimentos, energía, agua, entre otras.
- Ciencias exactas y naturales: geología, física, matemáticas, electrónica y ciencias de la computación.
- Ciencias biológicas y de la salud: investigación en alimentos, desarrollo regional, acuicultura, salud, biología, agricultura, entre otras.

DIRIGIDA A

Los sectores relacionados con la educación y la investigación, empresarios, dependencias gubernamentales, estudiantes de nivel medio superior, superior y posgrado y sociedad en general.

CONTENIDO DE LA REVISTA

Artículos de proyectos de investigación, reseñas, ensayos, información sobre ciencia y tecnología, eventos relevantes, convocatorias, noticias sobre educación y cultura.

ENFOQUE DE LOS ARTÍCULOS

- Los artículos reflejarán lo más trascendente de la producción académica, los proyectos de ciencia, tecnología y sociedad que se realizan en la universidad y en particular en las tres divisiones académicas.
- Los artículos deberán de hacer mención de la trascendencia de lo expuesto, su impacto en la solución de problemáticas específicas de la sociedad, del sector industrial, de la educación, de la cultura, entre otras.
- Se incluirán artículos que integren y reflexionen en torno a la ciencia, la tecnología y la sociedad, que aporten elementos precisos que permitan profundizar en el análisis y proponer esquemas de colaboración entre los que producen el conocimiento y los beneficiarios o usuarios potenciales.
- El lenguaje escrito debe ser de buen nivel, con el rigor científico pero de divulgación, comprensible para un público no

especializado de nivel bachillerato, empresarios y profesionistas de otras especialidades.

ARBITRAJE

La revista es arbitrada en varios niveles. Comprende dos aspectos:

- Arbitraje académico: En todos los casos, los artículos serán arbitrados por pares académicos.
- Arbitraje de divulgación: Se evaluará el lenguaje y el significado de lo expuesto para que no pierda la idea original al tratarlos como artículos de divulgación. Participan en el arbitraje de académicos, expertos en divulgación científica.

* Se les sugerirán adecuaciones y modificaciones para que sean tomadas en cuenta por los autores. En todos los casos se definirán los tiempos para las correcciones.

CARACTERÍSTICAS DE LOS ARTÍCULOS

- La extensión de los artículos será máximo de 15 cuartillas, con figuras y fotos.
- Incluir fotos y gráficos de buena calidad en jpg o tiff de máxima resolución.
- Utilizar tipo de letra arial de 12 puntos con doble espacio.
- Incluir los datos curriculares de los autores, especificando el área de adscripción, perfil profesional y correo electrónico.
- Las referencias bibliográficas deberán aparecer citadas en el texto con un número entre paréntesis y no ser más de 3 por párrafo.
- Al inicio del texto deberá hacerse una descripción breve del contenido del artículo que no sea mayor de 10 renglones y que dé una idea clara del contenido y logre interesar al lector.
- Respecto a los autores y coautores, el primero que aparezca será el líder; los cuales en el caso del ensayo podrán ser un máximo de 3 y para el caso de los resultados de investigaciones podrán ser hasta 5.
- El número de citas bibliográficas no deberá ser mayor de 10.
- Cuando la colaboración sea en la modalidad de ensayo, hacer uso de subtítulos que faciliten la lectura del texto.
- La presentación del artículo deberá ser en dos versiones: electrónica e impresa en papel, la primera deberá enviarse al director de la revista, al correo: pacheco@correom.uson.mx y al enlace divisional: División. de Cs. Exactas y Naturales (esalinas@correo.fisica.uson.mx), División de Cs. Biológicas y de la Salud (barragan@enfermeria.uson.mx) y División de Ingeniería (smgomez@iq.uson.mx).
- De publicarse el artículo, el autor deberá firmar carta de sesión de derechos de autor, la cual se enviará al director de la revista una vez aprobada su publicación por el comité editorial.

FECHAS DE RECEPCIÓN DE ARTÍCULOS

- Fecha límite de recepción de artículos: 30 de septiembre de 2011.
- Diseño e impresión: noviembre de 2011.

Mayores informes: Con el responsable de la División correspondiente.

ESTUDIO DE LA DEGRADACIÓN DE TOMATE POR VIBRACIÓN MEDIANTE INFERENCIA BAYESIANA

ARMANDO AYALA CORONA,
MANUEL ARNOLDO RODRÍGUEZ MEDINA

*En la industria agrícola la vibración se ha reportado como una de las principales causas de daños durante el transporte de productos perecederos. Algunos resultados acerca de la vibración a la que se ven sometidos los frutos muestran solamente el tiempo esperado de vida, pero no la manera en que cada factor de estrés acelera el tiempo de vida. Dado que al año puede haber hasta dos cosechas de tomate, los resultados obtenidos de una simulación bayesiana hecha considerando a la vibración como factor de estrés pueden ayudar a obtener mayor información acerca del comportamiento de poblaciones de tomate respecto a este factor de estrés. La variedad de tomate que se estudió en el presente trabajo es la *Lycopersicon esculentum* Mill cultivada en invernaderos en la Costa de Hermosillo.*

M.C. ARMANDO AYALA CORONA
Universidad de Sonora, Departamento de Física
Correo: aayala@gmail.com
DR. MANUEL ARNOLDO RODRÍGUEZ MEDINA
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez,
División de Estudios de Posgrado
Correo: manuel_rodiguez_itcj@yahoo.com

INTRODUCCIÓN

Durante el transporte de productos perecederos, estos se ven sujetos a una serie de factores de estrés que afectan tanto sus propiedades como su tiempo de vida, algunos de estos son la temperatura, humedad, luz y vibración. La importancia de manejarlos correctamente impacta directamente en la calidad y puede llegar a ser responsable por pérdidas importantes para los productores. Una de las causas principales de pérdidas durante el transporte de perecederos es el daño producido por la vibración, que en algunos casos se ha reportado ser de hasta un 20% (1).

Aunque los efectos de la vibración en el transporte se ha estudiado y relacionado con daños mecánicos sobre los productos, solamente se muestran resultados acerca de los límites esperados de vida y no la forma cómo este factor de estrés va degradando a los frutos, como en los trabajos de Barreiro (2) y Fabela (3).

En este trabajo se presentan resultados obtenidos de pruebas no destructivas realizadas sobre tomates de invernadero cultivados en la Costa de Hermosillo de la variedad *Lycopersicon esculentum* Mill producidos para exportación principalmente a Estados Unidos.

El análisis de los resultados se llevó a cabo en MS Excel, Minitab R14 y WinBUGS.

MADURACIÓN DEL TOMATE

Aunque los productores de tomate utilizan solamente una tabla de color para determinar el nivel de maduración de frutos (4), Barreiro et al. (2) definen tres propiedades a considerar al momento de estudiar la maduración del tomate: color, firmeza y sabor (azúcar y acidez), según Núñez (5), el color y la firmeza se consideran como propiedades que definen la calidad del tomate. Dado que tanto productores como compradores utilizan el color de la fruta de una manera subjetiva para negociar, se decidió medir la firmeza y utilizar tal propiedad en nuestros experimentos, haciendo a un lado las pruebas de acidez debido a la naturaleza destructiva de tales pruebas, dado nuestro interés por estudiar la evolución del fruto conforme se va degradando.

Para poder utilizar a la firmeza como medición de la maduración del tomate, fue necesario hacer una caracterización para obtener una relación entre los colores manejados en la industria y los niveles de firmeza asociados con cada etapa de maduración. Se midió la deformación ecuatorial del fruto bajo una fuerza de 1 newton. Las muestras fueron tomadas por cinco personas que laboran en los invernaderos haciendo la selección del tomate, a estas cinco personas se les solicitó apoyo en la selección de tomates en cada una de las etapas de maduración, los resultados se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Relación entre firmeza y color de las etapas de maduración del tomate bajo una fuerza de 1 newton (7).

Etapa	Deformación Media (mm)	Desviación Estándar(mm)
Green	0.362	0.041932485
Breaker	0.4372	0.040158021
Turning	0.5068	0.06316117
Pink	0.9912	0.080120742
Light Red	1.3088	0.133113986
Red	2.5208	0.618081171

Se asumió que la población sigue una distribución normal en la deformación bajo una fuerza constante, debido a que se mide el mismo parámetro (deformación) a individuos similares de la población de tomates.

En un trabajo presentado por Vurzabus and Ozguven (6), miden los niveles de vibración en una caja de tráiler en donde encuentran que la vibración oscila entre 8.19 and 12.59 Hz. En otra investigación Fabela y su equipo (3) muestran el tiempo de vida (tiempo en romper la piel) para tomates, aguacates y fresas bajo vibraciones altas: 5 a 10 mm de amplitud y frecuencias entre 20 y 30 Hz.

Un estudio previo (7) nos llevó a considerar que los datos del tiempo de vida de tomates seguían una distribución Weibull, pero dado que el histograma muestra una cola a la derecha, como la de la figura 1, se decidió hacer nuevos análisis de ajuste a otras distribuciones utilizando Minitab R14, los resultados se muestran en la figura 2.

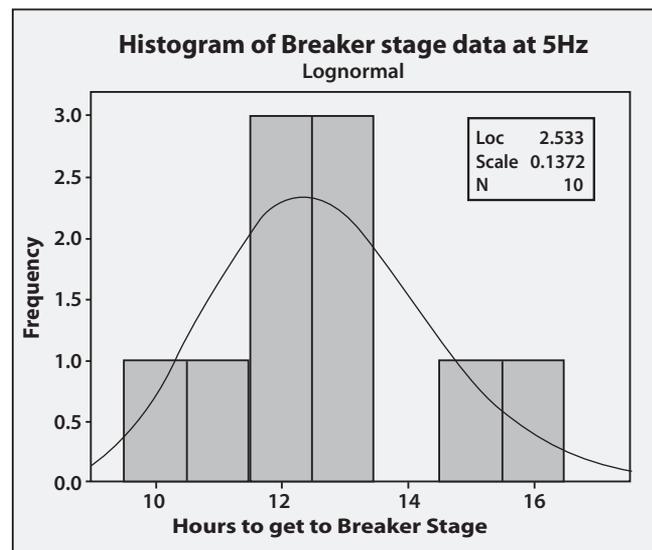
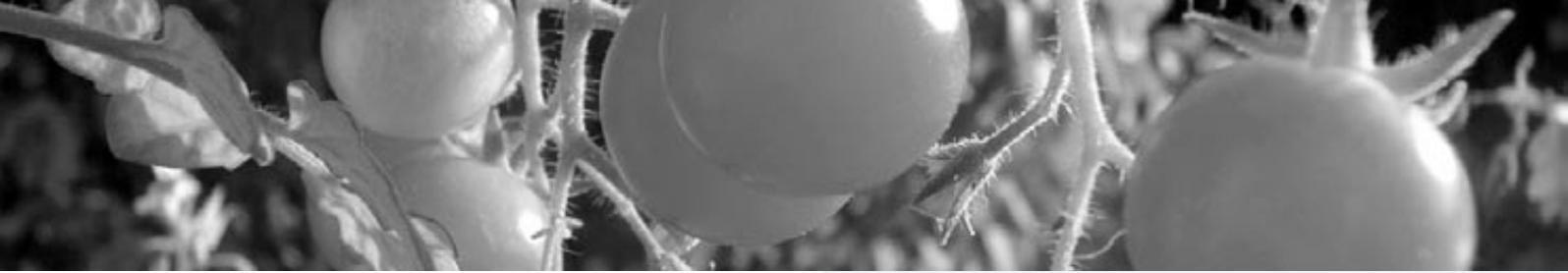


Figura 1. Histograma de los datos en la etapa Breaker bajo vibración de 5 Hz.

La gráfica muestra el comportamiento de los datos bajo un nivel de estrés de 5 Hz, se observa la diferencia entre cuatro distribuciones y sus respectivos coeficientes de correlación: Weibull, Lognormal. Exponencial y



Loglogística. El mismo análisis se hizo con datos a 0, 15 y 30 Hz, obteniendo resultados similares. Tomando en cuenta los valores de los coeficientes de correlación podemos ver que la distribución Lognormal ajusta mejor que la Weibull, por lo cual los siguientes análisis se harán con esta distribución.

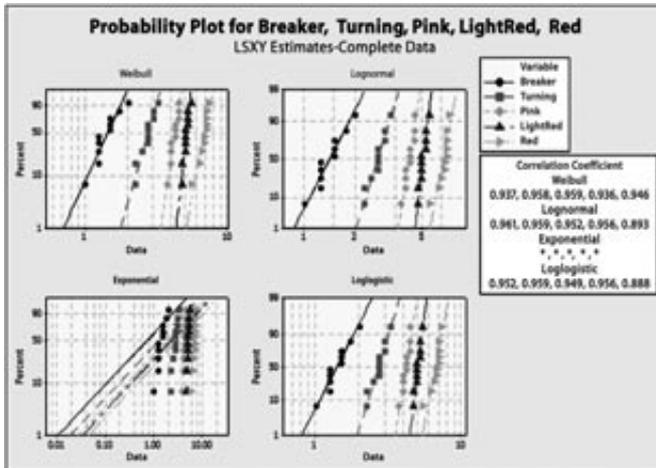


Figura 2. Ajuste de datos bajo vibración de 5Hz para las distribuciones Weibull, Lognormal, Exponencial y Loglogística.

La distribución Lognormal tiene la forma:

$$f(x) = \frac{e^{-\left(\frac{\ln((x-\theta)/m)}{2}\right)^2}}{(x-\theta)\sqrt{2\pi}} \quad (1)$$

donde θ es el parámetro de localidad y m el parámetro de escala. Cada una de las distribuciones obtenidas de datos experimentales puede ser usada para inferir los valores de distribuciones similares o experimentos y así comparar para buscar tendencias que nos permitan asumir un comportamiento de los datos de respuesta contra factor de estrés.

DISEÑO DE EXPERIMENTOS Y ANÁLISIS DE DATOS

Tomando en cuenta los trabajos de Vurzabus and Ozguven (6), así como los de Fabela (3), decidimos colocar varias muestras de tomate bajo vibraciones entre 0 y 30 Hz, 0 para el grupo de control y así medir el paso a través de las diferentes etapas de maduración sin fuentes de vibración y en un ambiente controlado a 25°C y tres valores discretos de vibración: 5, 15 y 30 Hz, a la misma temperatura que el grupo de control, cubriendo de esta forma las frecuencias manejadas por los grupos de Fabela y de Vurzabus, pero

con la diferencia de la amplitud de la vibración, la cual en nuestro caso fue de 1 mm.

En una mesa de vibración corrimos experimentos y a diferentes tiempos se tomaron medidas de deformación. Se considera que un individuo llega a una etapa dada cuando el valor de la deformación está dentro de una desviación estándar alrededor de la media para esa etapa. En cada medición se usó una muestra de 10 individuos (10 tomates), iniciando cada muestra en la primera etapa de maduración (Green) y exponiéndola a uno de los niveles de vibración hasta la última etapa de maduración (Red), haciendo mediciones de tiempo y deformación a intervalos regulares. Los datos se ajustaron a una distribución lognormal.

Se utilizaron los datos sobre el tiempo en llegar a las diferentes etapas de maduración como información previa para hacer una simulación bayesiana del comportamiento del tiempo de vida del tomate bajo esfuerzos de vibración a los niveles de frecuencia mencionados de 0 Hz, 5 Hz, 15 Hz y 30 Hz.

El modelo bajo el cual se simula el comportamiento es el que sigue una relación Arrhenius-Lognormal:

$$\tau = ke^{-\frac{A}{B}T} \quad (2)$$

$$\log(\tau) = \log\left(ke^{-\frac{A}{B}T}\right) \quad (3)$$

$$\log(\tau) = \log(k) - \frac{A}{B}T \quad (4)$$

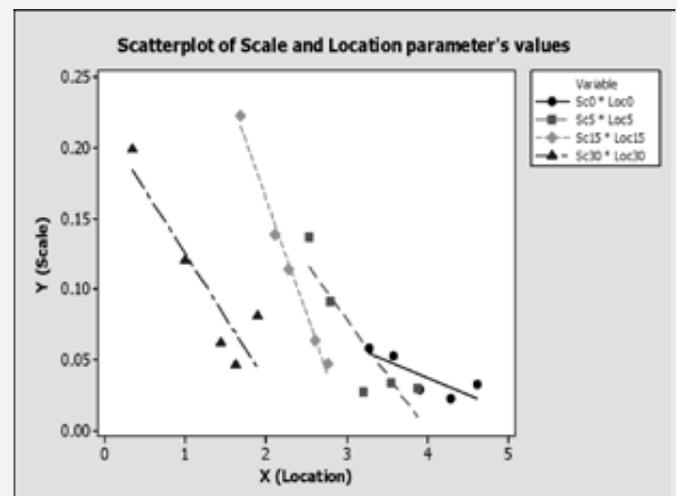


Figura 3. Regresión lineal entre los parámetros de escala y localización a diferentes frecuencias de vibración.

En donde los valores de A y B en la ecuación de Arrhenius tienen que ver con la energía de activación y la constante de los gases respectivamente, mientras que k se relaciona con el tipo de mezcla, tomando en consideración a T como temperatura absoluta. En el caso de este modelo aplicado al tiempo de vida del tomate las constantes A y B se relacionarían con las características organolépticas del fruto al tiempo de corte y el valor de k con características de la población específica de tomates, mientras que el factor de estrés sería el nivel de vibración en hertz. Tomando esto en consideración se llevó a cabo la simulación usando el software WinBUGS (Bayesian Using Gibbs Sampling para Windows) con el cual se realiza el proceso bayesiano de modelación.

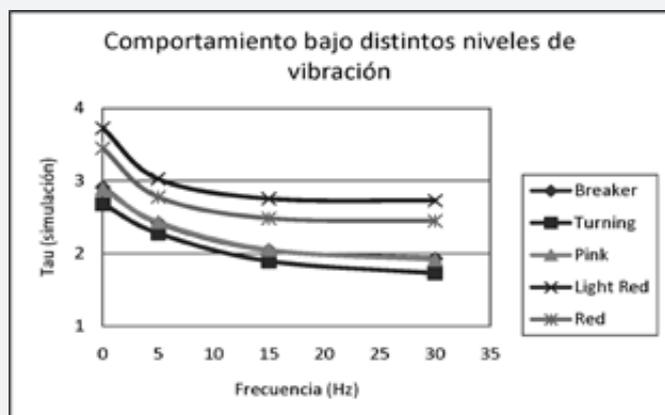


Figura 4. Simulación del comportamiento bajo distintos valores de vibración.

En la figura 4 se presenta la información obtenida de la simulación, el tiempo en llegar a cada etapa de maduración a cada frecuencia de vibración. Aunque tau en la simulación está relacionada con el tiempo, en realidad está presentada según la distribución lognormal y por tanto las unidades de medida son logarítmicas.

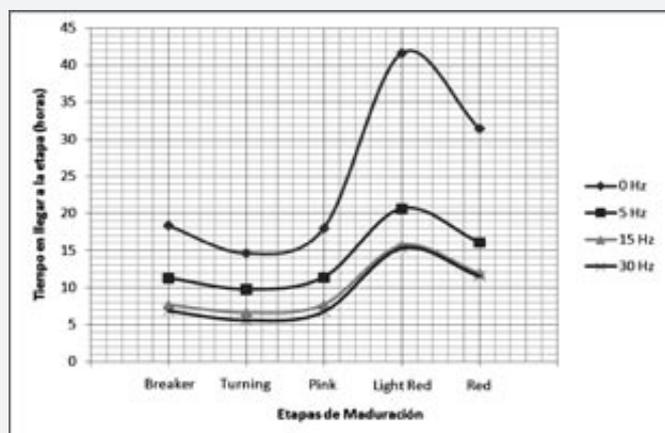


Figura 5. Simulación del comportamiento bajo distintos valores de vibración.

En la figura 5 se presentan los datos obtenidos de la simulación, traducidos a horas. El tiempo mencionado en la gráfica es el tiempo obtenido mediante la simulación después de 10000 actualizaciones.

CONCLUSIONES

La calidad de los productos percederos es afectada por varios factores de estrés que incluyen a la temperatura, humedad, luz y vibración, entre otros. Aunque es ampliamente aceptado que la vibración constituye uno de los principales factores, no existe un modelo aún que explique la maduración de los frutos bajo este factor o la relación tiempo vs. vibración. En este trabajo presentamos los resultados de algunos experimentos que muestran que la vibración afecta el tiempo de vida del producto y es posible considerarlo como un factor de estrés para la maduración del tomate.

Se presentan datos experimentales de la esperanza de vida de diferentes muestras y se encuentra que la distribución que mejor se ajusta es la lognormal.

Los resultados de los experimentos se tomaron como información previa para la simulación bayesiana. Esta simulación arrojó información del comportamiento del tomate bajo la influencia de la vibración como factor de estrés y puede llevar a un modelo del tiempo de vida del tomate como función de la vibración, con lo que se podría explicar la maduración de los frutos en términos del tiempo, bajo la influencia de dicho factor de estrés.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Bollen, A.F. (2006) "Technological innovations in sensors for assessment of postharvest mechanical handling systems". Int. J. Postharvest Technology and Innovation. Vol. 1. No. 1. pages 16-31.
- 2) Barreiro, P., Ruiz-Altisent, M., Valero, C. and García-Ramos, J. (2004) Fruit postharvest technology: instrumental measurement of ripeness and quality. Production Practices and Quality Assessment of Foods Crops, Vol. 3, "Quality Handling and Evaluation", pp. 321-340. Kluwer Academic Publishers. Netherlands 2004.
- 3) Fabela G. Manuel J. et al. (2002). Vibración durante el transporte y su efecto en percederos. Enfoque introductorio. Instituto Mexicano del Transporte – SCT. Publicación técnica No. 188. SanfandilaQro. 2002. ISSN 0188-7297.
- 4) López Camelo, A.F. and Gómez, P.A. (2004). Comparison of color indexes for tomato ripening. Horticultura Brasileira, Brasília, 22(3): 534-537.
- 5) Núñez R., Alma. (2007). Sistema de Control Difuso para el Cultivo de Tomate en Invernadero. Reporte de residencias. Ingeniería en Sistemas Computacionales. ITH. Mayo 2007.
- 6) Vurzabuş, K. and Ösgüven, F. (2004). Determining the Effects of Vibration Parameters and Packaging Method on Mechanical Damage in Golden Delicious Apples. Turk J AgricFor 28. 311-320.
- 7) Ayala, A., Rodríguez, M., López, O., De la Vega, E., Cuamea, G. and Cheu, L. (2009) Modeling of Life-Stress relationship of perishable products. IJIE'09. Anaheim, CA. 2009.

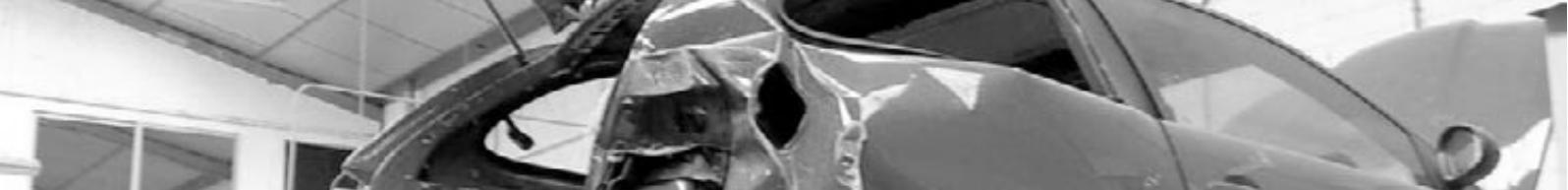
PROGRAMA DE SERVICIOS SUSTENTABLES (PSS) PARA LOS TALLERES DE CARROCERÍA EN LA CIUDAD DE HERMOSILLO, SONORA, MÉXICO

*Las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (MIPYMES)
y su transición hacia un estado de sustentabilidad*

ANDREA ZAVALA REYNA, LUIS EDUARDO VELÁZQUEZ
CONTRERAS, NORA ELBA MUNGUÍA VEGA

Los riesgos ocupacionales y ambientales generados por las actividades de las micros, pequeñas y medianas empresas (MiPyMes) conformado por los talleres de carrocería en la ciudad de Hermosillo requieren que este sector realice cambios graduales en sus empresas que los ayuden a transitar a patrones más sustentables de operación a la vez que sistematizan y formalizan el trabajo. El presente documento propone un Programa de Servicios Sustentables (PSS) para los pequeños talleres de carrocería que integre en sus operaciones técnicas de producción más limpia que permitan prevenir, reducir y/o eliminar los riesgos ambientales y ocupacionales generados por sus actividades.

M.C. ANDREA ZAVALA REYNA
Facultad de Ingeniería de la Universidad
Autónoma de Baja California
Campus Mexicali
DR. LUIS EDUARDO VELÁZQUEZ CONTRERAS
Correo: Luis_Velazquez@industrial.uson.mx
DRA. NORA ELBA MUNGUÍA VEGA
Correo: nmunguiaqindustrial.uson.mx
Departamento de Ingeniería Industrial, Univer-
sidad de Sonora



INTRODUCCIÓN

La industria automotriz, en el sector formado por los talleres de carrocería se caracteriza por utilizar químicos peligrosos que contienen isocianatos, solventes (incluyendo cloro de metileno y thinner), metales pesados (como el plomo y estireno) en sus operaciones, sustancias que pueden tener un efecto potencial adverso sobre la salud de los trabajadores y el medio ambiente. Los isocianatos, por ejemplo, son una de las principales causas del asma ocupacional y los trabajadores que aplican la pintura en spray son los más susceptibles a contraer esta enfermedad, comparados con quienes desempeñan otras actividades^{1,7,8}. Las emisiones fugitivas de solventes, isocianatos, polvo, (el cual posiblemente contenga plomo) y los residuos sólidos peligrosos pueden representar un riesgo considerable, prueba de ello es que la Agencia de Protección al Ambiente (EPA) de Estados Unidos estimó que en el año 2005, el sector de las carrocerías emitió 79,429 toneladas por año de compuestos orgánicos volátiles (VOCs), de las cuales 11,155 toneladas fueron generadas por los pequeños talleres².

En el caso de la ciudad de Hermosillo, se ha demostrado que los pequeños talleres de carrocería operan bajo patrones insustentables¹, razón suficiente para proponer un modelo de un Programa de Servicios Sustentables (PSS), basado en el enfoque de la Producción más Limpia y Prevención de la Contaminación ambiental y adaptado a las oportunidades identificadas y a las condiciones operativas de los talleres hermosillenses⁵.

Por otro lado, este enfoque no sólo incrementará los beneficios al reducir los riesgos, sino que, al ser planteado desde del punto de vista de la sustentabilidad⁴ promoverá la implementación de acciones que permitan proteger al medio ambiente. El programa propuesto se basa en el ciclo de mejoramiento continuo: planeación, implementación, evaluación y corrección, el cual se presenta en bloques con una secuencia lógica dirigido a lograr un mejoramiento continuo hacia la sustentabilidad. Las principales teorías que dan origen al diseño del programa se muestran en la tabla 1 y son resultado de la tesis de maestría titulada "caracterización de los patrones de sustentabilidad en los talleres de carrocerías mexicanas".

Tabla 1. Teorías que avalan el diseño del Programa de Servicios Sustentables (PSS)

Teoría 1	Teoría 2	Teoría 3
Las condiciones actuales de las prácticas ocupacionales y ambientales en los talleres de carrocerías hermosillenses, evidencian que existe un problema de exposición a riesgos a su salud de parte de los trabajadores, además de los riesgos que esas mismas actividades generan contra el medio ambiente.	La actividad en mención se integra en su mayoría por micro-empresas familiares con ingresos mensuales bajos que dificultan una inversión en un programa de servicios sustentables; sin embargo, muestran una gran disposición hacia la implementación de uno en sus instalaciones.	El éxito de la implementación del programa, dependerá en gran medida del compromiso y participación del gobierno, de los propietarios y empleados de los talleres de carrocerías, de los proveedores, de las cámaras de comercio, de las instituciones de educación, centros de investigación y de la sociedad en general.

Fuente: Creación del autor



METODOLOGÍA

Para llevar a cabo la presente investigación se adoptó como diseño metodológico el método de triangulación múltiple, debido a que en él se integra la información de varias fuentes [dueños de los talleres, trabajadores, proveedores y comunidad aledaña a las mismas], instrumentos [encuestas, entrevistas y observaciones] (Pranne, 1999). Este método permitió, en base a la información recabada, obtener una visión más clara de las operaciones y entorno de un taller.

Por otro lado, para obtener información sobre las operaciones realizadas en los talleres de carrocería de la ciudad de Hermosillo, se estudiaron 41 talleres de carrocería a los cuales se les aplicó los cuatro instrumentos de investigación descritos a continuación:

1. Autobody Shops Survey: Este cuestionario fue aplicado al dueño, administrador o responsable de la carrocería. Este instrumento se utilizó en estudios previos por la facultad de la Universidad de Yale y de la Universidad de Lowell, Massachussets, utilizándose para evaluar las operaciones prácticas en una carrocería y las condiciones en que éstas se llevan a cabo.

2. Historia de la salud: El segundo instrumento es un cuestionario diseñado para identificar trabajadores expuestos a los isocianatos¹. Este cuestionario fue diseñado originalmente por la Facultad de la Universidad de Yale y consiste en siete secciones: (i) información general, (ii) empleo actual e información sobre exposiciones, (iii) empleos anteriores e información sobre exposiciones, (iv) historia médica, (v) síntomas actuales, (vi) actividades sociales y (vii) historia familiar.

3. Encuesta para proveedores de las carrocerías: Esta encuesta fue diseñada por miembros de la Facultad de la Universidad de Lowell Massachusetts y de la Universidad de Sonora, para identificar el rol de los proveedores de pinturas en el sistema. La información fue recabada con los administradores de los negocios y contempla tópicos sobre condiciones de seguridad, cantidad de productos vendidos y características de los productos vendidos a las carrocerías.

4. Cuestionario para vecinos de las carrocerías: Este instrumento tiene como objetivo explorar la posibilidad de exposición a solventes, isocianatos y otros químicos peligrosos, derivada de las actividades desarrolladas en un taller de carrocería aledaño, o bien observar si existe alguna evidencia de síntomas/daño en subgrupos susceptibles a las exposiciones. Este instrumento fue aplicado a los vecinos de las carrocerías, los cuales viven a un lado de la carrocería o cuando mucho a 100 metros de distancia.

¹ Los isocianatos son elementos químicos altamente reactivos, de poco peso molecular.

Observación

El propósito de esta fase fue familiarizarse con el sitio donde se realizan los trabajos. Durante los recorridos, se pudo verificar la información recabada con los instrumentos mencionados anteriormente. Fue a través de la observación que se registraron las características específicas de cada una de las carrocerías, principalmente en la descripción del proceso que se sigue para arreglar un automóvil.

PROGRAMA DE SERVICIOS SUSTENTABLES

El Programa de Servicios Sustentables para los talleres de Carrocería (PSSTC) (Figura 1), contempla cuatro etapas para su implementación, dentro de un ciclo de mejoramiento continuo, basado en el ciclo de Deming.

No obstante, para poder iniciar con este ciclo, es indispensable contar con el consentimiento formal del dueño del establecimiento, tal y como lo estipula un programa de producción más limpia.

Etapas 1: Consentimiento de los dueños. Este requisito de formalidad, representa el inicio de un cambio en la mentalidad de los trabajadores de esta pequeña industria, sobre todo porque ya sabemos que los talleres de carrocerías en la ciudad de Hermosillo se caracterizan por una pobre administración, donde los manuales de puestos, de operaciones o funciones raramente existen, por lo que plasmar el compromiso en papel permitirá llevar un mejor desempeño en las siguientes fases.

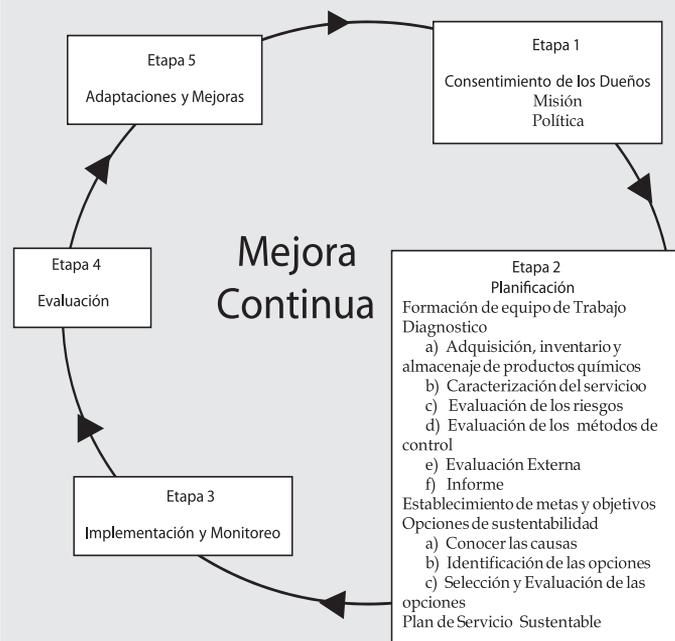


Figura 1. Programa de servicios sustentables para los talleres de carrocería (PSSTC)

Fuente: Creación del autor



Etapa 2: Planificación. La fase de planificación del programa de servicios sustentable abarca desde la formación y preparación de los equipos de trabajo, un diagnóstico, el establecimiento de metas y objetivos, así como conocer y evaluar las opciones de sustentabilidad aplicables y diseñar un plan de servicio sustentable para el establecimiento.

Formación del equipo de Trabajo: Lo ideal es que el equipo de trabajo esté integrado por al menos, un asesor externo, el dueño del taller y un trabajador. El rol del asesor externo puede ser llevado por algún académico, estudiante de posgrado o algún funcionario de gobierno, sobre todo de las agencias relacionadas con el área ambiental u ocupacional.

Diagnóstico. El objetivo del diagnóstico es identificar todos los datos que podrían ser útiles para revelar los riesgos ocupacionales, ambientales generados por las actividades de un taller de carrocería y que servirán como base para establecer objetivos y metas.

a) Adquisición, Inventario y almacenaje de productos químicos. Este paso consiste en identificar los aspectos generales de la adquisición, inventario y almacenamiento de los productos químicos.

b) Caracterización del Servicio. El proceso se debe analizar mediante un diagrama de flujo de proceso que contiene los símbolos para identificar los elementos que conforman el proceso, el proceso de restauración y pintado de un automóvil se conforma de dos estaciones de trabajo, carroceado y pintura.

La figura 2 muestra un ejemplo de la caracterización del servicio de pintado del automóvil utilizando diagramas de bloques.

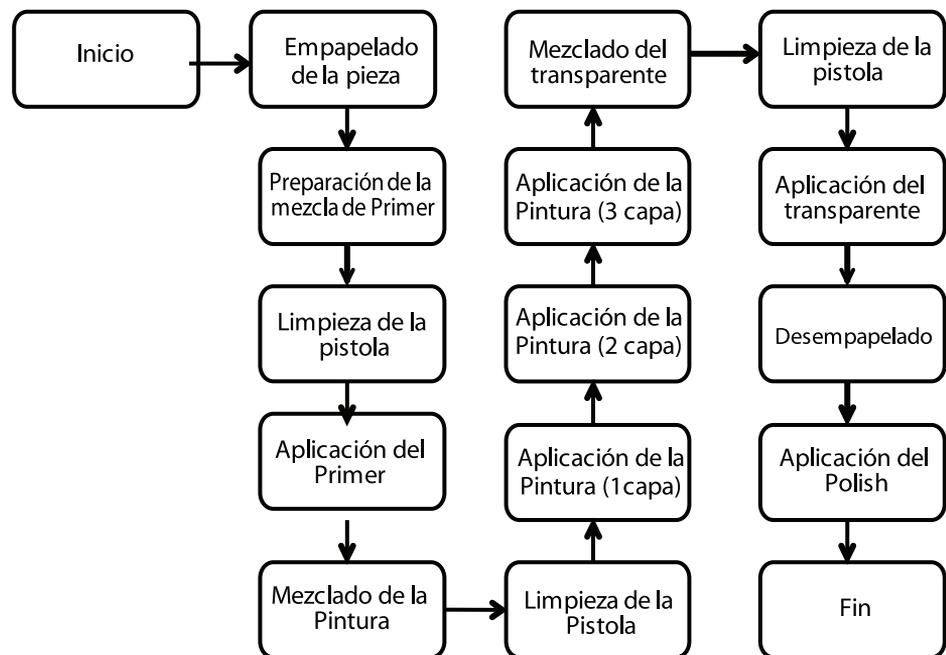


Figura 2. Diagrama de bloques del proceso de pintado de un automóvil
Fuente: Creación del autor

c) Evaluación de los Riesgos. La caracterización del servicio facilitará la identificación de las fuentes de riesgos ocupacionales y ambientales y por ende permitirá evaluarlos por diferentes métodos. En un taller de carrocería, se generan riesgos químicos (Ver foto 1), físicos (Ver foto 2) y ergonómicos (Ver foto 3) y otros riesgos (Ver foto 4). Asimismo, se generan riesgos ambientales como contaminación de aire, agua y suelo, razón por la cual es importante para el programa evaluar el probable daño que se pueda causar a la salud y al medio ambiente.



Foto 1 y 2. Trabajadores de carrocería expuestos a riesgos químicos y físicos



Foto 3 y 4. Trabajadores de un taller de carrocería trabajando bajo condiciones de riesgo ergonómico y otros riesgos.

Las evaluaciones de los riesgos ocupacionales identificados dependerán del tipo de riesgo, por ejemplo, para evaluar el nivel de exposición a ruido, es necesario apearse a los procedimientos que se indican en la NOM-11-STPS-2001, referente a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido.

En el caso de los riesgos ambientales que se identifiquen, podrán utilizarse métodos dependiendo también del tipo de riesgo. Por ejemplo, para evaluar el riesgo por emisiones a la atmósfera de VOC (Compuestos Volátiles Orgánicos) se sugiere utilizar el método proporcionado por la Wisconsin Department of Natural Resources (WDNR) el cual consiste en multiplicar la cantidad de galones de materiales utilizados en un mes por la cantidad de VOC de cada material, cantidad que se obtiene de la Hoja de Seguridad de cada material utilizado.

d) Evaluación de los métodos de control. Esta evaluación, debe realizarse para identificar y evaluar los controles de ingeniería y administrativos, así como el equipo de protección personal que utilicen en el establecimiento para proteger a los trabajadores contra los riesgos de trabajo.

e) Evaluación Externa. Toda organización necesita de la interacción con sus clientes para mantenerse en el mercado, así como de otros grupos de interés. Razón, por la cual, la creación, implementación y operación de un Programa de Servicios Sustentables, deber estar vinculada con los clientes y con otros grupos relacionados con la empresa. Los factores externos, son aquellos en los cuales el taller de carrocería no tiene control directo, como el marco jurídico, las nuevas tecnologías, los vecinos, grupo protección civil, proveedores, entre otros.

d) Elaboración de informes. Es con esta parte, que el diagnóstico concluye, es decir, cuando el proceso ha sido caracterizado satisfactoriamente y los principales riesgos ambientales y ocupacionales han sido identificados y evaluados. La misión, la política, el objetivo estratégico del programa y los resultados de este informe representan la base para establecer los objetivos y metas del programa.

Establecimiento de metas y objetivos. Es en este punto, cuando el diagnóstico ha puesto de manifiesto las áreas en las cuales se debe centrar el equipo de trabajo para establecer los objetivos del programa. Estos objetivos, servirán como directrices específicas que deben cumplirse en un corto plazo. Los objetivos deben estar claramente indicados en el programa escrito, además deben ser comprensibles, alcanzables y medibles. Las metas, son medidas cuantificables para alcanzar los objetivos.

Opciones de Sustentabilidad. Para poder cumplir con el objetivo de prevenir, eliminar y/o eliminar los riesgos ocupacionales y ambientales se deben proponer opciones de sustentabilidad que vayan de acuerdo a los objetivos y metas planteados.

a) causas. Un riesgo no se elimina, sólo porque fue identificado; es necesario conocer las causas que lo originan. Los diagramas causa-efecto o diagramas de Ishikawa representan una gran ayuda para explorar las causas que dan lugar a los riesgos ocupacionales o ambientales identificados. La figura 3, muestra el ejemplo de un diagrama de Ishikawa para el riesgo de exposición a mezclas químicas.

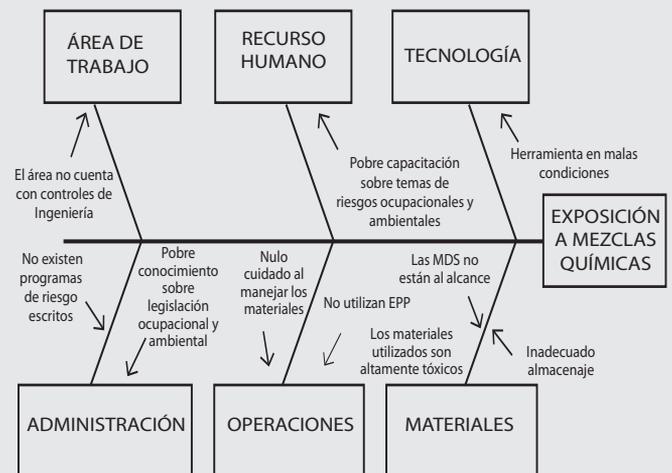


Figura 3. Diagrama causa-efecto del riesgo ocupacional exposición a riesgos químicos

b) Identificación de las opciones. Una vez que las causas que originan los riesgos, son conocidas, el líder debe iniciar la discusión con el equipo para tratar de encontrar opciones dentro del marco de la sustentabilidad que tengan como objetivo, primero eliminar los riesgos y si no fuera posible, tratar de reducir esos riesgos. Es necesario identificar las causas de todos los riesgos identificados; sin

embargo, en la generación de opciones de sustentabilidad, deberán tener prioridad aquellos riesgos que se clasificaron con alto grado de viabilidad o de importancia.

c) Selección y Evaluación de las Opciones. Todas las opciones propuestas deben ser exploradas y reducirlas en una lista de prioridades para cada riesgo. Las opciones de sustentabilidad deben ser seleccionadas en base a su viabilidad, factibilidad de aplicación y eficacia. La prevención siempre es preferible que el control. La factibilidad de las opciones seleccionadas deben ser evaluadas desde el punto de vista técnico, ambiental, salud, financiero y social. Lo cual es una simple evaluación, que consiste en la mayoría de los casos, en la recopilación de datos técnicos sobre las opciones de mercado, principalmente en el mercado local.

d) Plan de Servicio Sustentable. Este es un plan escrito, que deberá ser utilizado como una guía de las acciones a seguir para alcanzar el objetivo del Programa de Servicios Sustentables.

Etapas 3: Implementación y Monitoreo. La asignación de recursos para garantizar la aplicación de las opciones que están previstas en la etapa de planificación es el objetivo en esta etapa. Esta etapa, describe el trabajo, la parte tecnológica y los recursos financieros indispensables para llevar a cabo cada una de esas opciones. Los detalles sobre la asignación de recursos dependerán de la estructura de cada taller de carrocería, pero por lo menos deberá cubrir la duración de las actividades necesarias para cumplir con las opciones referidas.

La parte de monitoreo se refiere a evaluar la eficacia de las opciones implementadas y realizar algunos ajustes, si así los mostraran los resultados obtenidos.

Etapas 4: Evaluación. En esta etapa, el equipo revisa la información recolectada para determinar si los datos obtenidos concuerdan con los objetivos y metas del programa. La etapa de la evaluación, permite verificar si existen desviaciones respecto al plan inicial y tomar decisiones que permitan reorientar las opciones.

Etapas 5: Adaptaciones y Mejoras. Es deseable, para la eficacia del sistema que los resultados de la etapa de evaluación sirvan como una retroalimentación para la etapa de adaptaciones y mejoras. La adopción de medidas correctivas es a menudo necesaria para la planificación y alcanzar los objetivos. Por otro lado, si los objetivos se han alcanzado, el equipo debe comenzar nuevamente el ciclo de fortalecer el programa y establecer nuevos objetivos para seguir en el camino hacia la sustentabilidad.

CONCLUSIONES

El servicio otorgado en los talleres de carrocería de la ciudad de Hermosillo, no está en armonía con los preceptos de la sustentabilidad, puesto que actualmente no se realizan acciones dirigidas a proteger el medio ambiente y la salud de sus trabajadores y de la comunidad en general. El Implementar y operar un Programa de Servicios Sustentables como el descrito en

el presente documento no es suficiente para garantizar la sustentabilidad en ésta industria, pero incrementa las posibilidades de los pequeños talleres de carrocería para desarrollar estrategias que además de garantizar un crecimiento económico a largo plazo, incluya mejorar el medio ambiente y las condiciones de trabajo a través de integrar en sus actividades técnicas de producción más limpia que contribuyan a prevenir, reducir y/o eliminar los riesgos ocupacionales y ambientales generados por sus actividades, procesos u operaciones.

Sin embargo y a pesar que la implementación y operación del programa se limita al taller, el éxito del modelo depende en gran medida no sólo del compromiso y la participación de los propietarios y sus trabajadores, sino también del compromiso del gobierno, proveedores, cámaras de comercio, instituciones educativas, centros de investigación y de la sociedad en general, ya que se requiere de la participación de todos ellos para encaminar al sector de las carrocerías a operar bajo un sistema de servicios más sustentables.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Velazquez, L.E., Bello, D., Munguia, N., Zavala, A., Marin, M. and Moure-Eraso, R. (2007) "A survey of environmental and occupational work practices in the automotive refinishing industry of a developing country: Sonora, Mexico", *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 14 (2) 104-111
- 2) EPA, Environmental Protection Agency (2005): *Emission Inventory Improvement Program, Auto Body Refinishing*, Chapter 13, P. 13. 4-3.
- 3) Velazquez, L., Munguia, N., Zavala, A. and Navarrete M.A. (2008) *Challenges in Operating Sustainability Initiatives in Northwest Mexico*, *Sustainable Development*, 16, 401-409 (2008). Published online 20 October 2008 in Wiley InterScience, (www.interscience.wiley.com).
- 4) Enander, R., Gute, D., Cohen, H.J. (2003) *The concordance of Pollution Prevention and Occupational Health and Safety: A perspective on U.S. Policy*. *American Journal of Industrial Medicine* 44: 312-320 Enander, 2003
- 5) Munguia, N., Zavala, A., Marin, M., Moure-Eraso, R. and Velazquez, L.E (2009). *Identifying pollution prevention opportunities in the Mexican auto refinishing industry*, *Management of Environmental, Quality: An International Journal*, 21(3) 324-335
- 6) Zavala, A (2007), "*Caracterización de los Patrones de Insustentabilidad en los talleres de carrocería mexicanos*", Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Baja California
- 7) Di Stefano, F., S. Siriruttanapruk, J. McCoach, M. Di Gioacchino and P. S. Burge (2004): *Occupational asthma in a highly industrialized region of UK: report from a local surveillance scheme*. *Allerg Immunol (Paris)* 36:56-62 (2004)
- 8) Redlich, C. A., D. Bello and A. V. Wisniewski (2006): *Isocyanate exposures and health effects*. in *Environmental and occupational medicine*, 4th Edition, Rom, W. N. (ed), pp. Philadelphia: Lippincott-Raven, in press.



PATRONES ALIMENTARIOS Y SU RELACIÓN CON EL ESTADO NUTRICIO EN ESCOLARES DE PRIMER GRADO DE DOS ESCUELAS PÚBLICAS DE HERMOSILLO, SONORA

TRINIDAD QUIZÁN PLATA, SAMUEL GALAVIZ MORENO,
ARMIDA ESPINOZA LÓPEZ, MARÍA ESTHER OROZCO GARCÍA

El presente artículo explora el patrón alimentario de los niños que recién ingresan a la primaria a través de análisis de factores cuyo propósito es interrelacionar los alimentos consumidos por los escolares derivando un patrón alimentario que refleje de manera sencilla su consumo habitual y relacionarlo con su estado nutricional. Dicha información podría ser clave para el desarrollo de programas de intervención orientados a mejorar los hábitos y estrategias alimentarias de las familias de sonorenses.

DRA. TRINIDAD QUIZÁN PLATA
Correo: tqizan@guayacan.uson.mx
DR. SAMUEL GALAVIZ MORENO
Correo: sgalaviz@guaymas.uson.mx
Departamento de Ciencias Químico-Biológicas.
Universidad de Sonora.
M.C. ARMIDA ESPINOZA LÓPEZ
Correo: aespinal@guayacan.uson.mx
M.C. MARÍA ESTHER OROZCO GARCÍA
Correo: morozco@guayacan.uson.mx
Departamento de Investigación y
Posgrado en Alimentos. Universidad de Sonora.

INTRODUCCIÓN

La alimentación equilibrada forma parte esencial de un estilo de vida saludable. En las últimas décadas, los hábitos alimentarios de la mayoría de países han evolucionado desde un patrón dietario tradicional, hacia patrones de ingestión con una contribución más alta de grasa total (1-3).

De acuerdo a experiencias internacionales el patrón de alimentación es un factor de riesgo para el desarrollo de enfermedades crónicas no transmisibles, como diabetes mellitus tipo 2, cáncer, enfermedades cardiovasculares y obesidad (4). La obesidad se considera en la actualidad un problema de salud pública que afecta cada vez a más personas de todo el mundo y especialmente a los niños. En México, el desarrollo económico de las últimas décadas, así como la adquisición de patrones de alimentación no tradicionales, han contribuido a modificar el estilo de vida de los niños (5). Actualmente, a nivel nacional, el 26% de los niños en edad escolar presenta sobrepeso y obesidad (6). Según las diferentes regiones, la obesidad es más notable en el norte del país. Sonora, es uno de los estados fronterizos que presentan las tasas más altas de sobrepeso y obesidad (40% y 35% para niños y niñas respectivamente) (7). Asimismo, estudios en el ámbito regional reportan que el patrón alimentario en Sonora es alto en grasas totales y saturadas (mayor del 30% y 10% respectivamente) y escaso en frutas y vegetales (8-9).

Se cuenta con varias investigaciones que reportan patrones alimentarios relacionados con obesidad y el riesgo de presentar enfermedades crónicas no transmisibles en población adulta y en niños (10-11) a través de técnicas multivariadas como análisis de factores. Al respecto, en un estudio de cohorte prospectivo, en una muestra de 44,875 hombres norteamericanos entre 40 y 75 años, utilizando análisis factorial, identificaron 2 patrones alimentarios: el primero caracterizado por la ingestión de vegetales, frutas y legumbres, y un segundo, identificado como "patrón occidental" (carnes rojas, carnes procesadas, grasas, papas fritas y dulces). Los resultados mostraron que aquellos sujetos con un alto consumo de alimentos tipo occidental tenían mayor riesgo de sufrir enfermedades coronarias y cáncer de colon, mostrando que el consumo de alimentos puede predecir significativamente la incidencia de enfermedades coronarias (12). Por otro lado, en Noruega (13), en una muestra de 37,226 mujeres de 41-56 años con cáncer, identificaron seis patrones dietarios mediante análisis de factores y cada uno de ellos se asoció a diferentes estilos de vida y características sociodemográficas.

En México existen estudios sobre los patrones de alimentación efectuados a la población en general; sin embargo la mayoría de los estudios fueron analizados mediante técnicas no multivariadas como agrupación de alimentos de acuerdo a la frecuencia de consumo, cantidad de gramos y nutrientes consumidos (14). Sin embargo, es importante considerar que los alimentos se consumen en forma combinada lo cual hace difícil



determinar los efectos de ellos separadamente y que una forma posible de examinar el efecto combinado de la ingestión de alimentos es mediante la obtención de patrones alimentarios utilizando métodos estadísticos multivariados.

Por lo anterior, este estudio propone analizar el patrón de alimentación en niños que recién ingresan a la primaria a través de análisis de factores cuyo objetivo es el de interrelacionar los alimentos consumidos por los escolares y a partir de ello obtener un patrón alimentario que refleje de manera sencilla su consumo habitual y relacionar dicho patrón dietario con su estado nutricional. La información obtenida podría ser clave para el desarrollo de programas de intervención orientados a mejorar los hábitos y estrategias alimentarias de las familias de sonorenses.

SUJETOS Y MÉTODOS

a). Características del estudio. Este artículo aborda el patrón dietario de escolares y su posible relación con el Índice de Masa Corporal (IMC). El estudio inició en enero de 2009 y culminó en abril de 2010. Se seleccionaron de manera aleatoria dos escuelas públicas ubicadas en áreas con índice medio de marginación. En ambas escuelas se seleccionó de manera aleatoria a un grupo de primer grado escolar. Para el análisis del patrón dietario se consideró la dieta de ambos grupos cuyo total de escolares fue de 52.

b). Datos dietarios. Para conocer el patrón dietario se solicitó la información dietaria de los escolares en presencia de sus padres mediante dos recordatorios de 24 horas no consecutivos, la técnica consistió en preguntar en presencia del padre sobre el consumo de alimentos de las últimas 24 horas. Durante la entrevista se usaron modelos auxiliares de alimentos en plástico y cartón. Este procedimiento facilitó la cuantificación del consumo y ayudó a la memoria del escolar. La codificación de los datos y análisis de datos se realizó de acuerdo al procedimiento descrito por Ortega y col., 2000 (15).

c). Encuesta socioeconómica. Se aplicó una encuesta socioeconómica para conocer las características económicas, sociales y demográficas de la familia de los sujetos en estudio.

d). Datos antropométricos. Se realizó la toma de medidas



antropométricas de los Escolares mediante técnicas estandarizadas internacionalmente por Jelliffe and Jellife en 1989.

Peso. Las mediciones se realizaron con la ayuda de una balanza electrónica digital con capacidad de 0 a 150 ± 0.05 Kg. (AND FV-150 KA1; A&D Co. Ltd. Japón).

Talla. Para la medición de la talla se usó un estadímetro Holtain de 2.05 ± 5 X10-4 m (Holtain Ltd, UK).

IMC. El IMC fue calculado dividiendo el peso, expresado en kilogramos por el cuadrado de la estatura expresada en metros (peso/talla²)

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Se realizó un Análisis Factorial (AF), utilizando el método de estimación del factor principal con rotación varimax. Para establecer una asociación entre los patrones alimentarios obtenidos y el estado nutricional de los escolares, se utilizaron los puntajes de los factores seleccionados del AF como variables predictoras y el IMC como variable respuesta, mediante un análisis de regresión lineal. Para estos análisis se usaron alimentos de amplio consumo en los escolares y el estado nutricional. Todos los análisis se realizaron con el programa estadístico SPSS, versión 14.0.

RESULTADOS

a). Características generales de los escolares en estudio

El presente análisis se basa en los datos dietarios y antropométricos de 52 escolares (30 niños y 22 niñas) de entre 6 a 8 años de edad. Las características generales de los escolares y sus familias se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1.- Características sociodemográficas de los escolares y sus padres

Variables	N	%	χ±DE
Niños	30	57.6	
Niñas	22	42.4	
Edad (6 a 8 años)	45	85	7±0.4
Talla (cm)	52	100	120.5±5.6
Peso (Kg)	52	100	25.7±6.8
IMC/edad	52	100	20.9±6.4
Escolaridad de la madre			
Preparatoria	14	29.2	
Licenciatura	12	25	
Carrera técnica	9	18.8	
Secundaria	8	16.7	
Primaria	2	4.2	
Estado civil			
Casada	31	62	
Divorciada	4	8	
Madre Soltera	8	16	
Unión libre	6	12	
Promedio de ingresos		\$ 5,231.40	

En los escolares, el promedio de edad fue de 7 años, con una talla de 120 cm, 25.7 kg de peso y 20.9 de Índice de Masa Corporal. El 25% de las madres cursó la licenciatura, 29.2% contaba con estudios de bachillerato y sólo un 4.2% reportó la primaria como máximo nivel educativo. Cuando se preguntó acerca del estado civil, más del 62% de los



padres, reportaron estar casados, 12% en unión libre y 16% eran madres solteras. Finalmente, se reportó un ingreso promedio familiar mensual de 5231.40 pesos para las familias de este estudio.

b). Análisis del patrón dietario

Mediante el análisis factorial con rotación varimax se identificaron 5 factores que representaron los patrones dietarios de los escolares en estudio. Los factores explican hasta el 57% de la varianza total (Tabla 2). Como se observa en la Tabla 3, el factor 1 se caracterizó por el consumo de tortillas de maíz, leguminosas y embutidos (especialmente jamón, salchicha y tocino). El factor 2 se identificó por alimentos adquiridos en las escuelas como bebidas azucaradas

Tabla 2. Varianza acumulada de 5 factores después de la rotación varimax.

Componente	Autovalores iniciales			Suma de cuadrados después de la rotación varimax		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% Acumulado
1	2.07	14.84	14.84	1.801	12.86	12.86
2	2.00	14.30	29.14	1.729	12.35	25.21
3	1.53	10.94	40.09	1.517	10.83	36.05
4	1.18	9.02	49.12	1.511	10.79	46.84
5	1.12	8.46	57.58	1.504	10.74	57.58

(zuko), frituras y dulces salados (fritos con limón, palomitas de maíz, tostitos, chamoy y lucas). Con una dieta basada en platillos a base de carnes y panes industrializados, se caracterizó el factor 3, mientras que el factor 4 se identificó por el consumo de lácteos y frutas denominándose "alimentos saludables", finalmente en el factor 5 se identificaron alimentos altamente energéticos y azucarados como sodas y cereales para desayuno (chocokrispies, zucaritas y zucaritas con chocolate, corn pops, bolitas de chocolate), caramelos y comidas rápidas (pizzas, hamburguesas y hot dogs).

Tabla 3. Factores con los 5 patrones dietarios identificados después de la rotación varimax

Grupos de alimentos	Factores				
	1	2	3	4	5
1.- Alimentos a base de leguminosas y embutidos					
Leguminosas, tortilla de maíz	-0.721	-0.058	-0.027	0.057	0.022
Embutidos	0.713	-0.175	0.090	0.148	-0.084
2.- Alimentos adquiridos en la tienda escolar					
Jugos y bebidas azucaradas	0.266	0.709	0.129	-0.285	-0.288
Frituras y Salados	-0.088	0.842	0.090	0.104	0.003
3.- Alimentos a base de carne y panes industrializados					
Galletas y panes	0.350	-0.242	0.712	-0.168	-0.046
Platillos a base de carne	0.133	-0.050	-0.619	-0.238	0.094
4.- Dieta saludable					
Productos lácteos	0.327	-0.219	0.206	0.673	0.092
Frutas	0.027	0.102	-0.184	0.682	-0.049
5.- Dieta altamente energética					
Sodas	0.019	-0.178	-0.133	0.167	0.750
Cereales para desayuno	0.125	-0.192	-0.221	-0.060	-0.564
Caramelos	-0.090	-0.041	0.204	0.371	0.516
Comidas rápidas	0.327	-0.218	-0.235	-0.259	0.564

c). Asociación entre el patrón dietario y el IMC

En el análisis de regresión lineal se observó que el factor 3 fue el único que se asoció con el Índice de Masa Corporal de los escolares ($\beta = 2.38$ EE= 1.10, $p = 0.038$). Esto significa que el IMC se asocia de manera positiva al consumo de platillos preparados a base de carnes y al consumo de galletas industrializadas y panes (Tabla 4).

Tabla 4. Asociación entre los patrones dietarios y el índice de masa corporal de los escolares mediante análisis de regresión lineal.

Modelo	Coefficiente β	Error	t	*P.
Constante	21.10	1.024	20.606	0.000
Factor 1 Alimentos a base de leguminosas y embutidos	0.941	1.056	0.891	0.378
Factor 2 Alimentos adquiridos en la tienda escolar	0.319	1.010	0.316	0.754
Factor 3 Alimentos a base de carne y panes industrializados	2.383	1.110	2.147	0.038
Factor 4 Dieta saludable	0.116	1.018	0.114	0.910
Factor 5 Dieta altamente energética	-0.879	1.147	-0.766	0.448

*Nivel de significancia

DISCUSIÓN

En la presente investigación se identificaron 5 patrones dietarios de los escolares en estudio. El patrón dietario 3 que se caracterizó por el consumo de platillos preparados a base de carnes y panaderías (especialmente galletas) se asoció de manera significativa y positiva al IMC de los escolares. Estudios regionales previos realizados para población sonorenses reportan a la carne como uno de los alimentos principales y frecuentemente consumidos por los sonorenses ubicándose en el 2do lugar de consumo con hasta 57 gramos diarios (13,16). Además, de acuerdo a estudios antropológicos, las formas de consumo de carne en las familias sonorenses se reportan en platillos preparados como pozole, menudo, cazuela, carne con chile, machaca, carne asada, barbacoa entre otros. En el presente estudio la forma de mayor consumo fue especialmente barbacoa, tacos de carne asada, bistec ranchero, carne con vegetales (a base de papas y zanahoria), pescado y pollo empanizado. Como se puede observar algunos de estos alimentos coinciden con los reportados por Jardines, 1985 y Valencia, 1998, sin embargo en el presente se incluyen platillos empanizados que pueden contribuir con un alto porcentaje en el consumo de grasa total. Por lo tanto, no es de extrañar su consumo frecuente asociado a la composición corporal de los escolares. También se encontró un consumo alto de galletas comerciales cuyo aporte principal es azúcar simple, grasas trans y grasa saturada, lo cual se puede asociar a un mayor Índice de Masa Corporal.

En general se han efectuado varias investigaciones cuyo propósito es el de asociar únicamente el patrón alimentario con el estatus corporal de los individuos. Al respecto, el estudio reportado por Maskarinec y col. en el 2000 (17) reportaron 4 patrones dietarios obtenidos a través de componentes principales en 514 mujeres de diferentes etnias que residen en Hawái. Entre estos patrones se encontró uno caracterizado por "carnes" que incluyó la ingestión de carnes rojas, embutidos, pollo, pescado, aceites y mantecas, el cual se asoció de manera significativa y positiva con el IMC de las mujeres en estudio. Otro trabajo realizado por Schulze en el 2006 (18) reportó al patrón dietario "western" constituido por carnes rojas y embutidos asociados al aumento de peso en una muestra de 56,270 mujeres entre 26 a 45 años de edad. Así mismo, los reportados por Hu y col., 1999; Slattery y col; 1998 (19, 20) entre otros, muestran resultados similares al presente. Como se puede observar, los





patrones dietarios asociado al IMC varían de acuerdo al contexto cultural dietario. El consumo de carne asociado al IMC es una constante en las investigaciones reportadas en el ámbito mundial. Lo mismo se observa en la presente investigación; sin embargo, aquí se destaca el consumo de panes industrializados por los escolares.

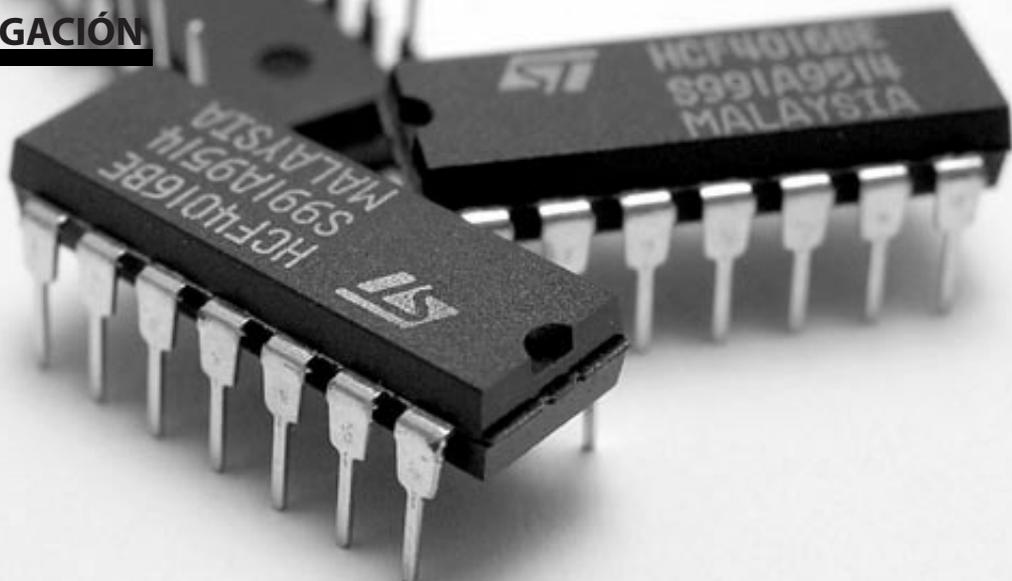
CONCLUSIONES

En general, el presente estudio muestra que los escolares en estudio pueden tener un consumo de alimentos con alto contenido de grasas totales que pueden promover el sobrepeso y la obesidad a edad temprana. Cabe destacar que el análisis de asociación de los patrones dietarios con el IMC debe hacerse con reserva, porque el consumo de alimentos es complejo y la asociación con el estatus corporal no debe limitarse a unos pocos alimentos o a un patrón determinado. Se sugiere además el análisis de variables del estilo de vida como el nivel de actividad física en un tamaño de muestra mayor. Los patrones dietarios mostrados en esta investigación y su asociación con el IMC podrán considerarse como sugerencia para educadores y para quienes diseñan políticas públicas encaminadas a mejorar los hábitos y las estrategias alimentarias de las familias sonorenses.

Agradecimientos: agradecemos el apoyo de Aisha Hernández N. por la recopilación de datos.

BIBLIOGRAFÍA

- Hoffmann K, Schulze MB, Schienkiewitz A, Nöthlings U, and Boeing H. Application of a new statistical method to derive dietary patterns in nutritional epidemiology. *Am J Epidemiology* 2004; 159: 935-944.
- Wirfält E, Mattisson I, Gullberg B and Berglund G. Food patterns defined by cluster analysis and their utility as dietary exposure variables: a report from the Malmö Diet and Cancer Study. *Public Health Nutr* 2000; 3 (2): 159-173.
- Yang EJ, Kerver J and Song WO. Dietary patterns of Korean Americans described by Factor Analysis. *Journal of the American College of Nutrition* 2005; 24 (2): 115-121.
- International Food Policy Research Institute (IFPRI). Obesity in: Health and Nutrition Emerging and Reemerging Issues in Developing Countries. Edited by Rafael Flores and Stuart Gillespie. Brief 7 of 11, February 2001.
- Ramírez J.A., García Campos M., Cervantes Bustamante R., Mata Rivera N. Zárate Mondragón F., Mason Cordero T. y Villarreal Espinosa A. Transición alimentaria en México. *An Pediatr* 2003;58(6):568-73.
- Olaiz G, Rivera J, Shamah T, Rojas R, Villalpando S, Hernández M, Sepúlveda J. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición ENSANUT (2006). Cuernavaca, México. Instituto Nacional de Salud Pública y Secretaría de Salud.
- Peña-Reyes ME, Cárdenas Barahona EE, Cahuich MB, Barragán A, Malina RM. Growth status of children 6-12 years from two different geographic regions of Mexico. *Ann Hum Biol.* 2002 Jan-Feb;29(1):11-25.
- Valencia ME., LC. Hoyos, MN. Ballesteros, MI. Ortega, MR. Palacios y JL Atondo. Canasta de Consumo de Alimentos en el Estado de Sonora. *Revista de Estudios Sociales.* (En prensa). El Colegio de Sonora, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. 1997 México.
- Ortega MI and Valencia ME. Measuring the intake of foods and food components of marginal populations in Northwest Mexico. *Public Health.* 2002; 5(6A):907-10.
- Northstone K, Emmett P. Multivariate analysis of diet in children at four and seven years of age and associations with socio-demographic characteristics. *Eur J Clin Nutr* 2005; 59 (6): 751-760.
- Thompson OM, Ballew C, Resnicow K, Gillespie C, Must A, Bandini LG, Cyr H and Dietz WH. Dietary pattern as a predictor of change in BMI z-score among girls. *Int J Obes* 2005; 13: 1-7.
- Hu FB, Rimm EB, Stampfer MJ, Ascherio A, Spiegelman D, Willett WC. Prospective study of major dietary patterns and risk of coronary heart disease in men. *Am J Clin Nutr* 2000; 72: 912-921.
- Engeset D, Alsaker E, Ciampi A and Lund E. Dietary patterns and lifestyle factors in the Norwegian EPIC cohort: the Norwegian Women and Cancer (NOWAC) study. *Eur J Clin Nutr* 2005; 59 (5): 675-684.
- Aguirre-Arenas J, Escobar-Pérez M, Chávez-Villasana A. Evaluación de los patrones alimentarios y la nutrición en cuatro comunidades rurales salud pública de México / vol.40, no.5, septiembre-octubre de 1998.
- Ortega, V.M.I., Quizán, P.T., Morales, F.G.G. y col. (1999) Cálculo de ingestión dietaria y coeficientes de adecuación a partir de: Registro de 24 horas y frecuencia de consumo de alimentos. Cuadernos de trabajo No. 1. Estimación del consumo de alimentos. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Dirección de Nutrición. Hermosillo, Sonora.
- Jardines R. P, M. C. Bermúdez, P. Wong y G. León (1985), "Platillos típicos consumidos en Sonora: regionalización y aporte de nutrientes", *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, vol. XXXV, no. 4, pp. 586-602, diciembre
- Maskarinec Gertraud, Rachel Novotny and Katsuya Tasaki. Dietary Patterns Are Associated with Body Mass Index in Multiethnic Women. *J. Nutr.* 130: 3068-3072, 2000.
- Schulze Matthias B, Teresa T. Fung, JoAnn E. Manson, Walter C. Willett and Frank B. Hu. Dietary Patterns and Changes in Body Weight in Women. *Obesity* (2006) 14, 1444-1453.
- Hu FB. Dietary pattern analysis: a new direction in nutrition epidemiology. *Opin Lipidol.* 2002; 13: 3-9.
- Slattery M. L., Boucher K. M., Caan B. J., Potter J. D., Ma K. N. Eating patterns and risk of colon cancer. *Am. J. Epidemiol.* 1998;148:4-16.



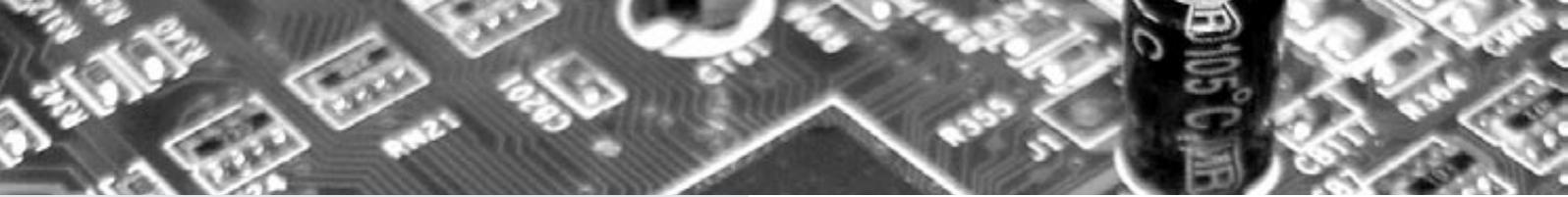
SISTEMA INTELIGENTE PARA LA GESTIÓN DE UN CENTRO DE DISTRIBUCIÓN BASADO EN LA IDENTIFICACIÓN DE PRODUCTOS

JULIO CESAR ENCINAS ALVARADO, JUAN PABLO SOTO BARRERA,
ROBERTO NÚÑEZ GONZÁLEZ, ANDRÉS GARCÍA HIGUERA

La globalización, aunada a otros factores, ha originado un conjunto de transformaciones en las decisiones sobre la producción, dando paso a la reestructuración de los mercados y de la organización de la distribución. Esto ha originado una demanda en el desarrollo de sistemas que permitan un mejor control, manipulación, seguimiento y distribución de productos en entornos distribuidos. Dichos entornos favorecen la subdivisión del sistema total en subsistemas más pequeños y abarcables, con la capacidad de interactuar unos con otros, con la intención de alcanzar un objetivo colectivo.

En este trabajo se propone un sistema automático-inteligente basado en control distribuido que permite la identificación y gestión de pedidos mediante el uso de agentes inteligentes y la Identificación por Radiofrecuencia (RFID, por sus siglas en inglés: Radio Frequency Identification) para la gestión de un centro de distribución.

DR. JULIO CESAR ENCINAS ALVARADO
Universidad Autónoma de Baja California
Facultad de Ingeniería - Mexicali
Correo: jencinas@uabc.edu.mx
DR. JUAN PABLO SOTO BARRERA,
DR. ROBERTO NÚÑEZ GONZÁLEZ
Universidad de Sonora
Departamento de Matemáticas - Hermosillo
Correo: jpsoto@gauss.mat.uson.mx
DR. ANDRÉS GARCÍA HIGUERA
Universidad de Castilla-La Mancha
E.T.S. de Ingenieros Industriales – Ciudad
Real (España) Correo: andres.garcia@uclm.es



INTRODUCCIÓN

Dadas las nuevas exigencias en los mercados globales, el sector de producción industrial ha tenido que evolucionar para enfrentar esta situación de tal manera que hoy se habla de las nuevas industrias y estilos de gestión logística empresarial. Debido a este entorno de alta competitividad, un conjunto de transformaciones han dado paso a la reestructuración de los mercados y de la organización de la distribución. Obligando a las compañías a mejorar día a día, en términos de calidad, respuesta, agilidad y flexibilidad, siendo éstas, cualidades decisivas para permanecer en un negocio [1]. Esta situación conlleva múltiples consecuencias para la industria, por ejemplo, la reducción del ciclo de vida de los productos, el aumento de la diversidad, la rápida satisfacción de la demanda, la reducción de costos excesivos, entre otros [2]. Es por esto, que en modelos de negocios tan complejos y cambiantes se requiere que la información del entorno sea lo más exacta y fiable posible, para que el sistema de gestión pueda tomar decisiones adecuadas y precisas [3].

Actualmente la mayoría de las empresas utilizan el código de barras para la trazabilidad y seguimiento de sus productos. Sin embargo, uno de los principales problemas de este mecanismo radica en su lectura, ya que, ocasionalmente, las etiquetas están dañadas, mal colocadas, o parcialmente despegadas. En estos casos, los lectores no pueden realizar correctamente su función, por lo que afecta a la hora de gestionar la información en tiempo real de acuerdo con la precisión del sistema. Debido a esto, consideramos que la Identificación por Radiofrecuencia, está llamada a hacerse con el lugar que ha sido ocupado por el código de barras durante más de 30 años. Si además, a la Identificación por Radiofrecuencia se dota de un sistema de información es posible identificar la información relativa a un producto. Por otra parte, si el sistema de información es gestionado por agentes inteligentes que faciliten el procesamiento y manejo de la información de manera distribuida, se garantizaría el desarrollo de sistemas más capaces en cuanto al manejo de la información en tiempo real. Teniendo esto en cuenta, en este trabajo diseñamos un sistema automático-inteligente de control distribuido basado en la integración de la tecnología RFID y el uso de agentes inteligentes (Intelligent Management Systems, RFID-IMS). Para dar más claridad, la metodología propuesta se describe mediante su aplicación a un caso concreto basado en un centro de distribución real representado en una plataforma experimental. Una descripción detallada de la plataforma antes mencionada puede encontrarse en [5]. En la sección 2 se describe la metodología de gestión propuesta (RFID-IMS). Posteriormente, en la sección 3, se describe la implementación del sistema de control en una plataforma experimental. En la sección 4 se presenta la arquitectura

utilizada, así como la integración de la tecnología RFID con los agentes inteligentes. Finalmente, las conclusiones y trabajos futuros son presentadas en la sección 5.

METODOLOGÍA RFID-IMS

El sistema de gestión RFID-IMS consta de una importante parte de hardware basada en la identificación por radiofrecuencia. Durante el proceso de producción que se lleva a cabo en el centro de distribución, los productos son identificados por antenas ubicadas en puntos estratégicos distribuidos por la planta, además del área de entradas y salidas del centro de distribución. La gestión de dicha información se lleva a cabo a un bajo nivel por la red de PLCs (por sus siglas en inglés: Programmable Logic Controller) que controla el área de elaboración o producción de órdenes y a un nivel alto por el ERP (por sus siglas en inglés: Enterprise Resource Planning).

Según [5], las capacidades funcionales de los sistemas ERP están basadas en el sistema proveedor de información y la arquitectura utilizada en la implementación del sistema ERP. Es decir, que el éxito de la solución generada por el ERP depende, en gran parte, de la veracidad de la información guardada en sus bases de datos. Por lo tanto, para poder tener un proceso de toma de decisiones correcto, es necesario una tecnología generadora de información confiable que mantenga las bases de datos con información actualizada.

La arquitectura propuesta está basada en un Sistemas Multi-agente (SMA). Este tipo de arquitectura le proporciona al sistema ERP la capacidad de enviar y recibir la información generada por el sistema RFID-IS y la red de PLCs. De esta forma, el ERP a través del sistema RFID-IS puede visualizar la situación de la planta y el estado de avance de las órdenes de producción. Esto conlleva tres aportaciones importantes:

- Visibilidad del centro de distribución.
- Ajuste dinámico de los niveles de prioridad.
- Libramiento del canal de comunicación entre la red de PLCs y el ERP.

El sistema ERP está obligado a mantener una constante comunicación con los distintos elementos que componen los módulos; en especial con el módulo de cadena de suministro. Por tanto, el envío y recepción de información entre el ERP y el elemento controlador de la planta, que en este caso es la red de PLCs, es constante. Básicamente las comunicaciones consisten en el envío de las órdenes de trabajo, niveles de prioridad, cambios de nivel de prioridad, finalización de elaboración de la orden, etc.

Sin embargo, hay situaciones en las que el cliente presiona al centro de distribución por su pedido, estos casos conllevan un crecimiento (hostigamiento) en la comunicación del ERP hacia la red de PLCs que muchas veces termina saturando los canales de comunicación.

Además, algunas veces este hostigamiento por parte del ERP hacia el controlador del centro de distribución es innecesario debido a que el palé o pedido se encuentra en una zona o situación, como puede ser un cuello de botella, donde los PLCs no pueden realizar ninguna acción para agilizar su envío.

Para hacer frente a este problema, en la propuesta se ha dotado al sistema ERP de una visibilidad directa del centro de distribución, por medio de la tecnología RFID. En otras palabras, el ERP tiene acceso a la información generada por los lectores RFID instalados en distintos puntos estratégicos a lo largo del centro (Figura 1). De esta manera, el ERP sabe cuándo es útil hacer un cambio de prioridad urgente o en qué área del centro de distribución debe de presionar.

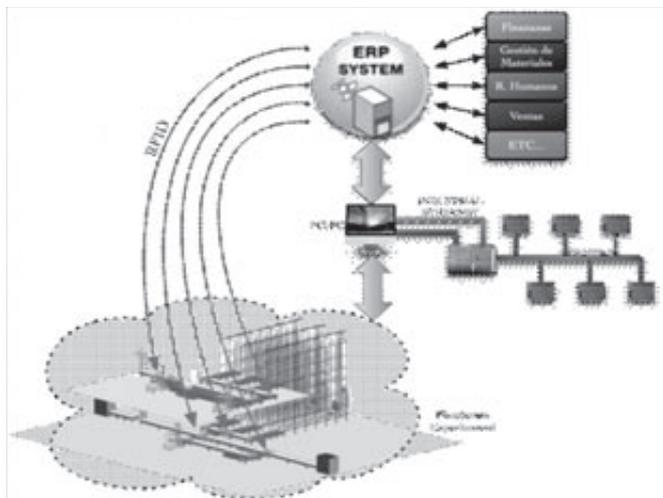


Figura 1. Esquema general de comunicaciones en el centro de distribución

Es muy importante que los agentes encargados de la gestión del centro de distribución, tengan la capacidad de hacer ajustes en los niveles de prioridad en función de las demandas de los distribuidores, clientes y otros factores que se detallarán más adelante. De esta forma, pueden organizar la elaboración de las órdenes de producción mediante el movimiento dinámico de los niveles de prioridad de cada orden, inclusive de cada palé, además, de proveer al sistema con una gran flexibilidad.

Por ejemplo, supongamos que se tiene en proceso de elaboración un pedido de nivel medio y a mitad del pedido entra una orden de un cliente de mayor importancia, evidentemente con una prioridad más alta. Entonces al encontrarse los palés de distintas órdenes en los cruces de las cintas transportadoras, se realizará una comparativa del nivel de prioridad, dando paso al de nivel más alto. Esto nos produce ciertas ventajas como el aumento de flexibilidad del centro, disminución tiempo de respuesta y de elaboración de pedidos.

Sin embargo, el movimiento de prioridades debe de ser dinámico, es decir, que vaya cambiando respecto al progreso en la elaboración del pedido. Para esto, se propone un modelo matemático donde la prioridad va cambiando en función de distintos factores y de una forma dinámica. De tal modo que conforme la orden de trabajo es cumplimentada el nivel de prioridad para los últimos palés va ascendiendo y así evitando atascos y retrasos.

SISTEMA DE CONTROL E IMPLEMENTACIÓN

La implementación del sistema de control para el centro de distribución ha sido realizada en varias partes. Si bien, el desarrollo de cada una de las partes que integran el sistema, siempre se ha realizado de forma coordinada con el resto. Teniendo en cuenta que la mayor parte de la metodología RFID-IMS está implementada en la red de PLCs, el sistema ERP y la parte hardware de RFID, la migración de esta tecnología a cualquier empresa no supone un gran costo [6].

Se trata de un sistema automático de control distribuido basado en agentes en el que cada una de las partes que lo integran es independiente de las demás. La implementación de este tipo de técnicas proporciona una gran optimización en los sistemas, ya que son un conjunto de pequeños esfuerzos, que sumados provocan que el conjunto funcione de manera sólida y eficiente. Además, en caso de fallo o caída de alguna de las partes que forman el sistema, únicamente dejaría de funcionar la parte afectada, mientras que el resto del sistema seguirá funcionando con normalidad, evitando así, un fenómeno de cascada del fallo.

CADENA DE DATOS

Como se ha comentado anteriormente, el centro de distribución está controlado por una red de PLCs. Entre el sistema de gestión y el de control, existen una serie de comunicaciones, en las que se envían y reciben las cadenas de información que contienen las órdenes. En dichas órdenes se incorpora únicamente la información necesaria para el correcto funcionamiento del centro de distribución.

Las citadas órdenes presentan una determinada estructura (Figura 2), en la que aparecen codificados, de forma eficiente, los datos necesarios. Se trata de una cadena binaria de 4 Bytes que incorpora: identificación del palé dentro del sistema de control, origen y destino del mismo, un conjunto de flags, habilitados para la escritura de posibles errores producidos durante el cumplimiento de la orden, y un espacio reservado para definir la prioridad de cada orden. Esto servirá al sistema de control implementado en los PLC para llevar a cabo correctamente su tarea, y será determinante a la hora de actuar en ciertas situaciones críticas, que se producen en la actividad cotidiana del centro de distribución.

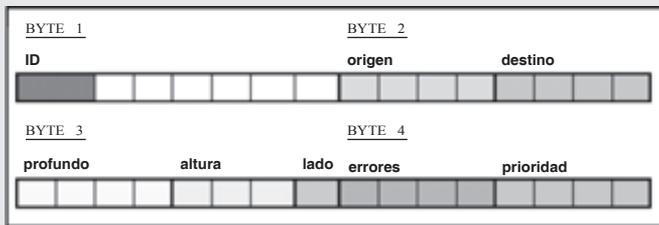


Figura 2. Formato de la cadena de datos (Fuente: [7])

RED DE PLCS

Para la implementación del sistema de control del centro de distribución, se van a emplear una serie de PLCs SIMATIC S7 de Siemens conectados mediante una red PROFIBUS-DP. Se tienen entonces 7PLCs; un maestro y 6 esclavos. El maestro es un Siemens SIMATIC S7 300 CPU 313C-2DP, el cual va acoplado con un módulo de red Siemens modelo CP343-1, el cual le permite interactuar vía Internet con otros entes. Los esclavos son 6 Siemens SIMATIC S7 200 CPU 224, conectados a través de módulos EM-227 de PROFIBUS-DP.

El elemento más importante de la red es el PLC Master, ya que permite la comunicación de la red con el exterior, y por tanto con el resto de los controladores, a través de una red LAN (Figura 3).

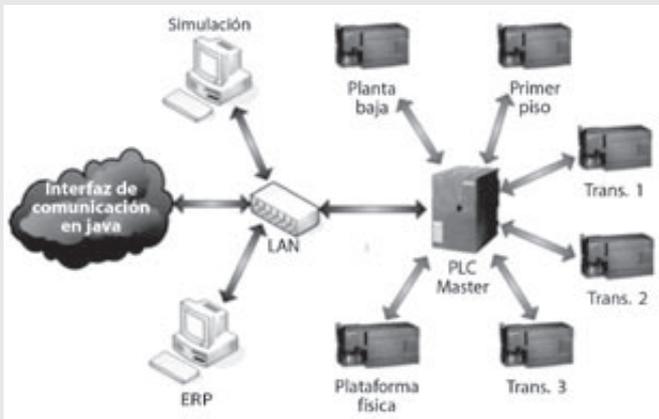


Figura 3. Esquema general del funcionamiento del sistema (Fuente: [7])

La principal función de este PLC es la de establecer comunicación con cada uno de los PLC esclavos y con el interfaz de comunicación. Es decir, gestionar la información y las comunicaciones entre cada uno de los PLCs que forman la red y el exterior de la misma, y por tanto con el resto del sistema de gestión y control del centro de distribución.

El PLC Master es el encargado de recoger las cadenas de datos (órdenes) que llegan desde el sistema de gestión, almacenándolas en el Bloque de Datos (DB) de recepción. Después de analizar la orden, la envía al PLC esclavo que corresponda. Previo a la llegada de la orden al PLC esclavo correspondiente, la orden es transferida a otro DB, que

hace como bandeja de entrada de cada esclavo. Una vez que la orden es procesada por el PLC esclavo, la envía a su bandeja de salida (su DB correspondiente). En ese momento, el Master se encarga de recoger la orden que es devuelta por el PLC esclavo, y de redireccionar a otro PLC o a la interfaz de comunicación, para informar al sistema de gestión sobre la ejecución de la orden, según el caso.

INTERFAZ CON LA SIMULACIÓN

Dado que el sistema de control se encuentra implementado en una red de PLCs y el centro de distribución es simulado en su mayor parte, resulta imprescindible la creación de un interfaz de comunicación para conectar ambas partes y poder controlar la planta. Se ha desarrollado un interfaz en Java, utilizando Eclipse, mediante el uso de sockets que comunican las señales de los PLCs (entradas y salidas), con el software de simulación Grasp 10 (Figura 4). El interfaz se conecta con ambas partes utilizando una red LAN, lo que aporta una gran flexibilidad al sistema, ya que las partes pueden encontrarse en distintas ubicaciones físicas. De este modo, dicha interfaz se conecta por un lado con el módulo LAN de la red de PLCs, y por otro lado con la computadora en la que se ejecuta la simulación.



Figura 4. Ventana de conexión del interfaz

Esta interfaz consiste en la interpretación y correspondencia del conjunto de entradas y salidas de la red de PLCs, con una serie de mensajes de texto interpretables y generados por el software de simulación. Para ello, este interfaz se basa en el uso de bases de datos MySQL, en las que se almacenan las relaciones entre las direcciones de E/S de los PLCs y los eventos de la simulación, ya sean instrucciones de comando hacia la simulación o los mensajes generados por la misma.

ARQUITECTURA MULTI-AGENTE

Uno de los objetivos de los SMA es que los agentes tengan la capacidad de negociar entre ellos para enfrentar situaciones de conflicto [8]. Basados en los conceptos

definidos en [9], se ha diseñado una arquitectura multi-agente para su aplicación en el centro de distribución. El sistema está estructurado en tres niveles reactivo, deliberativo e interfase (Figura 5).

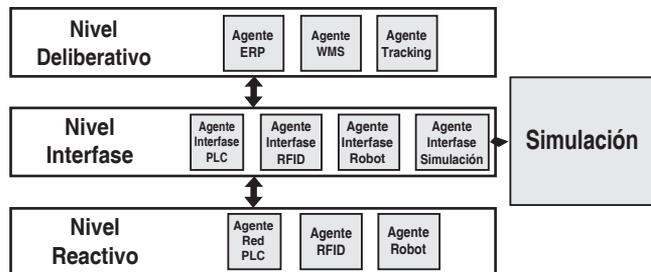


Figura 5. Arquitectura basada en Agentes(Fuente: [4])

NIVEL REACTIVO

En este nivel los PLCs controlan el modelo físico y la simulación. Los agentes que componen este nivel tienen la habilidad de percibir cambios en el ambiente y reaccionar automáticamente a ellos sin necesidad de ser analizadas.

Agente Red PLC (ARP): Este agente es el encargado de recibir un paquete de información del nivel deliberativo que contiene entre otras cosas, la identificación del palé, origen, destino, nivel de prioridad y los almacena en DBs.

La comparación del nivel de prioridad de cada palé en el puntos de cruces, trazabilidad de palés y movimiento de cargas son tareas llevadas a cabo por los sub-agentes (PLCs) que componen la ARP. Los componentes de este módulo son:

- Master PLC: se encarga de procesar la información procedente del sistema de gestión y repartirla a cada uno de los PLC esclavos, según corresponda.
- PLC 1: es el encargado de realizar el control de la planta baja del centro de distribución.
- PLC 2: éste se encarga del control de la segunda planta del centro de distribución.
- PLC 3, 4 y 5: cada uno de ellos se encarga del control respectivo de los tres transelevadores de los que dispone el almacén.
- PLC 6: se encarga del control de los muelles de carga y descarga del centro de distribución en coordinación con la simulación.

Agente RFID: este agente asigna una identificación única a cada uno de los palés que entran en la planta y envía esa identificación al nivel deliberativo.

Agente Robot: este agente es responsable del movimiento de los palés miniatura desde la cinta transportadora hasta la estantería y viceversa.

NIVEL INTERFASE

Este nivel es muy importante ya que la efectividad del sistema de gestión depende, en gran parte de la exactitud y rapidez de la información procesada en este nivel. La función principal es transferir información del nivel reactivo

al nivel deliberativo y viceversa. Es decir, funciona como un puente de comunicaciones entre ambos niveles. En este nivel, los siguientes agentes se encuentran conectados a través de Ethernet:

Agente interfase PLC: este agente maneja toda la información y las comunicaciones entre los agentes que componen la red de PLCs y los otros módulos.

Agente interfase RFID: estos lectores incorporan módulos internos de red desarrollados en el grupo autolog, para ser capaces de comunicarse vía Ethernet.

Agente interfase Robot: el robot cuenta con una tarjeta de red industrial y es controlado a través de un software hecho en Java basado en interfaces de programación de aplicaciones (API, por sus siglas en inglés: Application Programming Interface) de Motoman.

Agente interfase Simulación: a través de sockets, un software desarrollado en Java coordina la comunicación entre el parte de control y la simulación.

NIVEL DELIBERATIVO

En este nivel, los agentes tienen la habilidad de recibir y procesar información sobre su entorno y según sus creencias y deseos, decidir cuál es el mejor plan de acción para alcanzar los objetivos especificados. En este nivel podemos encontrar:

Agente ERP: Este agente se encarga del procesamiento de las acciones que se aplicarán para alcanzar objetivos específicos. Recibe órdenes de los clientes, genera la planificación en coordinación con el Agente WMS y calcula el nivel de prioridad de las órdenes. Este agente ha sido implementado en el ERP "Hermes" creado sobre la plataforma Velneo 6.4.1.

Agente WMS: Este agente gestiona el almacén automático simulado. Se encarga de asignar la locación final del palé en el almacén automático, de acuerdo con diferentes factores.

Agente Tracking: Este agente está encargado de dar un seguimiento a las órdenes. De esta manera, si hay algún retraso en alguna orden de producción, debe modificar el nivel de prioridad de cada palé para poder cumplimentar a tiempo la orden.

CÁLCULO DE PRIORIDADES

La decisión de mandar un palé a cierta locación o asignarle una prioridad específica se realiza en una coordinación entre los agentes ARP y ERP. Por ejemplo, si un palé k_{ji} de una orden K_j y un palé k_{ri} de la orden de producción K_r llegan al mismo tiempo a un cruce de cintas transportadoras. El ARP debe ser capaz de seleccionar el palé con mayor prioridad.

RFID-IMS a través de su implementación en el ERP, asigna un nivel de prioridad dependiendo de la orden de producción a la que pertenecen. El nivel de prioridad es determinado por la ecuación (1). Esta ecuación está inspirada en un modelo matemático, utilizado en el cálculo del valor de reputación/confianza de un agente

dentro de un SMA [10], [11]. En este trabajo, este modelo ha sido adaptado para el cálculo del nivel de prioridad de un palé dentro de una comunidad de palés (órdenes de producción).

$$P_{k_{ji}} = w_c C_{K_j} + w_d D_{K_j} + w_t T_{K_j} + \frac{\sum_{i=1}^n S_{k_{ji}}}{n}$$

Donde $P_{k_{ji}}$ denota la prioridad. C_{K_j} es el grado de importancia de un cliente. La compañía, en este caso centro de distribución, debe proveer este valor; el cual debe estar comprendido: $0 \leq C_{K_j} \leq 1$. D_{K_j} es el valor asignado a la fecha de entrega, al igual que el valor anterior, es definido por la compañía y su valor comprende entre $0 \leq D_{K_j} \leq 1$. T_{K_j} denota el valor asignado a la fecha de recibo o entrada y su valor es de $0 \leq T_{K_j} \leq 1$. El último término de la ecuación nos indica el nivel de progreso de la orden. Es decir, hasta qué punto de la orden se ha elaborado. Este valor es el resultado de la sumatoria de los factores $S_{k_{ji}}$ todo eso dividido entre el número total de palés de la orden correspondiente. $S_{k_{ji}}$ es una variable binaria que es 0 cuando el palé k_{ji} no ha sido embarcado y 1 en el caso contrario.

Finalmente, w_c , w_d y w_t son pesos asignados respectivamente a las variables C_{K_j} , D_{K_j} y T_{K_j} . Con esto, el valor de prioridad puede ser ajustada a la necesidad de la organización. Los pesos deberán tener un valor de 0 a 1 dependiendo de la política del centro de distribución.

El nivel de prioridad está ubicado en las cadenas de datos adjuntas a cada palé y puede ser actualizado a través de Ethernet, siguiendo las instrucciones del nivel deliberativo.

CONCLUSIONES

En el mercado actual, las industrias están obligadas a definir nuevas estrategias que les permitan competir en el mercado, acompañadas de herramientas de gestión adecuadas que garanticen su materialización; sin ellas, los esfuerzos serán inútiles. En consecuencia, las tecnologías de control deben adaptarse a estos nuevos entornos de producción y tener acceso automático a la información. La facilidad en el acceso a la información, así como la capacidad de recolección de datos de tiempo real, se convierten en requisitos esenciales para un manejo eficaz de la cadena de suministro.

En este artículo se describe la implementación de la metodología RFID-IMS en un centro de distribución. La metodología propuesta dota al sistema con la capacidad de reaccionar de una manera flexible ante cambios inesperados. Esto se logra mediante la aplicación de un sistema capaz de proveer datos precisos utilizando la tecnología RFID, junto a un control negociador basado en agentes. Por otro lado, la metodología RFID-IMS responde efectivamente a requerimientos dinámicos, mostrando beneficios inmediatos en distintos procesos de distribución. Primero el sistema es capaz de gestionar

distintos lotes al mismo tiempo; incrementando el número de órdenes terminadas sobre las que son elaboradas siguiendo mecanismos de planeación tradicionales. Otro beneficio importante es la preparación de órdenes dependiendo de su nivel de prioridad, misma que ha sido el talón de Aquiles de muchos centros de distribución. Este proceso de preparación de órdenes se mejora debido al correcto uso de los recursos en el centro de distribución.

El desempeño del área de embarque también mejora por la reducción de los errores en los procesos de carga y descarga. Estos errores (Ej. la devolución de productos) son muy importantes, debido al alto costo que generan a la compañía además de la afectación negativa de la imagen.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Leitão, P., (2009) Agent-based distributed manufacturing control: A state-of-the-art survey, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 22, 979-991.
- 2) McFarlane, D., Marik, V., Valckenaers, P. (2005). Intelligent Control in the Manufacturing Supply Chain. *IEEE Intelligent Systems*, 20(1), 24-27.
- 3) García, A. & Cenjor, A., (2007). Sistema Heterárquico de Control Basado en Agentes para Sistemas de Fabricación, *Revista iberoamericana de automática e informática industrial (RIAI)*, 4, 83.
- 4) Encinas J.C., García A., de las Morenas J. (2010). Improvements in operations management applied to a 3D simulation connected to a physical platform. *Journal of Intelligent Manufacturing*, Springer, Netherlands. DOI: 10.1007/s10845-010-0441-0.
- 5) Chan, S. (1999). Architecture Choices for ERP Systems, *Proceedings 5th Americas Conference on Information Systems*, Milwaukee, pp. 210-212.
- 6) Encinas J.C., García F.P., de las Morenas J., García A. (2009). "Operations Management based on RFID-IMSII". *Proc. of the 23rd European Conference on Modelling and Simulation (ECMS'09)*. Madrid, Spain. June 9-12.
- 7) Blanco, Jesus; García, Andrés; De Las Morenas, Javier; García, Pablo; García-Escribano, Javier. (2010). Application of Distributed Control Theories and RFID in a Miniature Distribution Center. *The Third International EURASIP Workshop on RFID Technology*. 6-7 septiembre. La Manga del Mar Menor (Cartagena). ISBN: 978-84-96997-47-9.
- 8) Wooldridge M., G. Weiss, y P. Ciancarini. (2002). *Agent-Oriented Software Engineering II*. LNCS vol. 2222. Springer-Verlag: Berlin, Germany.
- 9) Bonasso, R.P., Firby, J., Gat, E., Kortenkamp, D., Millar, D., Snack, M. (1997). A Proven Three-tiered Architecture for Programming Autonomous Robots. *Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence*, vol. 9, no. 2.
- 10) Soto, J. P., Vizcaino, A., Portillo-Rodríguez, J., Piattini, M. (2008). Recommending Trustworthy Knowledge in KMS by Using Agents. *Software and Data Technologies*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 22, 297-309.
- 11) Soto, J.P., Vizcaino, A., Portillo-Rodríguez, J., Piattini, M., Kusche, O. (2009). A Two-Layer Multi-agent Architecture to Facilitate Knowledge Sharing within Communities of Practice. *Inteligencia Artificial (IA)*, 13(42), 46-54.

ÁREAS DE OPORTUNIDAD PARA IMPULSAR LA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE EN LAS IMPRENTAS

Con un enfoque de seguridad y salud

MARÍA MAGDALENA ROMO AYALA, AMINA MARÍN MARTÍNEZ

El presente artículo muestra una investigación realizada en la industria de las artes gráficas del estado de Sonora y aporta información que permite identificar las áreas de oportunidad para impulsar la producción sustentable en esta industria.

Los resultados obtenidos, fueron consistentes con estudios similares que se han realizado en países desarrollados; se observó que los riesgos a que se exponen con mayor frecuencia, los trabajadores de este sector económico contemplan principalmente la exposición a ruido, sustancias químicas en el aire, sustancias químicas en contacto con la piel, mala ventilación, exposición a polvos, humos o gases y condiciones ergonómicas adversas, siendo el dolor músculo esquelético mano/muñeca, el más reportado. Así mismo, se encontró que los síntomas que mayormente declaran sufrir los empleados de este sector incluyen el dolor de cabeza, los problemas para dormir y el adormecimiento o cosquilleo en alguna parte del cuerpo.

M. C. MARÍA MAGDALENA ROMO AYALA
Correo: magdar@industrial.uson.mx
Departamento de Ingeniería Industrial.
Universidad de Sonora
DRA. AMINA MARÍN MARTÍNEZ
Correo: amarin@industrial.uson.mx
Departamento de Ingeniería Industrial.
Universidad de Sonora.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Organización Internacional del Trabajo, los empleados están expuestos a diferentes riesgos generados por la actividad que realizan dentro de los centros donde laboran, entre ellos encontramos los riesgos físicos, químicos, ergonómicos, biológicos y psicosociales (1).

En estudios realizados por la Comisión Europea para medir el impacto de la contaminación química sobre la salud de trabajadores en un año, se encontró, que la exposición a sustancias cancerígenas había causado 32,500 muertes (2); por ello las sustancias químicas, las cuales son muy utilizadas en todas las industrias, constituyen un grave problema de salud laboral (2, 3, 4).

En Estados Unidos (E. U. A.) se emplean 1.25 billones de dólares cada año, para sufragar costos asociados a la pérdida de horas de trabajo, indemnizaciones a trabajadores, interrupciones de la producción y gastos médicos (5).

Durante el año 2009, en nuestro país, se registraron a nivel nacional 395,024 accidentes de trabajo y ocurrieron 1,109 defunciones por accidentes y enfermedades de trabajo. Las incapacidades por riesgos de trabajo aumentaron 7% con relación al año anterior, al pasar de 17 mil 487 a 18 mil 721. Tomando en cuenta la ubicación geográfica sobre la ocurrencia de estos riesgos, en lo relativo a las enfermedades de trabajo encontramos que los estados de Zacatecas, Sonora y Veracruz contribuyen con el 83.3% del total del incremento nacional y con respecto a las incapacidades por riesgos de trabajo el 95.7% lo aportan sólo seis estados de nuestro país, entre ellos, el estado de Sonora (6).

En México, Tornero afirma que en un año el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) gasta más de 65 mil millones de pesos por incapacidades médicas, medicamentos, rehabilitación y pensiones; a lo anterior, habría que agregar los costos que generan a las empresas y aseguradoras, los riesgos de lesiones permanentes o defunciones de trabajadores (7).

El presente trabajo aborda las condiciones de salud en las cuales laboran los empleados en el sector de las artes gráficas y en particular el de las imprentas en Sonora, donde se realizan actividades altamente repetitivas, se utilizan sustancias y materiales riesgosos como: placas de plata (8), algunas tintas, alcohol isopropílico, solventes y pegamentos; sustancias que si se manejan en forma inadecuada pueden ser peligrosas para la salud de los trabajadores (2, 4); además, en este documento se dan a conocer los hallazgos encontrados, a fin de que los profesionistas de higiene en el trabajo y los administradores de estos negocios, lleven a cabo acciones tendientes a prevenir y eliminar los riesgos a que se exponen los trabajadores que laboran en ellas.

El artículo inicia presentando la problemática que se ha identificado en la industria gráfica, enseguida menciona las características y la metodología del estudio, continúa con

los resultados obtenidos y finaliza con las conclusiones de la investigación.

PROBLEMÁTICA

En estudios realizados por sector industrial en E.U.A., se encontró un número significativo de muertes de trabajadoras de imprentas ocasionado por cáncer de pulmón (9); también reportan que los trabajadores de estas empresas tienen potencialmente, un alto riesgo de contraer asma (10); se ha demostrado la incidencia de dermatosis entre los trabajadores de prensa, debido al uso de solventes y guantes (4, 11). Otros riesgos que se reportan son: la exposición a ruido en niveles muy próximos a 90 dB(A), decibeles tipo A, (4), el cual en la norma oficial mexicana NOM-11-STPS-2001 se establece como límite máximo permisible de exposición recomendado para 8 horas de trabajo; en el Reino Unido se han documentado accidentes en la industria gráfica, debidos al inadecuado manejo manual de materiales (12).

Para el caso de las imprentas de nuestro país, hasta donde se indagó, no se localizó estudio alguno en donde se haya efectuado una investigación sobre los riesgos y condiciones de seguridad e higiene a los que se exponen los trabajadores de esta industria.

De lo anterior se deriva la necesidad de indagar sobre los riesgos que a nivel regional posiblemente enfrentan los empleados de este sector, información que de tenerla a la mano servirá para poder abordar de manera adecuada la eliminación o reducción del posible impacto negativo en la salud y los costos asociados a ello.

CARACTERÍSTICAS Y METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

La investigación que aquí se muestra, se realizó utilizando el enfoque de la producción sustentable, el cual comprende todo lo concerniente a la viabilidad a largo plazo de las organizaciones como unidades económicas, sociales y ambientales.

Los casos estudiados se realizaron en las ciudades de Hermosillo y Ciudad Obregón durante los meses de octubre y noviembre de 2009, utilizando el muestreo no probabilístico por conveniencia, denominado "bola de nieve" (13).

Para conocer la percepción del trabajador con respecto a las condiciones de seguridad e higiene en las que labora, se aplicó la encuesta diseñada por la Universidad de Massachusetts, Lowell de E.U.A., la cual está dividida en tres secciones: en la primera se indaga sobre información demográfica, historia laboral y tiempo de exposición a químicos en un día de trabajo; en la segunda sección se interroga al trabajador sobre 16 síntomas neurotóxicos que puede padecer debidos a exposiciones a agentes químicos y físicos, además en esta misma sección se incluye la exposición a estresores ergonómicos; la tercera sección contiene preguntas sobre condiciones generales de trabajo y seguridad, además se evalúa el conocimiento

del trabajador sobre derechos y leyes que regulan la salud y seguridad en nuestro país (14). Los resultados obtenidos se capturaron y analizaron aplicando estadística descriptiva en el software SPSS v.18.

En la investigación participaron 7 imprentas, donde laboran 77 trabajadores en total, de los cuales, sólo 49 empleados con un año o más de antigüedad, aceptaron participar en el estudio.

ANÁLISIS Y RESULTADOS

Los trabajadores encuestados tienen una edad promedio de 42 años y tienen en promedio 2.3 dependientes económicos.

Las condiciones socioeconómicas en que viven los trabajadores se consideran aceptables debido a que el 100% cuenta con agua entubada y el piso de sus viviendas es de material.

Los estudios de los encuestados incluyen: 40.8% primaria, 28.5% secundaria y sólo 28.5% cuenta con estudios a nivel técnico y/o universidad.

El promedio de la antigüedad laboral de los participantes en la investigación es de 15 años.

El tipo de trabajo que actualmente desempeñan los elementos de la muestra estudiada se presentan en la tabla 1, siendo los empleados del área de producción quienes aportan a esta investigación el mayor porcentaje de información.

Tabla 1. Tipos de trabajo que integran la muestra estudiada.

TIPO DE TRABAJO	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Productivo	40	81.6
Mantenimiento	2	4.1
Administrativo	5	10.2
Servicio y otros	2	4.1
Total	49	100.0



Con respecto a las características de la jornada de trabajo, el 77.6% de los trabajadores laboran en horario diurno y 22.4% lo hacen en horario mixto.

El salario semanal promedio es de \$1,659. Por otro lado, el 18.4% trabaja un promedio de 9.2 horas a la semana como tiempo extra.

La tabla 2 muestra la exposición laboral a sustancias químicas, 37.5% está expuesto parte del turno, a sustancias químicas en contacto con la piel y 30% afirma que la exposición se presenta durante todo el turno.

Tabla 2. Exposición laboral a químicos.

EXPOSICIÓN LABORAL A SUSTANCIAS QUÍMICAS	Frecuencia			Porcentaje válido		
	Nunca	Parte del turno	Todo el turno	Nunca	Parte del turno	Todo el turno
Humos, gases o vapores	13	19	8	32.5	47.5	20.0
Sustancias químicas con contacto con la piel	13	15	12	32.5	37.5	30.0
Polvos	14	15	8	37.8	40.5	21.6

La exposición laboral a riesgos físicos y ergonómicos se muestra en la tabla 3. El 57.4% de los trabajadores está expuesto a ruido durante todo el turno; 37.5% está expuesto, parte del turno, a mucho calor y 26.2% de los participantes trabajan parte del turno, en centros con mala ventilación.

Continuando con la exposición laboral a riesgos ergonómicos, tabla 3, la muestra estudiada informa lo siguiente: 31.0% de los empleados realiza su trabajo parte del turno, en posición incómoda; 53.7% de los trabajadores ejecuta movimientos repetidos de brazo o mano durante todo el turno y 38.5% levanta cargas pesadas, durante una parte del turno.



Tabla 3. Frecuencia de exposición laboral a riesgos físicos y ergonómicos.

EXPOSICIÓN LABORAL A RIESGOS FÍSICOS Y ERGONÓMICOS	Frecuencia			Porcentaje válido		
	Nunca	Parte del turno	Todo el turno	Nunca	Parte del turno	Todo el turno
Ruido	4	16	27	8.5	34.0	57.4
Calor	19	15	6	47.5	37.5	15.0
Mala ventilación	21	10	11	50.0	23.8	26.2
Mala iluminación	28	6	7	68.3	14.6	17.1
Mucho esfuerzo para los ojos	21	10	11	50.0	23.8	26.2
Posición incómoda	23	13	6	54.8	31.0	14.3
Movimientos repetidos de brazo o mano	9	10	11	22.0	24.4	53.7
Carga pesada	18	15	6	46.2	38.5	15.4
Movimientos de esfuerzo energético de brazo o mano	28	4	6	73.7	10.5	15.8
Trabajo aburrido	29	7	3	74.4	17.9	7.7
Depende del ritmo de una máquina o banda	15	15	9	38.5	38.5	23.1

Los síntomas neurotóxicos por exposición a compuestos orgánicos volátiles, que la población estudiada mayormente reporta, tabla 4, son: 40.8% siente dolor de cabeza por lo menos una vez a la semana; 34.7% a menudo se despierta, costándole dificultad luego volverse a dormir y 31.3% a menudo siente punzadas dolorosas, adormecimiento u hormigueo en alguna parte del cuerpo.

Tabla 4. Síntomas por exposición a compuestos orgánicos.

SÍNTOMAS NEUROTÓXICOS	Frecuencia		% válido	
	Sí	No	Sí	No
¿Es olvidadizo?	12	37	24.5	75.5
¿Le han dicho sus familiares y/o amigos que es olvidadizo?	11	37	22.9	77.1
¿A menudo tiene que regresar a controlar cosas que ha hecho?	13	33	28.3	71.7
¿Tiene dificultad para concentrarse a menudo?	6	43	12.2	87.8
¿A menudo se siente enojado sin motivo?	12	37	24.5	75.5
¿A menudo se siente abatido o triste sin motivo específico?	8	40	16.7	83.3
¿Se siente anormalmente cansado?	10	38	20.4	77.6
¿Siente palpitaciones del corazón sin hacer esfuerzo?	8	41	16.3	83.7
¿Siente a veces como una presión sobre el pecho?	8	41	16.3	83.7
¿Tiene dolor de cabeza por lo menos una vez por semana?	20	29	40.8	59.2
¿Ha sentido de pronto como que se va a caer estando de pie o caminando?	5	44	10.2	89.8
¿A menudo siente punzadas dolorosas, adormecimiento u hormigueo en alguna parte del cuerpo?	15	33	31.3	68.9
¿Le resulta difícil abrocharse los botones?	6	43	12.2	87.8
¿Ha tenido disminución o pérdida de sensibilidad en partes de sus brazos o piernas?	6	42	12.5	87.5
¿A menudo produce mayor cantidad de saliva sin motivo aparente?	9	40	18.4	81.6
¿Tiene problemas para dormirse?	8	41	16.3	83.7
¿A menudo se despierta, costándole dificultad luego volverse a dormir?	17	32	34.7	65.3

A los individuos se les cuestionó si han experimentado síntomas músculo-esqueléticos en el último año, los resultados se muestran en la tabla 5; el más reportado es el dolor de mano/muñeca (27.0%). Los que tienen este dolor, reconocen sentir alivio cuando no están en su trabajo por una semana o más tiempo.

Tabla 5. Prevalencia de dolor de mano/muñeca de 49 empleados de imprentas.

SÍNTOMAS MÚSCULO-ESQUELÉTICOS	Frecuencia		% válido	
	Sí	No	Sí	No
Dolor de mano/muñeca	10	37	27.0	73.0
Antebrazos/codos	3	44	6.4	93.6
Hombros	2	44	4.3	95.7
Dolor o entumecimiento que lo ha despertado durante la noche	5	40	11.1	88.9

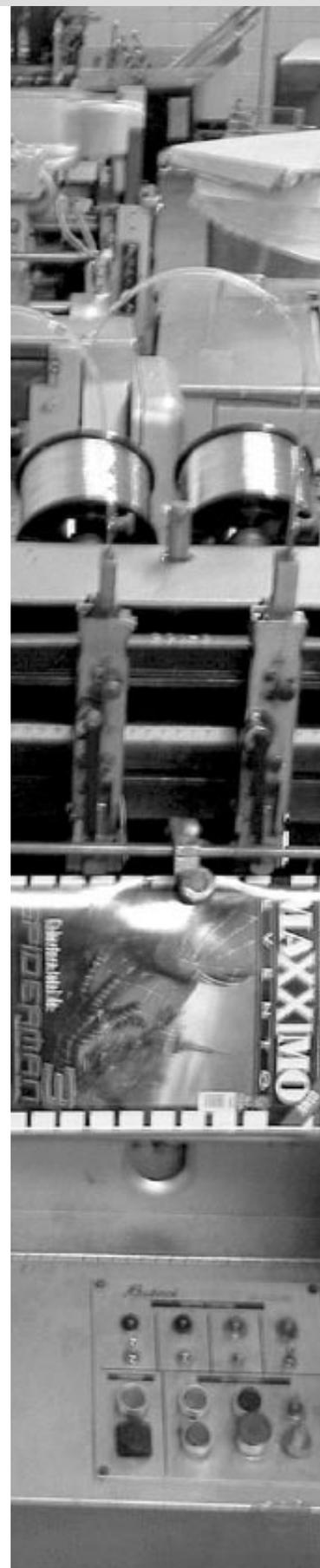
En la tabla 6 se indica la información que los empleados dicen haber recibido de la empresa sobre aspectos de seguridad y medidas de prevención, resaltando el conocimiento insuficiente que tienen sobre lo siguiente: 61.7% asegura desconocer los riesgos de su trabajo y la forma de prevenirlos, 45.9% no está al tanto de los riesgos específicos de las labores que realiza, 55.9% ignora los efectos de sustancias nocivas y 52.9% no han sido instruidos sobre los medios para prevenirlos.

Con respecto a las instalaciones con que cuentan, tabla 6, el 87% manifiesta que no está disponible un comedor, alejado del área de producción.

Tabla 6. Resultados obtenidos sobre condiciones generales de salud y seguridad.

CONDICIONES GENERALES DE SALUD Y SEGURIDAD	Frecuencia		% válido	
	Sí	No	Sí	No
¿Ha sido informado por la empresa sobre los riesgos de su trabajo y de los medios para prevenirlos?	18	29	38.3	61.7
¿Le informa la empresa sobre los riesgos específicos de su trabajo?	20	17	54.1	45.9
¿Le informa la empresa sobre los efectos de sustancias nocivas?	15	19	44.1	55.9
¿Le informa la empresa sobre los medios de prevención?	16	18	47.1	52.9
¿Le informa la empresa sobre las instrucciones específicas sobre el uso, manejo y cuidado del equipo de protección personal?	14	19	42.4	57.6
¿Le informa la empresa sobre los procedimientos para evacuar el centro de trabajo o la planta para casos de emergencia?	12	20	37.5	62.5
¿Le informa la empresa sobre sus derechos laborales?	13	16	44.8	55.2
¿Le informa la empresa sobre los procedimientos necesarios para el almacenamiento, transporte y manejo de sustancias inflamables y combustibles para prevenir el riesgo de incendio?	10	20	32.3	64.5
¿Opina usted que es adecuado el entrenamiento que le dan para protegerse?	18	26	40.9	59.1
¿Está disponible una regadera/vestidor?	7	38	15.6	84.4
¿Está disponible un comedor, alejado del área productiva?	6	40	13.0	87.0
¿Están disponibles lavabos con servicio de agua corriente?	47	1	97.9	2.1
¿Está disponible agua potable?	48	0	100	0
¿Está disponible un inodoro o tasa?	48	0	100	0

Las condiciones de etiquetado de los recipientes que manejan se muestran en la tabla 7. Del total de trabajadores, el 61.7% respondió que los recipientes portátiles y permanentes, tienen los letreros que indican su contenido y peligrosidad; 69.7% menciona que las





etiquetas muestran los efectos del químico sobre la salud y 73.2% respondió que las etiquetas muestran los riesgos de incendio, explosión o corrosión y cómo prevenirlos.

Tabla 7. Condiciones de etiquetado de recipientes.

ETIQUETADO DE RECIPIENTES	Frecuencia		% válido	
	Sí	No	Sí	No
¿Tienen los recipientes (cubetas o baldes) portátiles y permanentes (tambores o recipientes) los letreros que indiquen su contenido y peligrosidad?	29	18	61.7	38.3
¿Están los letreros en los recipientes escritos en español?	27	17	61.4	38.6
¿Muestra la etiqueta el nombre comercial o código de las sustancias contenidas en los recipientes?	29	11	72.5	27.5
¿Tiene la etiqueta el nombre químico?	29	8	78.4	21.6
¿Muestra la etiqueta los efectos sobre la salud?	23	10	69.7	30.3
¿Muestra la etiqueta los riesgos de incendio, explosión o corrosión y cómo prevenirlos?	30	11	73.2	26.8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De los resultados de la presente investigación se concluye, que en las imprentas visitadas se presentan situaciones inseguras y riesgos ocupacionales generados por las operaciones y procesos que se realizan en ellas, el manejo de materiales, las condiciones de las instalaciones y el nivel de capacitación recibido, entre otros; tal y como sucede en la industria de la impresión gráfica en países desarrollados.

Dado que hubo trabajadores que no accedieron a participar en la investigación, es posible que exista un porcentaje mayor de personas expuestas a los riesgos laborales. El hecho de que la muestra estudiada tenga una edad promedio de 42 años, con una antigüedad promedio de 15 años, sugiere también, que es posible encontrar a futuro, efectos crónicos de salud tales como patologías auditivas, dermatológicas y músculo esqueléticas, en los empleados de esta industria; lo cual hace necesario realizar exámenes médicos de vigilancia a la salud dirigidos a este grupo de empleados.

Se asume que el estudio muestra suficiente evidencia sobre los efectos en la salud de los trabajadores los cual justifica emprender medidas preventivas apropiadas para contrarrestarlos.

Por lo anterior, es recomendable involucrar a los encargados de administrar las imprentas, en la instauración y desarrollo de programas oficiales y/o formales de seguridad e higiene en el trabajo para identificar, prevenir, corregir y controlar riesgos ocupacionales, a fin de mejorar y optimizar la productividad y en general el rendimiento de la organización, uno de ellos es el programa de autogestión en seguridad y salud en el trabajo de la Secretaría de Trabajo y Previsión Social, el cual responde más efectivamente a la prevención a riesgos de accidentes y enfermedades laborales.

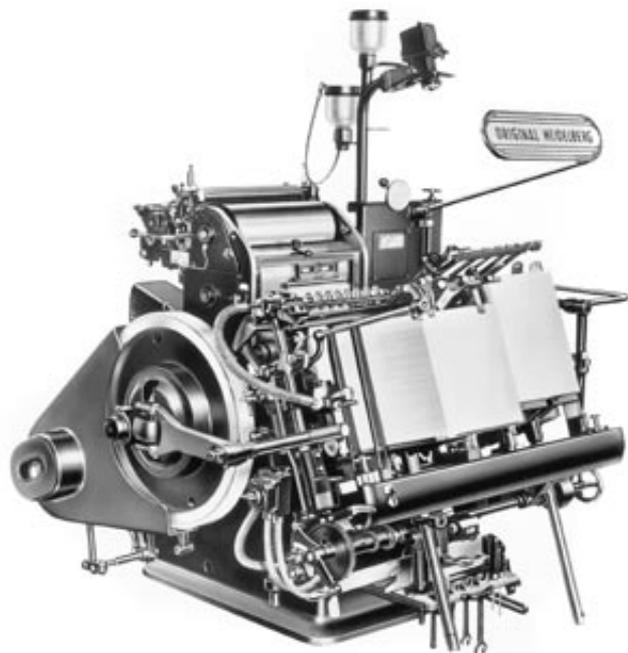
Se requiere también, capacitar y entrenar a los trabajadores sobre estándares de salud y seguridad en el trabajo y realizar estudios posteriores en imprentas para medir los niveles de ruido, temperatura, ventilación, iluminación, así como también evaluar riesgos ergonómicos, a fin de que se implementen controles de ingeniería para eliminar los riesgos ocupacionales.

Es deseable también establecer programas de compra de materia prima a negocios que cumplan con las normas oficiales e internacionales en la fabricación y venta de sus productos; que el sector de las artes gráficas se agrupe para impulsar con los tres niveles de gobierno, acciones que busquen mejorar las condiciones de trabajo y detonen en el desarrollo sustentable de este ramo y adoptar el compromiso legal de cumplir el "derecho a conocer" que tienen los trabajadores y la comunidad que puede verse afectada por los riesgos a la salud y seguridad.



BIBLIOGRAFÍA

- 1) Ferrari Goelzer Berenice I. A., 1999. "Herramientas y enfoques". Enciclopedia de la salud y seguridad en el trabajo: Organización Internacional del trabajo OIT.
- 2) Nieto, Joaquín y Blount, Estefanía, 2003. REACH, Registro, Evaluación y Autorización de Sustancias Químicas. Una nueva oportunidad para reducir el riesgo químico. [Internet] Informe presentado el 25/11/03. España: Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud. Disponible en: <http://www.istas.ccoo.es/descargas/reach.pdf> [Visto 20 agosto 2009].
- 3) Sánchez Milla, J. J.; Sanz Bou, Ma. & Apéllaniz González, A., 2009. Contaminantes químicos en la empresa. Clasificación. Medidas preventivas. Revista SVMST No. 7. Disponible en: <http://www.svmst.com/Revista/N7/contaminantes.htm> [Visto 29 agosto 2009].
- 4) Plog, Barbara A. & Quinlan, Patricia J., eds., 2002. Fundamentals of Industrial Hygiene. 5ª. edición. Occupational Safety and Health Series: National Safety Council Press.
- 5) Organización Internacional del Trabajo OIT, 2008. Promover Empleos Seguros. Trabajo, La Revista de la OIT, No. 63, p. 4. Disponible en: http://www.ilo.org/wow/PrintEditions/lang--es/docName--WCMS_099653/index.htm [Visto 20 agosto 2009].
- 6) Secretaría de Trabajo y Previsión Social, 2010. Información sobre accidentes y enfermedades del trabajo. Nacional 2000 - 2009. [Internet]. México. Disponible en: <http://www.stps.gob.mx/DGSST/estadisticas/Nacional%202000-2009.pdf> [Visto 3 diciembre 2010].
- 7) Tornero Applebaum, Francisco Dr., 2007 citado por Sueiro Nieto, Paloma, 2007. El IMSS gasta más de 65 millones de pesos por accidentes de trabajo al año. (México). [Internet]. Serviprevencia. Disponible en: <http://www.serviprevencia.org/spip.php?article505> [Visto 25 de octubre 2010].
- 8) Higuchi, Dean, 2006. Guam printing facility to pay \$12,500 for hazardous waste violations. [Internet]. USA: Environment Protection Agency EPA. Disponible en: <http://yosemite.epa.gov/opa/admpress.nsf/3ee0a48cce87f7ca85257359003f533d9f9425cefb710f86852571c500827b48!OpenDocument> [Visto 20 agosto 2009].
- 9) Robinson, C. F.; Sullivan, P. A. & Walker, J. T., 2007. Lung cancer mortality among employed US women by industry sector. American Journal of Epidemiology, 165 (11) (Suppl S): S134. Massachusetts, E. U. A. Disponible en: http://aje.oxfordjournals.org/content/vol165/suppl_11/index.dtl [Visto 22 septiembre 2009].
- 10) Bang, K. M.; Hnizdo, E. & Doney, B., 2005. Prevalence of asthma by industry in the US population: a study of 2001 NHIS data. American Journal of Industrial Medicine, junio 47 (6), p. 500-508. Disponible en: http://www2a.cdc.gov/nioshtic/BuildQyr.asp?s1=printing+and+publishing+industry&f1=*&Startyear=&Adv=0&terms=1&D1=10&EndYear=&Limit=10000&sort=&PageNo=1&RecNo=3&View=f& [Visto 22 septiembre 2009].
- 11) Methner, M. & Tapp, L., 2006. Health hazard evaluation report: HETA-2005-0361-3005, Buffalo Newspress, Buffalo, New York. [Internet]. Búfalo, Nueva York: NIOSH, junio: 1-17. Disponible en: http://www2a.cdc.gov/nioshtic-2/BuildQyr.asp?s1=Methner+and+Tapp&f1=*&Startyear=&Adv=0&terms=1&D1=10&EndYear=&Limit=10000&sort=&PageNo=1&RecNo=2&View=f& [Visto 22 septiembre 2009].
- 12) Health and Safety Executive, 2007. Health and Safety in Printing and Publishing Industries 2001/2001 to 2005/2006, Progress Report. [Libro electrónico]. Reino Unido: Manufacturing Sector Printing Group. Disponible en: <http://www.hse.gov.uk/printing/progressreport.pdf> [Visto 10 septiembre 2009].
- 13) Lohr, Sharon L., 2000. Muestreo: Diseño y Análisis. México: International Thomson Editores, S. A. de C. V. Cap. 12, p. 399.
- 14) Moure-Eraso, Rafael, Ph. D., CIH; Wilcox, Meg, SM; Punnett, Laura, Sc. D.; MacDonald, Leslie, M. Sc. & Levenstein, Charles, Ph. D., 1997. Back to the Future: Sweatshop Conditions on the Mexico-US Border. II. Occupational Health Impact of Maquiladora Industrial Activity. American Journal of Industrial Medicine. Vol. 31, p. 587-599.



GALLETAS ENRIQUECIDAS CON FIBRA A PARTIR DE SUBPRODUCTOS DE LA MOLIENDA DEL TRIGO: CARACTERIZACIÓN QUÍMICA, FÍSICA Y SENSORIAL

ANA LOURDES ROMERO-BARANZINI, MARÍA GUADALUPE SALAZAR GARCÍA, FAVIOLA REYES-PÉREZ, ANA LETICIA GARCÍA VILLA

El Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos de la Universidad de Sonora en vinculación con la Industria Molinera, está realizando estudios orientados en utilizar los subproductos de la molienda de trigo panadero como lo son el salvado grueso, salvado fino y semitilla para ser usados como fuente de fibra, la cual se ha relacionado con el control y prevención de muchas enfermedades entre las que se destacan obesidad, diabetes, problemas digestivos, cardiovasculares, diverticulosis, entre otras, por lo que varios estudios realizados en este centro han sido enfocados para mejorar la calidad nutricional de productos horneados, como es el caso de las galletas que se elaboraron para la realización de este estudio, se utilizaron tres mezclas de harinas, usando 70% de harina de trigo blanca y 30% de cada tipo de salvado: grueso, fino y semitilla, además una muestra control a base de 100% de harina de trigo blanca. Las galletas fueron evaluadas en su composición química, fibra dietaria total, soluble e insoluble, y se les midió color, diámetro(D), grosor(G), relación D/G (factor de expansión), textura y una prueba de preferencia a nivel consumidor. Sustituyendo 30% de harina de trigo blanca por algún subproducto de la molienda del trigo, como lo es el salvado de trigo grueso, obtendríamos productos alternativos de galletas más saludables con 3.3 % más de fibra insoluble y 2.7% más de fibra total.

M.C. ANA LOURDES ROMERO BARANZINI
 Correo: aromero@guayacan.uson.mx
 DRA. MARÍA GUADALUPE SALAZAR GARCÍA
 Correo: gsalazar@guayacan.uson.mx
 Q.A. FAVIOLA REYES PÉREZ
 Correo: faviola_reyp@hotmail.com
 Q.A. ANA LETICIA GARCÍA VILLA
 Correo: algv_02@hotmail.com
 Departamento de investigación y Posgrado
 en Alimentos Universidad de Sonora

INTRODUCCIÓN

Los cereales constituyen un producto básico en nuestra alimentación, debido a sus características nutritivas, su moderado precio, sencillez y variedad de su utilización, lo que hace que su consumo sea adecuado para cualquier edad y condición fisiológica (1). Dentro de los cereales, el trigo es el más utilizado en la alimentación humana, ya que es una fuente importante de nutrientes y valor energético en mayor cantidad que el resto de los cereales, es capaz de causar saciedad inmediata, crece en casi cualquier tipo de suelo y además se encuentra ampliamente distribuido en el mundo (2). El consumo de este cereal no se realiza directamente, sino que es sometido a varios procesos con la finalidad de obtener la materia prima para la elaboración de una gran variedad de productos como pan, tortillas, pastas, galletas, pasteles, entre otros. El grano de trigo tiene una especial estructura botánica, en la cual se distinguen tres partes principales: endospermo, salvado y germen. El proceso de refinamiento es el más utilizado y es donde se lleva a cabo la separación del germen y salvado (subproductos) reteniendo solamente el endospermo, con el cual se elabora el producto principal que es la harina (3). Muchos nutrientes y constituyentes bioactivos son contenidos en el salvado y germen y no son aprovechados debido a que estos subproductos se destinan principalmente a la alimentación animal. Algunos de estos nutrientes han demostrado tener propiedades fisiológicas en el organismo humano, como es el caso de la fibra dietaria, la cual se ha relacionado con el control y prevención de muchas enfermedades entre las que se destacan obesidad, diabetes, cáncer de colon y enfermedades cardiovasculares (4). Varios investigadores han utilizado el salvado de trigo para mejorar la calidad nutricional de productos horneados tales como galletas, pasteles, panes de levadura y muffins(5,6,7,8,9). Debido a lo anterior, el objetivo de esta investigación es caracterizar química, física y sensorialmente galletas horneadas a base de harina de trigo con salvado grueso, fino y semitilla, altos en fibra dietaria, para darle un valor agregado a los subproductos de la molienda del trigo y generar productos de mayor calidad nutricional que satisfaga las necesidades nutricionales de la sociedad y así prevenir enfermedades tan importantes como la diabetes, hipertensión e hipercolesterolemia.

METODOLOGÍA EMPLEADA EN EL ESTUDIO

Se utilizaron como ingredientes para las galletas, harina de trigo blanca "Los gallos", salvado de trigo grueso, salvado de trigo fino y semitilla, proporcionados por el molino "La Fama" SA de CV. En el mercado local fueron comprados manteca vegetal, azúcar, bicarbonato de sodio, sal y dextrosa.

Mediante pruebas preliminares, apoyadas con los estudios realizados por Jeltema y col. (6), Singh y col. (8) y Bilgidi y col. (9), se eligieron los porcentajes de harina de

trigo blanca y de los subproductos de la molienda de trigo en sus tres presentaciones (salvado grueso, salvado fino y semitilla). Se prepararon tres tipos de mezclas de harinas, basadas en 30% de cada uno de los subproductos de la molienda del trigo: salvado grueso, salvado fino y semilla y 70% de harina de trigo blanca, y una muestra control con 100% de harina de trigo blanca. Una vez elaboradas las mezclas, se procedió a homogenizar cada una de ellas y después se elaboraron las galletas usando la formulación de la galleta dulce de acuerdo al método 10-50D (10).

Los métodos empleados para la caracterización química de las materias primas, mezclas de harina-subproducto y galletas fueron los recomendados por la AACC (10): humedad (método 44-40), proteína (método microkjeldahl 46-13), ceniza (método 08-03) y grasa (método 30-10).

El contenido de fibra dietaria soluble, insoluble y total de un alimento se empleó una combinación de enzimas y métodos gravimétricos. El procedimiento está basado en el método 985.29 publicado en la AOAC (11).

Los diámetros de las galletas se evaluaron de acuerdo al método de la AACC 10-50D (10). El diámetro (D) fue determinado midiendo el ancho de las galletas de lado a lado. Se realizaron 2 mediciones, primero se midió de lado a lado y en la segunda medición se giró la galleta 90°, se calculó un promedio de las dos mediciones del diámetro y se multiplicó por el factor de corrección. Para la evaluación del grosor (G) de la galleta, se colocaron tres galletas apiladas, escogidas aleatoriamente, se midió la altura de las galletas apiladas, se dividió entre tres y se multiplicó por el factor de corrección y se tomó la medición, las galletas se aleatorizan por dos ocasiones y se procedió a realizar la medición y se dividió entre 3 y multiplicado por el factor de corrección. Para el cálculo del factor de expansión se utilizó la media no ajustada del diámetro y del grosor, realizándose un cociente diámetro/grosor (D/G). Las mediciones de diámetro, grosor y factor de expansión se realizaron por duplicado o triplicado. La ciudad de Hermosillo, Sonora, México se encuentra a 282 m sobre el nivel del mar y su presión barométrica es de 1013.58 milibares. Bajo estas condiciones los factores de corrección utilizados para evaluar el diámetro fue de 0.997, para el grosor de 1.004 y para el factor de expansión fue de 0.994.

La dureza de las galletas se midió por el método de punción, en Texturómetro Instron (Universal Testing Machine, modelo 4465), con las siguientes condiciones: a) velocidad del cabezal 100 mm/min, b) se utiliza un punzón de 8 mm de diámetro, c) celda de carga de 500 Kgf, donde la variable respuesta al corte se reporta en N/cm², para cada lectura. Las mediciones se realizaron por triplicado.

La evaluación del color se llevo a cabo por colorimetría de triestímulo utilizando el colorímetro Minolta CR-10 calibrado a L=+78.4, a=-1.8 y b=+25 a 10° del observador. Se registraron tres parámetros: L, a, b y con ellos se calculó el valor de E mediante la ecuación $E = (L^2 + a^2 + b^2)^{1/2}$. Los

resultados se expresaron como los valores medios de 3 galletas.

Las galletas fueron evaluadas sensorialmente utilizando una prueba de preferencia, la cual consiste en ordenar, según las opiniones de un grupo de consumidores, un par o una serie de muestras de acuerdo con un aprecio personal o una preferencia (12). Se escogió para la prueba de preferencia la galleta con 30% de salvado grueso y la galleta control, las cuales se dieron a probar a 100 estudiantes de la Universidad de Sonora y a través de un cuestionario se plantearon las instrucciones para que ellos seleccionaran la galleta de su preferencia. Las galletas se presentaron en piezas enteras de dimensiones uniformes para su evaluación.

Se planteó un diseño completamente al azar con 4 tratamientos y 3 repeticiones. Se realizó un análisis de varianza para conocer si existen diferencias significativas ($p < 0.05$), entre las galletas en estudio en relación a sus características químicas y físicas. Los análisis de varianza que resultaron significativos se les realizó la prueba de medias de Tukey ($p < 0.05$). Los análisis fueron realizados en el paquete estadístico JMP 5.0 (13).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a) Análisis Químico de las Materias Primas y Galletas.

En la Tabla 1 se muestra el análisis químico de las mezclas de harinas y de las galletas. El contenido de humedad en las mezclas de las harinas varió de 12.45% a 13.10%, siendo los valores más altos para la mezcla con salvado fino y la mezcla con salvado grueso, esto puede deberse a que los subproductos están constituidos por las capas externas del grano (pericarpio), por lo que tienden a una mayor absorción de humedad del ambiente, además del proceso de acondicionamiento que sufre el grano antes del proceso de molienda. La harina de trigo blanca presentó un contenido de humedad de 12.54%, muy cercano al valor deseado por los molineros que varía del 13% al 15% (14). Valores elevados en el contenido de cenizas, proteína y grasa en las mezclas de harinas con los distintos tipos de salvado se pudieran deber a su composición química; ya que cualquier tipo de salvado contiene más sustancia química y mineral que las otras fracciones de la molienda (14).

En lo que se refiere a los resultados del análisis proximal de las galletas, el % de humedad no presentó diferencias significativas entre ellas ($p < 0.05$), un valor promedio fue de 6.82%, mucho menor que los correspondientes a sus materias primas, lo cual pudiera deberse a la formulación de las galletas, ya que estas utilizan poca cantidad de agua, cerca del 10% y además de que pierden agua durante el proceso de horneado. Hosney (15) y Vratana y Zabik (5) reportan en sus estudios porcentajes de humedad más bajos en relación a nuestro estudio, 2.6% en galletas control y 3.24% en galletas con 30% de salvado de trigo, estas diferencias pudieran deberse a la receta y método de preparación de las galletas, así como a las temperaturas que utilizaron en el horneado de las mismas.

TABLA 1. ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS MEZCLAS DE HARINA Y GALLETAS^{1,2}

Tratamiento	Humedad (%)	Cenizas (%)	Proteína (%)	grasa (%)
Mezclas de Harina				
Harina de trigo blanca (control)	12.54	0.73	14.13	1.18
30% Salvado grueso	13.01	2.07	14.93	2.46
30% Salvado fino	13.10	1.77	14.90	2.38
30% Semitilla	12.45	1.66	14.85	2.46
Galletas				
Control	6.88 ^a	1.06 ^b	6.82 ^c	16.50 ^b
30% Salvado grueso	7.27 ^a	1.45 ^a	7.32 ^a	17.68 ^a
30% Salvado fino	6.70 ^a	1.42 ^a	7.17 ^{ab}	17.17 ^{ab}
30% Semitilla	6.45 ^a	1.41 ^a	7.06 ^{bc}	17.55 ^a

¹Los valores son promedio de tres determinaciones

²Dentro de una columna, valores con diferente letra son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

En los resultados de materia grasa y cenizas, las galletas elaboradas con los distintos tipos de salvado no presentaron diferencias significativas entre sí pero si con respecto a la galleta control. En cuanto al contenido de proteína, las galletas mostraron diferencias significativas entre ellas, el valor más alto lo presentó la galleta elaborada con salvado grueso de 7.32%, y el menor valor fue para la galleta control con 6.82%.

b) Fibra Dietaria Total, Soluble e Insoluble de las Materias Primas y Galletas.

En la Tabla 2 se muestra el contenido de fibra dietaria insoluble, soluble y total de las mezclas de harinas y de las galletas. La harina de trigo blanca (control) presentó un porcentaje menor en la fibra dietaria insoluble y total de 4.0% y 7.56%, respectivamente, que las mezclas de harina-subproducto. La mezcla de harina de trigo con 30% de salvado grueso obtuvo el valor más alto en fibra dietaria insoluble de 17.43%, y el valor más bajo de 13.4% fue para la mezcla de harina con semitilla. Los resultados en la fibra dietaria soluble, fueron muy similares entre la harina de trigo (control) y las mezclas de harina-subproducto. Gajula y col. (16) reportaron valores de fibra dietaria de una mezcla de harina de trigo enriquecida con 30% de salvado de trigo, obteniendo 14.8% para fibra dietaria insoluble, 2.4% fibra soluble y 17.2% de fibra total, estos valores son similares a los obtenidos en la presente investigación para la mezcla de harina de trigo con 30% de salvado fino. De acuerdo al análisis estadístico, las galletas presentaron

diferencias significativas ($p < 0.05$) entre cada una de ellas, así como en cada una de las fibras, insoluble, soluble y total. Los porcentajes de fibra dietaria insoluble y total aumentaron entre 3% a 10% en las galletas elaboradas con los distintos subproductos de la molienda del trigo, comparándolos con la galleta de harina de trigo blanca (control). La galleta elaborada con 30% de salvado grueso fue la que presentó el mayor porcentaje, al aumentar 3.3 veces más de fibra dietaria insoluble y 2.7 veces más en fibra dietaria total, comparándola con la galleta control. La fibra dietaria soluble aumentó significativamente ($p < 0.05$) entre 2 a 3.5% en las galletas adicionadas con salvado, comparándolas con la galleta de harina de trigo blanca (control). La galleta elaborada con 30% de semitilla presentó el mayor porcentaje, al aumentar 2.2 veces en fibra soluble, comparándola con la galleta control.

Gajula y col. (16), cuantificaron un incremento en fibra soluble de productos enriquecidos con 30% de salvado de trigo precocinados y extruidos, dicho cambio se observó después de haber sometido el producto al proceso de extrusión.

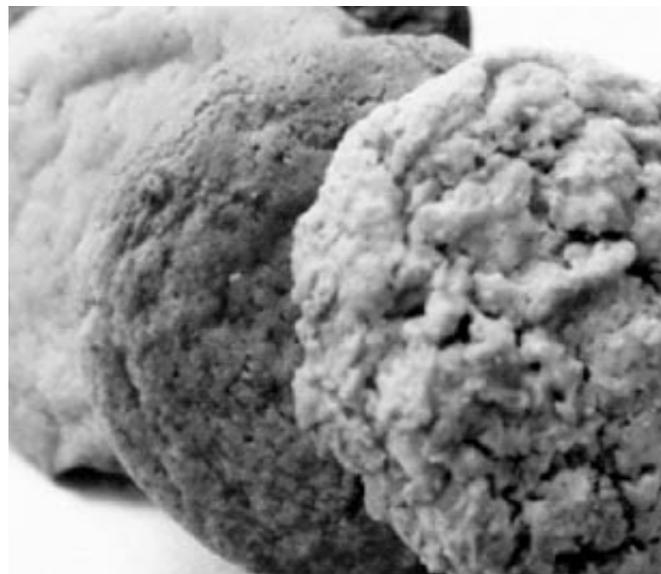
TABLA 2. CONTENIDO DE FIBRA DIETARIA INSOLUBLE, SOLUBLE Y TOTAL DE LAS MEZCLAS DE HARINA Y GALLETAS^{1,2}

Tratamiento	FDI	FDS	FDT
Mezclas de Harina			
Harina de trigo blanca (control)	4.00	3.56	7.56
30% Salvado grueso	17.43	3.91	21.35
30% Salvado fino	14.03	3.68	17.71
30% Semitilla	13.40	4.10	17.49
Galletas			
Control	3.00 ^d	2.71 ^d	5.71 ^d
30% Salvado grueso	9.82 ^a	5.55 ^b	15.37 ^a
30% Salvado fino	8.14 ^b	5.04 ^c	13.18 ^b
30% Semitilla	6.27 ^c	6.01 ^a	12.28 ^c

¹Los valores son promedio de tres determinaciones

²Dentro de una columna, valores con diferente letra son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

Se sabe que varios tipos de tratamientos térmicos, tales como el cocinado, autoclave, el horneado y tratamientos mecánicos como la molienda fina, además de los tratamientos termo mecánicos tales como la extrusión puede cambiar las características fisicoquímicas, mejorando así la funcionalidad de los ingredientes fibrosos, entre los que se encuentran el salvado de trigo. Existen pocas bases científicas para explicar lo anterior, entre



estas tenemos, que los tratamientos que experimentan la harina de trigo y el salvado ya sean mecánicos, térmicos o termo mecánicos llevan a una redistribución de una parte de la fibra dietaria insoluble a la fracción de la fibra soluble haciendo que ésta incremente (16,17). Dicho incremento puede ser debido a la fragmentación u otro tipo de descomposición de la celulosa y lignina (principales componentes de la fibra insoluble), resultado del proceso al que fue sometido el producto. También se sugiere la formación adicional de fibra dietaria soluble a partir de componentes como el almidón resistente que son parte de la fibra dietaria (17).

c) Determinación de Color de las Materias Primas y Galletas.

Los resultados de las mediciones de color de las mezclas de harinas y galletas se muestran en la Tabla 3. El parámetro L y el valor de E de las mezclas de harinas tuvieron mayor valor con respecto a las galletas elaboradas con estas mismas mezclas, en un rango de 60 a 67 para el valor de L y de 61 a 68 para el valor de E. En el parámetro a, las mezclas de harina-subproducto se encuentran en un rango de 2 a 3 y en el parámetro b se encuentran en un rango de 8 a 10, indicando con esto, valores por debajo de los que presentan las galletas. La harina de trigo blanca resultó con los valores más altos en los parámetros L y E de 67.26 y 67.65, respectivamente; lo cual indica, que la harina de trigo presentó el color más blanco comparada con las mezclas de salvado en sus tres variantes. Con respecto a las galletas de harina de trigo con salvado fino, estas presentaron los valores más bajos de 47.38% y 51.52%, respectivamente, siendo significativamente diferentes ($p < 0.05$). Las galletas elaboradas con salvado grueso y semitilla, así como la galleta de control, éstas no mostraron diferencia significativa ($p < 0.5$) en los parámetros L y E, lo cual indica que la harina de trigo blanca, aún con su



original color blanco, no influyó en gran parte en el color final de las galletas con salvado.

TABLA 3. ANÁLISIS DEL COLOR DE LAS MEZCLAS DE HARINA Y GALLETAS¹

Tratamiento	l	a	b	e
Mezclas de Harina				
Harina de trigo blanca (control)	67.26	0.83	7.13	67.65
30% Salvado grueso	66.46	2.83	10.70	67.38
30% Salvado fino	63.13	2.13	9.36	63.86
30% Semitilla	60.73	3.00	8.60	61.42
Galletas				
Control	53.64 ^a	5.16 ^a	21.28 ^{ab}	57.95 ^a
30% Salvado grueso	54.12 ^a	7.50 ^a	22.48 ^a	59.08 ^a
30% Salvado fino	47.38 ^b	6.82 ^a	19.02 ^b	51.52 ^b
30% Semitilla	51.86 ^a	7.46 ^a	20.52 ^{ab}	56.30 ^a

¹Los valores son promedio de tres determinaciones

²Dentro de una columna, valores con diferente letra son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

d) Parámetros Físicos de las Galletas.

En la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos de las medidas físicas de las galletas, las cuales incluyen diámetro, grosor y relación D/G. De acuerdo al análisis estadístico existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las galletas en los parámetros evaluados. La galleta control presentó el diámetro mayor de 7.08 cm del resto de las galletas evaluadas. Sin embargo, la galleta control y la galleta elaborada con 30% de salvado fino no presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre ellas en el diámetro

de la galleta pero si, con respecto a las galletas elaboradas con salvado grueso y semitilla. En la evaluación del grosor, el mayor valor lo presentó la galleta con salvado grueso con 1.45 cm, mientras que el menor grosor lo obtuvo la galleta control con 1.17 cm. La galleta control presentó mayor factor de expansión de 6.03 cm, debido a que este valor se obtiene mediante la relación del diámetro dividido por el grosor (D/G), mientras que el menor valor lo presentó la galleta con 30% de salvado grueso (4.62 cm).

TABLA 4. PARÁMETROS FÍSICOS DE LAS GALLETAS^{1,2}

Galletas	Diámetro (cm)	Grosor (cm)	Relación D/G
Control	7.08 ^a	1.17 ^c	6.03 ^a
30% Salvado grueso	6.67 ^c	1.45 ^a	4.62 ^c
30% Salvado fino	6.96 ^{ab}	1.29 ^b	5.39 ^b
30% Semitilla	6.93 ^b	1.26 ^b	5.51 ^b

¹Los valores son promedio de tres determinaciones

²Dentro de una columna, valores con diferente letra son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

e) Evaluación de Textura de las Galletas.

En la Tabla 5 se presentan los valores obtenidos de la evaluación de la fuerza máxima (N) aplicada en las galletas. De acuerdo al análisis estadístico no existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las galletas con salvado y la galleta control. Investigaciones realizadas por Jeltema y col. (6), Sudha y col. (18), reportan valores de textura en galletas control de 15.56N y 13.14N, respectivamente. Sudha y col. (18) reportan valores para galletas elaboradas con 30% de salvado de trigo de 19.61N, valores que están por arriba de los obtenidos en este estudio. Estas diferencias pudieran ser debidas principalmente por el tipo de trigo utilizado, tipo de salvado, así como también en el método de preparación de las galletas como el método y equipo utilizado en la medición de textura de las galletas.

TABLA 5. PARÁMETRO DE TEXTURA EN LAS GALLETAS^{1,2}

Galletas	Fuerza Máxima (N)
Control	8.59 ^a
30% Salvado grueso	9.25 ^a
30% Salvado fino	7.54 ^a
30% Semitilla	8.90 ^a

¹Los valores son promedio de tres determinaciones

²Dentro de una columna, valores con diferente letra son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

f) Evaluación Sensorial.

Se utilizó una prueba de preferencia, la cual fue aplicada a 100 consumidores. En dicha evaluación se analizaron dos galletas, la galleta control y la galleta elaborada con 30% de salvado grueso. Para el análisis, se registró el número de personas que aceptaron la muestra contra el número de rechazos. Para determinar si la aceptación es significativa se consultó la tabla de estimación de significancia para pruebas de preferencia por pares, $p = 1/2$ de dos colas. De acuerdo al número de evaluaciones efectuadas, si el número de la tabla es menor que el de la prueba, se deduce que la muestra se acepta de manera significativa por dicha población. Del total de 100 consumidores, la galleta con 30% de salvado grueso presentó el 63% de preferencia, mientras que la galleta control obtuvo un 37%. Al realizar el análisis de los datos estos demostraron que existe diferencia significativa ($P < 0.05$), entre las galletas, lo que demuestra que hubo mayor preferencia por la galleta con 30% de salvado grueso que por la galleta control.

CONCLUSIONES

Al realizar la sustitución del 30% de salvado grueso, salvado fino y semitilla, la galleta con 30 % de salvado grueso presentó 3.3 veces más de fibra insoluble y 2.7 veces más de fibra total, comparándola con la galleta control. En la medición de color, la galleta control y las galletas con 30% de salvado grueso y 30% de semitilla, no presentaron diferencia significativa en los parámetros L y E. En las mediciones físicas, el mayor Grosor (G) lo obtuvo la galleta con 30% de salvado grueso, mientras que el Diámetro (D) y el Factor de Expansión (D/G) se vieron afectados negativamente en esta misma galleta. En la evaluación sensorial, la galleta con 30% de salvado grueso presentó estadísticamente mayor preferencia que la galleta control. Por lo anterior, podemos concluir que sustituyendo 30% de harina de trigo blanca por algún subproducto de la molienda del trigo, como lo es la galleta con 30% de salvado grueso, obtendríamos productos alternativos más saludables con 3.3 % más de fibra insoluble y 2.7% más de fibra total. Estos aumentos de fibra dietaria en el desarrollo de nuevos productos, son de gran beneficio para el organismo, ya que la ingestión de alimentos con un alto contenido de fibra, pueden contribuir a prevenir y controlar enfermedades tan importantes como es el caso de diabetes, obesidad, arteriosclerosis y enfermedades intestinales.

BIBLIOGRAFÍA

1) Serna-Saldívar, R. O.: Química, Almacenamiento e Industrialización de los Cereales. GT Editor, S.A., México, D.F. 1996.

- 2) Rico, H. M. A.: Los Cereales, Unidad de Nutrición, Hospital Universitario La Paz, Madrid, 2000.
- 3) Hernández, R. M.: Tratado de Nutrición, Ed. Díaz de Santos, Madrid, España, 1999.
- 4) Meister, K.: Dietary Fiber, a Special Report by the American Council on Science and Health, December, 1996.
- 5) Vratana, D.L. and Zabik, M. E.: "Dietary fiber sources for baked products: bran in sugar-snap cookies", J. Food Sci., Vol. 43, pp.1590-1594, 1978.
- 6) Jeltama, M. A., Zabik, M. E. and Thiel, L. J.: "Prediction of cookie quality from dietary fiber components", Cereal Chem., Vol. 60, pp. 227-230, 1983.
- 7) Stanyon, P. and Costello, C.: "Effects of wheat bran and polydextrose on the sensory characteristics of biscuits", Cereal Chem., Vol. 67, pp. 545-547, 1990.
- 8) Singh Gujral, H., Sundeep Mehta, Imaan Singh Samra and Pankaj Goyal: "Effect of wheat bran, coarse wheat flour, and rice flour on the instrumental texture of cookies", International Journal of Food Properties, Vol. 6, No. 2, pp. 329-340, 2003.
- 9) Bilgili, N., Senolbanoglu and EmineNurHerken: "Effect of dietary fibre addition on the selected nutritional properties of cookies", Journal of Food Engineering, Vol. 78, pp. 86-89, 2007.
- 10) A.A.C.C. American Association of Cereal Chemists. Official Methods of Analysis of the A.A.C.C. 9th ed. St. Paul, MN, EUA, 2001.
- 11) A.O.A.C. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis of the A.O.A.C. 16th ed., Vol. I, Sec. 12.1.07, Method 960.52, 1997.
- 12) Pedrero, F. D. and Pangborn, M.R.: Evaluación Sensorial de los Alimentos, Ed. Alhambra Mexicana, México, D. F., 1989.
- 13) S.A.S. Institute Inc.: JMP: A Business Unit of SAS Versión 5.0.1 by Statistical Analysis System, Institute Inc. Cary, NC, USA, 2001.
- 14) Manley, D.: Tecnología de la Industria Galletera: Galletas, Crakers y Otros Horneados, Ed. Acribia, Zaragoza, España, 1983.
- 15) Hoseney, R. C.: Principles of Cereal Science and Technology, 2 ed., American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul Minnesota, USA, 1994.
- 16) Gajula, H., Alavi, S., Adhikari, K. and Herald, T.: "Precooked bran-enriched wheat flour using extrusion: dietary fiber profile and sensory characteristics", J. Food Science, Vol. 73, pp. s173-s179, 2008.
- 17) Vasanthan, T., Gaosong, J., Yeung, J. and Li, J.: "Dietary fiber profile of barley flour as affected by extrusion cooking", Food Chem., Vol. 77, pp. 35-40, 2001.
- 18) Sudha, M.L., Vetrmani, R. and Leelavathi, K.: "Influence of fiber from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality", Food Chem., pp. 1365- 1370, 2000.

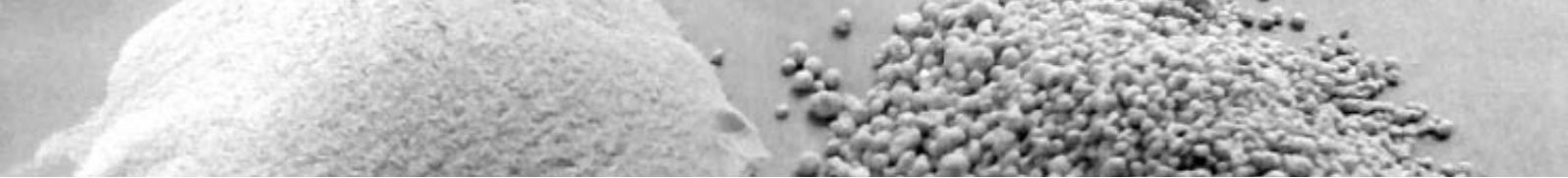


COMPOSTA VÍTREO-MINERAL PARA FERTILIZACIÓN DE LA CUCURBITA PEPO PEPO.

RAFAEL JORDÁN HERNÁNDEZ¹, EDILIA CABRERA GALDO²,
YAMILÉ DE LA NUEZ PANTOJA³.

La composta vitro-mineral es una mezcla de zeolita modificada térmicamente con urea y un vidrio que contiene todos los nutrientes que requiere la Cucurbita pepo pepo. Esta composta es una variante cuasi ecológica, regeneradora del suelo y ahorradora de agua a la vez que constituye un fertilizante de liberación prolongada. Esta composta posibilita la eliminación del empleo de soluciones nutritivas que usualmente se emplean en los invernaderos, facilitando el manejo de estos lugares y manteniendo con la zeolita una humedad constante en el suelo.

DR. RAFAEL JORDÁN HERNÁNDEZ¹
Director de Proyectos de JAV Minerales y
Nutrientes S.A de C.V. Centro de Estudios
Superiores del Estado de Sonora.
MCI. EDILIA CABRERA GALDO² Master en
Ciencias de Ingeniería, Facultad de Inge-
nería Química, Instituto Superior Politécnico
"José A. Echeverría", La Habana, Cuba.
ING. YAMILÉ DE LA NUEZ PANTOJA³
Ingeniera Química, Instituto de Ciencia y
Tecnología de Materiales, Universidad de
La Habana, La Habana, Cuba.



INTRODUCCIÓN

El nombre de Cucurbita es un genérico del que se conocen actualmente ocho grupos cultivables comestibles y que en general son frutos esféricos, ovales y redondeados o planos en los extremos. En este caso el artículo se refiere al conocido como Calabacín que es muy apreciado en todo México (1).

El cultivo de esta especie se hace a cielo abierto y en algunas regiones en invernaderos, cultivándose en milpas y huertos junto a cultivos de frijol y maíz, así como en sistemas de manejo más intensivo asociada a otras hortalizas y en monocultivos de dimensiones variables. Este cultivo requiere de temperaturas constantes durante el crecimiento. La luminosidad es importante, especialmente durante los períodos de crecimiento y floración. La deficiencia de luz repercutirá directamente en la disminución del número de frutos en la cosecha (1,2).

Aunque en general es un cultivo poco exigente en relación a la calidad del suelo, sin embargo se han reportado mejores cultivos en tierras con texturas francas, profundos y bien drenados. Esto no está reñido con el hecho de que esta planta requiere de importantes cantidades de materias orgánicas en su proceso de fertilización y pH entre 5.6 y 6.8. La planta asimismo es débilmente tolerante a la salinidad del suelo y de las aguas de riego (1).

ANTECEDENTES DEL TRABAJO

Durante la campaña agrícola del 2008-2009 se realiza una prueba de campo de una composta similar para el maíz de la variedad DEKALB 20/20 en Guasave, Sinaloa. La prueba tuvo su origen en varias razones todas de peso:

1. Dificultades de los campesinos de lograr fertilizaciones duraderas en los campos.
2. Alto valor de los fertilizantes químicos y excesivo uso de amoníaco.
3. Contaminación progresiva de las aguas subterráneas.
4. Progresiva salinización de los suelos cultivables.

El empleo de la Composta vítreo-mineral fue precedido de un estudio de los suelos y al final de la campaña arrojó incrementos de casi 25%.

BASAMENTO TEÓRICO Y DESARROLLO DEL TRABAJO

La composta está conformada principalmente por dos materiales de características diferentes: zeolita y vidrio.

La zeolita es un genérico de aluminosilicatos con estructura de armazón formada por tetraedros de SiO_4^{4-} y AlO_4^{5-} , que posee una serie de canales llenos de agua con cationes intercambiables de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ principalmente (4,5), en este caso se emplea una zeolita

con la siguiente composición química y con contenidos de fase clinoptilolita superior al 85%

Tabla 1. Composición química de la zeolita empleada (% en masa)

Óxido	% másico
SiO_2	76.56
Al_2O_3	12.83
Fe_2O_3	1.38
CaO	1.59
MgO	0.53
K_2O	5.20
Na_2O	1.91
Σ	100

Esta singular peculiaridad de poseer este tipo de estructura es aprovechada en muchos casos para intercambiar cationes de interés en la agricultura y otras esferas de la industria y la vida cotidiana (4), sin embargo en este caso se trata de aplicar diferentes principios básicos de la química del estado sólido (11), poniendo en contacto dos sólidos bajo condiciones de activación térmica de esta zeolita (5). La urea se pone en contacto con la zeolita térmicamente modificada en una proporción que oscila entre 70-80 para la urea y entre 20-30 para la zeolita.

En el caso del vidrio, se trata del tipo de vidrios solubles, es decir un vidrio de fósforo (6,7) cuya composición primaria se encuentra en el sistema ternario de equilibrio de fases $\text{K}_2\text{O-CaO-P}_2\text{O}_5$. Del estudio exhaustivo de este sistema y del análisis de suelos se obtiene la fórmula final del vidrio en cuestión, que responde al siguiente intervalo de óxidos:

Tabla 2. Composición química del vidrio soluble en óxidos (% másico).

Óxidos	% másicos
P_2O_5	29.41
K_2O	70.59
CaO	8.23×10^{-5}
MgO	5.55×10^{-5}
SO_3	0.5
Fe_2O_3	4.70×10^{-6}
MnO_2	5.24×10^{-7}
CuO	4.3×10^{-8}
ZnO	9.6×10^{-8}
B_2O_3	1×10^{-6}
Mo_2O_3	4×10^{-9}
Co_2O_3	1×10^{-9}

Esta mezcla, por las características de las materias primas forma una especie de pasta de color verdoso (ver fig 1) de elevada viscosidad y que puede fácilmente alimentarse a los crisoles.

Una de las características de este tipo de mezcla vitrificables es que se puede obtener a temperaturas relativamente bajas para tratarse de un vidrio, es decir entre 700-800°C y con una estancia en el horno entre 30 min a una hora. Sin embargo una característica importante es que debe verterse el vidrio obtenido en moldes de acero pulidos y refrigerados para formar las briquetas que deben molerse posteriormente (8,10).



Figura 1. Preparación de la mezcla vitrificable y horno de fundición en funcionamiento.

REFLEXIONES Y CONCLUSIONES DEL TRABAJO

Conociendo las bondades del producto elaborado para el maíz, se pueden extraer valiosas conclusiones y reflexiones sobre este producto:

1. Puede ser elaborado para cualquiera de las variedades de las Cucurbitáceas u otro cultivo, tanto a cielo abierto, como en vivero.
2. La solubilidad del vidrio puede ser condicionada a las necesidades de la tierra, condiciones de irrigación y época de mayores demandas de la planta.
3. La composta minimiza la lixiviación de los nutrientes al manto freático, pues al encontrarse juntos el vidrio y la zeolita ocurre un fenómeno muy peculiar; según la zeolita entrega el nitrógeno en presencia del agua a la tierra está realizando un intercambio útil con el vidrio fertilizado ayudando a la regulación de dichos nutrientes. Esta conclusión fue debidamente corroborada en el experimento con maíz.
4. La zeolita además ayuda notablemente a la desalinización de los suelos por su notable preferencia a captar los cationes Na^+ presentes en los suelos.



5. Esta composta posibilita la eliminación del empleo de soluciones nutritivas que usualmente se emplean en los invernaderos, facilitando el manejo de estos lugares y manteniendo con la zeolita una humedad constante en el suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Lira R.S.; Estudios taxonómicos y Ecogeográficos de las Cucurbitáceas Latinoamericanas de Importancia Económica. Systematic and Ecogeographic Studies on Crop Genepools. 9. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italia (1995)
- 2) Manual de fertilizantes Serie Desarrollo de Transferencia de Tecnología N° 13. Editorial Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial. Viena 1985.
- 3) González H, M., Actualización bibliográfica internacional sobre la producción y aplicación de los fertilizantes de liberación lenta, Laboratorio de Química Inorgánica. CIQ. 2002.
- 4) N'Gokoli-Kekele, Springuel-Huet M.A., Bonardet J.L., Fraissard J., Proceedings 13th International Zeolite Conference, Elsevier (2001)
- 5) Sherman J.D., Chao C.C., 7th Int. Zeolite Conference, Kodasha (1986), p-1025
- 6) Zachariasen, W. H. The atomic arrangement in glass. J. Amer. Chem. Soc. 54 (1932) 10, 3481-3451
- 7) Mogus- Milankovic A., A. Gajovic, A. Santic and D.E. Day : "Structure of Sodium Phosphate Glasses Containing Al_2O_3 and/or Fe_2O_3 , Part I," J. Non. Cryst. Solids 289 204-13 (2001)
- 8) Mitchell G. R., B. Rosi-Schwartz D. J. Ward. Local structure of polymer glasses and melts, Phil Trans R Soc London A 348 97 (1994)
- 9) Smart L, Moore E: Química del Estado Sólido. Addison-Wesley Iberoamericana, pp 75-100; 101-151 (1995)
- 10) La Course W. C and A.N. Cormack: «Glasses with Transitional Structures,» pp. 273-279 in Ceramic Transactions, Vol. 82, Advances in Fusion and Processing of Glass II. Edited by A.G. Clare and L.E. Jones. American Ceramic Society, Westerville, OH, (1998)

DESCUBRIMIENTO DE LA SUPERCONDUCTIVIDAD

EDUARDO VERDÍN LÓPEZ

Decimos que un metal pasa a ser un superconductor cuando al ser sometido a temperaturas extremadamente bajas adquiere unas propiedades exclusivas, completamente diferentes a la de los metales normales. Si bien, para hacerlas notar es necesario aplicar un campo eléctrico o magnético y en esas condiciones, y la baja temperatura, su resistencia eléctrica se hace cero o alcanza un diamagnetismo perfecto. El descubrimiento de esta propiedad se hizo en abril de 1911, y como un homenaje centenario, narramos la historia de su descubrimiento.

DR. EDUARDO VERDÍN LÓPEZ
Correo: everdin@correo.fisica.uson.mx
Departamento de Física de la Universidad de Sonora

¿QUÉ ES LA SUPERCONDUCTIVIDAD?

La superconductividad es el estado de la materia que se caracteriza por ofrecer una resistencia cero al paso de una corriente eléctrica. Ésta es una de las propiedades más misteriosa y atractiva de los metales, sus posibilidades potenciales de desarrollo parecen de ciencia ficción y algunas hasta rompen los cánones establecidos en la física tradicional, ver figura 1.

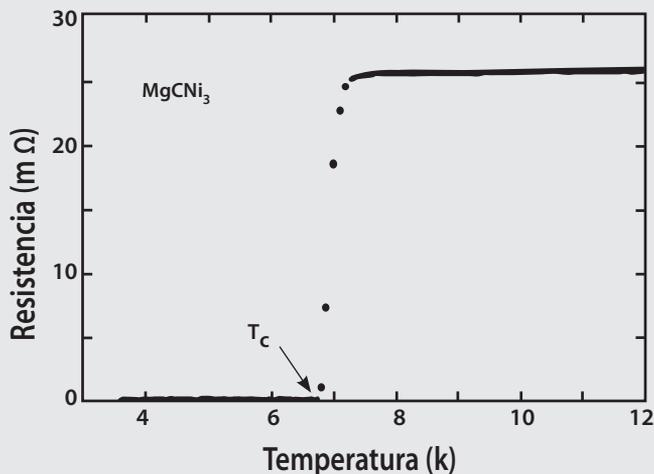


Figura 1. Se presenta una gráfica de R vs T, mostrando la caída a resistencia cero en un superconductor moderno (foto cortesía del Dr. Francisco Morales)

Dar la explicación teórica, es decir construir un modelo matemático, fue uno de los problemas de la física que más tiempo tomó en tener una explicación coherente aunque limitada; transcurrieron alrededor de 46 años desde su descubrimiento hasta la aparición de la teoría microscópica, conocida como BCS (por sus autores Bardeen, Cooper y Schaeffer) después de ésta no existen avances sustanciales, los resultados se dan a cuenta gotas y el campo de la superconductividad pierde mucho interés.

Tuvieron que pasar otros 40 años para que se lograra el descubrimiento de nuevos materiales superconductores (a -190 °C) y produjera el boom más grande ocurrido en la investigación en la física, todo los laboratorios del mundo querían producir el superconductor a temperatura ambiente.

Sin embargo, la superconductividad tiene una gran dificultad, sólo se da a temperaturas muy por debajo de la ambiente (-120 °C).

Es por eso que el descubrimiento de la superconductividad no se puede desligar de la historia de la investigación y el desarrollo para alcanzar las temperaturas cercanas al cero kelvin (-273.27 °C), lo que se logra licuando los gases, razón por la cual al referirnos al descubrimiento de la superconductividad por Heike Kamerlingh Onnes en abril de 1911, tenemos que hablar de la historia de la licuefacción de los gases.

Antes de entrar en materia, hay que dejar claro que al referirse a la superconductividad, sólo como la transición de los metales a una resistencia eléctrica cero, dejaría el fenómeno incompleto, ya que transcurridos otros 22 años se descubrió la otra propiedad que describe totalmente a un superconductor. Anunciada en 1933 por Walter Meissner y Roberto Ochsenfeld, esta segunda propiedad es tanto o más sorprendente que la ya enunciada: el material al hacerse superconductor expulsa el campo magnético de su interior, algo así como un “espejo magnético”, de tal forma que cuando un imán se le acerca crea un imán espejo que lo rechaza y eso le permite a los imanes poder levitar en forma estable al enfrentarlo con un superconductor (figura 2).

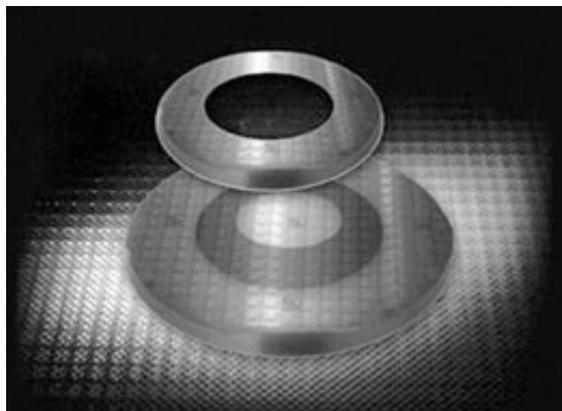


Figura 2. La foto muestra un objeto magnético levitando por la acción de un superconductor

EN BUSCA DE LA TEMPERATURA DEL CERO ABSOLUTO [1]

El cero absoluto de temperatura es un límite universal y es el cero de la temperatura absoluta, escalado por una unidad básica, el kelvin.

La primera licuefacción de un gas se sitúa por 1823 y fue realizado por Michael Faraday (figura 3), en ese tiempo, a sus 20 años, era ayudante de un famoso químico Sir Humphrey Davy, quien había logrado sintetizar el cloro hidratado (Cl-H₂O). Como continuación de sus trabajos, Davy le sugiere a Faraday que obtenga cristales de cloro hidratado, quien para realizarlo coloca la sustancia en un tubo de vidrio cerrado por los dos lados y calienta uno de los extremos, con el aumento de la temperatura nota que se forma un líquido aceitoso sobre todo al enfriarlo. Para mejorar la técnica, al tubo de vidrio le da una forma de “U” colocando en uno de los extremos



Figura 3. Michael Faraday

el cloro hidratado, y el otro extremo lo sumerge en agua con hielo, y así al calentar obtiene por separado el líquido aceitoso, y con esto logra lo que nadie había hecho, es decir licuar el cloro. Ahora sabemos que el cloro se condensa a -31°C , y lo que realmente sucede es que al vaporizar el compuesto de cloro la presión interior del tubo aumenta provocando el cambio del punto de ebullición del cloro. Lo que el experimento de Faraday realmente muestra es que las sustancias que normalmente se encuentran en forma de gas se pueden licuar sometiéndolas a presiones altas. Para mostrar que el método puede servir con otras sustancias, licuó amoníaco (NH_3), sulfuro de hidrógeno (H_2S), dióxido de nitrógeno (NO_2); al dióxido de carbono lo solidifica, ya que este material se sublima (es decir pasa de fase gas a sólida). Siguiendo la misma técnica intenta licuar los gases como oxígeno, nitrógeno e hidrógeno pero esto no le fue posible, por lo que les llamo gases permanentes.

Un tiempo después, en 1860 el físico Irlandés Thomas Andrews estudia la licuefacción de los gases con gran detalle hasta formular las condiciones con las cuales los gases pueden ser licuados, lo que concluye es que a las presiones manejadas por la técnica de Faraday no es posible licuar los gases permanentes a temperatura ambiente.

LAS PRIMERAS MÁQUINAS

Otro avance se da en 1870 a cargo del francés Louis Paul Cailletet, quien utilizó el laboratorio de la fundidora de hierro de su familia para aplicar las recetas de Faraday y las teorías del holandés Johannes van der Walls (figura 4). Al intentar licuar el acetileno (C_2H_2) utilizando presiones de hasta 60 atmósferas, su dispositivo se fractura y tiene una fuga del gas presurizado y nota que cuando escapa gas se forma una tenue neblina que desaparece rápidamente, en principio pensaba que se trataba de vapor de agua y que la muestra de acetileno no era



Figura 4. L.P.Cailletet y su aparato licuefactor

del todo pura, pero posteriores repeticiones, siendo más cuidadoso en las muestras, llegó a la conclusión que lo que se formaba eran gotas de acetileno. De esto, dedujo que no era del todo necesario tener altas presiones para licuar el gas sino que también se puede lograr haciendo súbitas expansiones del gas contenido a altas presiones. Cailletet tiene el suficiente sentido común para darse cuenta que esto es un gran avance, y rápidamente aplica el método en otros gases; el utiliza oxígeno, que pudo purificar en una cantidad suficiente como para realizar una experiencia: el gas lo somete a una presión de 300 atmósferas y lo expande en un contenedor de vidrio enfriado a -29°C con

vapores de dióxido de azufre, con esto logra una niebla de oxígeno líquido. Cuando reporta sus resultados a la academia de Ciencias de París en diciembre de 1877, y para su sorpresa encuentra que al mismo tiempo se ha recibido un reporte de un químico suizo Raoul Pierre Pictet, que alcanza los mismos resultados pero utilizando un método de "cascada" que consiste en usar la temperatura de un gas previamente licuado, para enfriar otro gas que a su vez sirve como precursor para enfriar otro y así sucesivamente, de tal forma que una sucesión de gases difíciles de licuar pudieron ser producidos.

Finalmente con estos dos métodos de licuefacción de gases, en principio, parecería que se pudiera lograr licuar todos los gases conocidos, ya que Cailletet logra licuar el nitrógeno y el monóxido de carbón.

CENTROS DE INVESTIGACIÓN, LÍDERES DE LAS BAJAS TEMPERATURAS

Rápidamente algunas copias del aparato de Cailletet se vendieron a diferentes laboratorios del mundo, en particular uno fue adquirido por un científico polaco Zygmunt Florenty Wróblewski encargado del laboratorio de la facultad de Física de la Universidad Jagiellonian en Krakow (la universidad de Cracovia en Polonia, es una de las Universidades



Figura 5. Universidad Jagiellonian en Cracovia, Polonia

más antiguas del mundo, su fundación data de 1364 (figura 5), y aún hoy es una de las más prestigiosas de Europa), con lo que Wróblewski inicia una relación de trabajo con un colega suyo de la facultad de Química, Karol Olsewsky, quienes

hacen modificaciones al equipo de Cailletet con lo cual ellos logran obtener gotas de oxígeno líquido y en marzo de 1883 producen el suficiente líquido como para observarlo en una probeta de vidrio; dos semanas después licúan nitrógeno, logrando que su laboratorio se convirtiera en líder mundial de las bajas temperaturas. Desafortunadamente hubo desavenencias entre Wróblewsky y Olsewsky que causaron una ruptura, lo que hizo que se estancara el avance sin que logran licuar el hidrógeno, siguiente reto en las bajas temperaturas.

Una ampliación al método para obtener gases en expansión, fue permitir que ellos salieran de una región de alta presión a una de baja presión a través de un capilar, esto enfría el gas y produce en parte algo de líquido, el gas así enfriado se mete una vez más al circuito de alta presión (los líquidos no se comprimen) para mandarlo a

la zona de baja presión a través del capilar, de esta forma un proceso de flujo estacionario puede licuar el gas, un equipo bajo este principio fue perfeccionado por Carl Paul Gottfried von Linde quien a principio de 1870 estableció un laboratorio de ingeniería en Munich, de donde salió el primer licuefactor de gas comercial marca Linde, empresa mundial que aún persiste.

Ya para estas fechas los más importantes gases se habían licuado, excepto uno, el hidrógeno, que se negaba obstinadamente a licuarse, si bien en Cracovia se habían hecho unos intentos, la neblina observada se creía era más de impurezas que de hidrógeno.



UN GAS LLAMADO “SOL”

Antes de seguir nuestra historia, es necesario hablar del gas que se licúa a la temperatura más baja y el principal protagonista del descubrimiento de la superconductividad, el helio.

En 1868 en un eclipse solar visto desde la India el astrónomo francés Pierre Janssen observó una nueva línea espectral amarilla de aproximadamente 587. 49 nanómetros; inicialmente pensó que se debía al sodio, pero en el transcurso de ese año, esa misma línea fue observada por el astrónomo inglés Norman Lockyear quien concluye que se trata de un nuevo elemento, desconocido en la tierra pero abundante en el sol. Lockyear junto con el químico Edward Frankland, nombran al elemento como helio, de la palabra griega helios que significa sol. En 1895 el químico escocés Williams Ramsey aísla el helio en su laboratorio del University College London al tratar al mineral llamado cleveite (U₂O) con ácido, también descubrió y clasificó los otros gases nobles argón, neón, kriptón, y xenón.

LOS CONTENEDORES TÉRMICOS

El turno es de los ingleses encabezados por el escocés Sir James Dewar, éste hizo sus estudios en la Universidad de Edimburgo y después de una estancia en Cambridge, en 1877 llega a ser Fullerman Professor of Chemistry en el Royal Institution en Londres, y en 1878 adquiere un aparato Caillete de Paris y a los pocos meses obtiene gotas de oxígeno líquido; su perseverancia y dedicación hace que pocos años después supere a los científicos polacos, al solidificar el oxígeno. En sus demostraciones le gustaba poder hacer visible lo que hacía, en particular sus gases

licuados, cosa que en los recipientes de vidrio no era posible ya que las paredes se congelaban impidiendo la observación, eso hizo posible su invención de los recipientes “Dewar” o Termos (figura 6), consistente de recipientes de vidrio de doble pared con vacío entre ellas, lo que impedía la entrada



Figura 6. Recipientes para almacenar líquidos criogénicos

de calor a los líquidos, incluso fue más allá y el interior lo recubrió con una película reflejante, que los hizo aun más eficientes, de tal forma que podía mantener líquidos el oxígeno y el hidrógeno a su temperatura de ebullición por días. Una invención notable que permitía tener las bajas temperaturas al alcance de cualquier laboratorio, es decir facilitaba su almacenaje y traslado.

Pero Dewar estaba empeñado en lograr licuar el hidrógeno, que por ser el elemento más ligero se pensaba sería, entre los líquidos, el de más baja temperatura, y cualquier otro gas al contacto se licuaría e incluso se solidificaría. Continúa en los 90's mejorando las técnicas de licuefacción hasta que el 10 de mayo de 1898, obtuvo 20 centímetros cúbicos de hidrógeno líquido el cual mostró a sus colegas dos días después. Al medir la temperatura del líquido encontró que era de 20 K (-252.87 °C) por encima del cero absoluto, como consecuencia y colateralmente él pensaba que de paso también había licuado el helio, pero poco después se dio cuenta que se trataba de una impureza. Sin tomarse descanso alguno al año siguiente logra solidificar el hidrógeno un poco debajo de 14 K (-259 °C), y adicional a esto, mide la resistencia eléctrica y concluye que no conduce la electricidad.

Pero pese a sus esfuerzos, la licuefacción del helio se le negaba, seguía siendo un gas aun a la temperatura más baja obtenida, que era la que había logrado. Aun cuando Dewar tenía la gran ventaja de contar dentro de su entorno universitario con William Ramsey, que como ya vimos fue el primero en aislar el helio y en principio el abastecedor de este gas, no logra licuar el helio. La causa se debió a que el suministro de helio se vio mermado, ya que tuvo un gran disgusto con Ramsey lo que los aleja en su trabajo científico. Esto hizo que el liderato de las bajas temperaturas, en los inicios del siglo veinte, ya no fuera del dominio de Londres ni de Cracovia y se trasladara a Leiden.

El laboratorio de bajas temperatura de la Universidad de Leiden alcanza su liderazgo debido al esfuerzo de Heike Kamerlingh Onnes, quien nace en 1853 en Groningen, Holanda, en cuya Universidad alcanza su doctorado en 1879, durante ese tiempo conoce al que sería su guía en el camino a las bajas temperaturas (su tesis doctoral versaba sobre “La influencia de la rotación de la tierra en el movimiento de un péndulo”), Johannes Diderik van der

Walls, cuya influencia sobre Onnes fue enorme; en ese año van der Walls había publicado su famosa ecuación de estado y en 1880 publica su Ley de los estados correspondientes. Como experimentalista, Onnes pensaba que para probar esas predicciones implícitas en los trabajos de van der Walls, era necesario medir, tan exacto como fuera posible, el comportamiento de las sustancias reales a muy bajas temperaturas. En 1881 Onnes logra un lugar en Leiden, e inicia la construcción de su laboratorio de bajas temperaturas, que se haría mundialmente famoso. Su meta central fue proporcionar, en condiciones extremas, de muy baja temperatura, medidas exactas y creíbles que pudieran probar las últimas teorías, por lo que el lema de su laboratorio fue "Door meten tot weten" (con el uso de la medición, el conocimiento). El éxito grande de su laboratorio se debe, sin duda, que Onnes pensaba que para lograr sus metas era necesario contar con técnicos de primer nivel, sopladores de vidrio expertos y hábiles artesanos, para que pudieran construir y mantener los equipos delicados y a su vez prestar apoyo a los experimentos técnicamente exigentes (figura 8). Onnes llevó a la ciencia experimental a un nivel muy grande de profesionalismo, como era necesario para la producción de gases y líquidos, esta actitud faltó en los laboratorios de sus competidores británicos.



Figura 7. Laboratorio de bajas Temperaturas en Leiden, Holanda (1908)

Con tan excelente equipo de colaboradores, Onnes para 1890, perfecciona su proceso de cascada y para 1906 logra licuar el hidrógeno, 8 años después de Dewar, con la diferencia de que su aparato producía cantidades mayores ya que éste era más eficiente; realmente sus planes eran a largo plazo y esto empezó a rendir frutos cuando intentó licuar el helio. Una ventaja adicional fue la de poder contar con grandes cantidades de tierra de monacita que era traída de Carolina del Norte (USA), con el apoyo de su hermano, que era director de la oficina de inteligencia comercial en Amsterdam. La cantidad de gas helio que puede ser extraído de la monacita es del orden de un centímetro cúbico por gramo, de tal forma que después de tres años de trabajo disponía de 300 litros de helio en sus depósitos, además de tener como 1,000 litros de nitrógeno líquido (77 K), lo que le ayudaría bastante al trabajar sus aparatos en cascada, con lo que estaba listo para iniciar la licuefacción del helio.

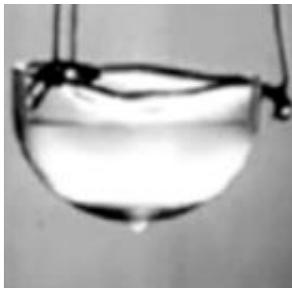


Figura 8. Recipiente conteniendo helio líquido

El 10 de junio de 1908, inicia el experimento, el helio licuado empieza a fluir y la temperatura cayó. Sin embargo después de 14 horas de trabajo no había señal alguna del helio líquido y la temperatura, que no dejaba de caer, se estaciona a 4.2 K lo que sugería que el líquido ya estaba formado pero no se podía ver (figura 8). Onnes iluminó el vaso por abajo y súbitamente se pudo percibir la interfase líquido gas. ¡El helio líquido había sido hecho en el laboratorio!. Una cantidad de aproximadamente 60 cm³ suficiente como para llenar una taza de té, fue el primer resultado. Onnes comenta: un problema fundamental ha sido resuelto, todos los gases pueden ser licuados.

EL MERCURIO Y LA RESISTENCIA CERO

Kamerlingh Onnes, no se conformó con sólo alcanzar la temperatura del helio líquido, sino que logró nuevas marcas en las bajas temperaturas, al reducir la presión del contenedor donde se encontraba el helio y lograr bajar el termómetro a 1 K.

Era momento de pasar a probar las teorías a bajas temperaturas. Se pensaba que cuando la temperatura llegaba a cero la vibración de los iones se reducía a cero, y por lo tanto las interacciones con los electrones libres disminuían y se podría pensar que se comportaría como un gas de electrones (modelo de Drude) y, por lo tanto, la resistencia eléctrica sería cero; otros puntos de vista predecían el congelamiento de los electrones y se esperaba que a bajas temperaturas la resistencia aumentaría (Kelvin) o bien llegados a un cierto valor de temperatura cerca del cero, la resistencia se volvería constante (Mathiessen), ver figura 9; Onnes por su parte se identificaba con el de Kelvin, si bien Dewar pensaba que la resistencia sería cero.

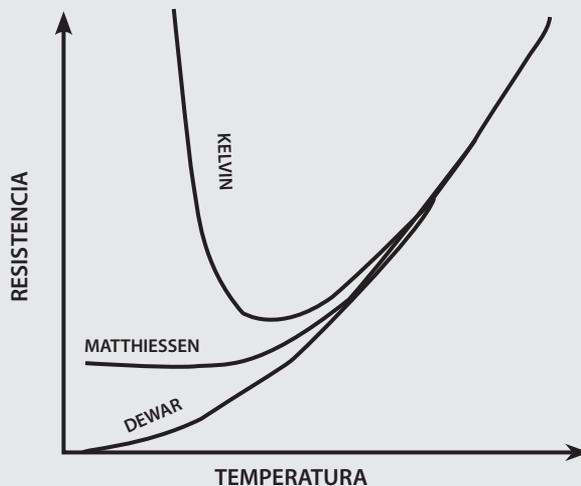


Figura 9. Predicciones acerca del comportamiento de los metales a bajas temperaturas (1900)

Onnes inicia, por lógica con los metales nobles, platino y oro pero los resultados coincidían con lo predicho por Mathiessen, así que se pensó que era debido a impurezas

de los materiales, razón por la que se decidieron por el mercurio y su facilidad de purificación [2].

Hacer el experimento de resistencia contra temperatura de ninguna manera era trivial, se requería un depósito que almacenara y mantuviera líquido el helio, y que permitiera la instrumentación de medición. Por otra parte instrumentar el mercurio no era cosa fácil debido a su carácter líquido a temperatura ambiente (congela a $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$). Los técnicos que formaban el equipo de Onnes, resolvieron el problema y para el 8 de abril de 1911, lo declararon listo para hacer pruebas, habían instalado resistores de oro y de mercurio en la zona de enfriamiento (figura 10).

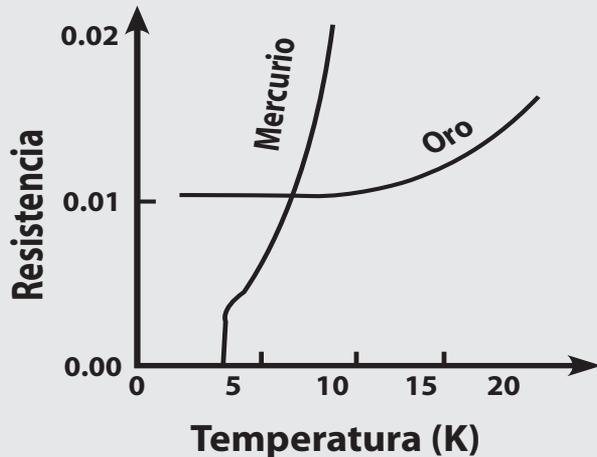


Figura 10. Comportamiento de la resistencia eléctrica del oro y el mercurio a bajas temperaturas.

TESTIMONIAL DE LA JORNADA SUPERCONDUCTORA

De acuerdo a la bitácora número 56 del laboratorio:

07.00 am, se inician los preparativos.

11.20 am, Kamerlingh Onnes llega al laboratorio y se inicia la transferencia del helio líquido, la resistencia del Au y del Hg baja conforme la temperatura baja.

11.50 am, la temperatura es de 140 K.

12:10, el termómetro de gas marca 5 K.

12:40, se suspende la transferencia de helio, se piensa que hay suficiente como para iniciar la siguiente etapa, el termómetro registra 4.2 K.

De 12:40 en adelante, se mide la resistencia del oro y del mercurio, se inicia el proceso de hacer vacío en la cámara del helio y se establece una temperatura de 3 K.

16:00, se mide nuevamente la resistencia del oro y del mercurio, la medición del primero permanece sin cambios y la del último es "prácticamente cero" (figura 11).

16:01, SE INICIA LA ERA DE LA SUPERCONDUCTIVIDAD.

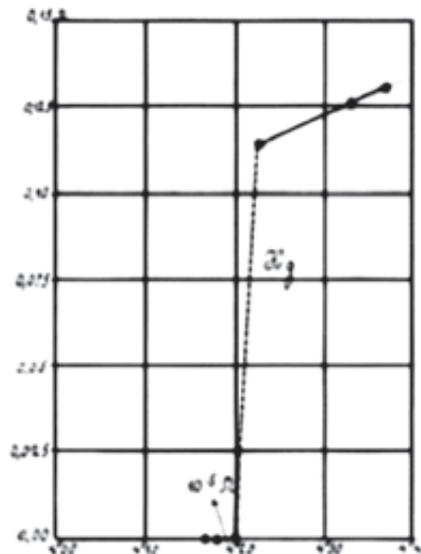


Figura 11. En ésta se muestra la curva original del descubrimiento de la superconductividad.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Stephen Blundell, Superconductivity (a Very Short Introduction), editorial Oxford.
- 2) Dirk van Delft, Peter Kes, The Discovery of Superconductivity, Physics Today, september 2010





EL EFECTO MEISSNER Y LA LEVITACIÓN MAGNÉTICA

RAÚL PÉREZ ENRÍQUEZ

Este año 2011 se cumplen los primeros cien años del descubrimiento de la superconductividad. Realizar la caracterización de este estado de la materia llevó a los investigadores varios años; de hecho se contó con una teoría microscópica hasta bien entrada la década de los 50's: la teoría BCS. En este trabajo se aborda específicamente una de las tres características principales de este estado: el efecto Meissner o diamagnetismo perfecto. Efecto que junto a la resistencia cero y la formación de una brecha en la densidad de estados electrónicos del material, se acepta como condición indispensable para tener un superconductor.

DR. RAÚL PÉREZ ENRÍQUEZ
Departamento de Física, Universidad de Sonora,
Correo: rpereze@fisica.uson.mx

INTRODUCCIÓN

En abril de 1911, se inició la historia de la superconductividad en el laboratorio de baja temperatura de Kamerlingh Onnes, ubicado en la ciudad de Leiden, en los Países Bajos; mientras se desarrollaban las técnicas criogénicas que permitirían la licuefacción del helio, Onnes experimentó con muestras de materiales. Así, sometió elementos puros a temperaturas de algunos kelvin por encima del cero absoluto (correspondiente a menos doscientos setenta y tres grados celsius). Lo que observó lo dejó impresionado y desconcertado: la resistencia eléctrica del material enfriado caía a cero. Lo que en un principio fue considerado como una falla en los instrumentos, fue confirmada después en varias ocasiones, lo que le permitió llamar a este fenómeno superconductividad.

Kamerlingh Onnes se había dispuesto a estudiar las propiedades de transporte eléctrico, corriente y resistencia, de diversos metales a temperaturas del orden de los cuatro kelvin. De acuerdo con la teoría prevaleciente en aquellos momentos, al bajar la temperatura del material, la resistencia al paso de la corriente debería aumentar constantemente hasta no poder circular más por el material: a esas temperaturas, la energía cinética de los electrones disminuye y el movimiento cesa; si el material es lo suficientemente puro, debería observarse ausencia de corriente, se suponía. Lo que ocurrió fue todo lo contrario. Conforme la temperatura del mercurio (material de mayor pureza de la época) bajaba, la resistencia al paso de la corriente eléctrica, también, disminuía; además, al llegar a una temperatura crítica (T_c), esta resistencia caía bruscamente hasta cero. En la figura 1 se muestra la gráfica correspondiente (1).

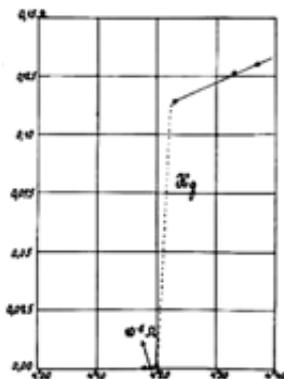


Figura 1. Experimento de Kamerlingh Onnes en el que observó la caída de la resistencia eléctrica del mercurio a cero.

Así nació la observación de un nuevo estado de la materia, el estado superconductor. A partir de ese momento y hasta la fecha, los científicos, técnicos e ingenieros se han dado a la tarea de tratar de entender y aplicar este comportamiento de ciertos materiales.

Ahora se sabe que no todos los elementos en la naturaleza alcanzan dicho estado. Lo que se ha podido comprobar es que los elementos superconductores tienen propiedades o características bien definidas: resistencia cero cuando se enfrían por debajo de su temperatura

crítica (T_c); diamagnetismo perfecto o expulsión del campo externo, si éste es inferior al campo magnético crítico (H_c); y, la existencia de una brecha energética en la densidad de estados electrónicos. Estas características se muestran en la figura 2.

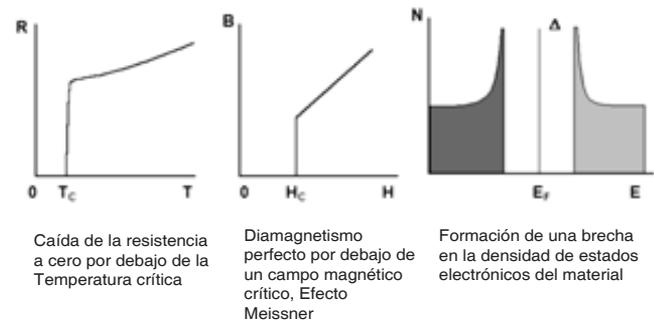


Figura 2. El estado superconductor y sus características.

La evolución de nuestra comprensión del estado superconductor de los elementos puros se llevó una buena parte de la mitad de este centenario. Durante los primeros 22 años, se fueron encontrando nuevos elementos, compuestos y aleaciones superconductoras; sin embargo, se creía que todo conductor perfecto podría ser considerado superconductor. Fue entonces, cuando W. Meissner y R. Ochsenfeld, en 1933, observaron el diamagnetismo perfecto de estos materiales. El campo magnético dentro del material superconductor no podía existir: efecto Meissner - Ochsenfeld.

En el terreno de la teoría, cabe destacar que los avances se desataron con el descubrimiento de esta propiedad. En un principio, se elaboraron teorías fenomenológicas desarrolladas a partir de consideraciones clásicas: Ecuación de London y Teoría de Ginzburg - Landau.

La teoría que desarrollaron los hermanos London, está basada en una visión microscópica clásica del efecto Meissner, tomando en cuenta la termodinámica y el electromagnetismo (ecuaciones de Maxwell). Fritz y Heinz, en 1935, asumieron que en el superconductor se presentaban dos fluidos uno de electrones normales y otro de electrones superconductores que podían moverse libremente en el material. Con ello llegaron a una expresión sencilla para lo que se denomina longitud de penetración del campo magnético. El éxito de esta ecuación se reflejó en su aplicación a varios materiales.

Por lo que se refiere a la teoría elaborada por V. Ginzburg y L. Landau, en 1950, podemos decir que es fenomenológica y está basada en el efecto del diamagnetismo perfecto, pero su enfoque es macroscópico y aborda el comportamiento magnético del material cerca de la temperatura crítica. Este desarrollo teórico concluyó con dos magníficas ecuaciones: una que relacionan la longitud de penetración de London con la diferencia entre la temperatura del material y la temperatura crítica; y otra,

la que define una nueva característica de los materiales, la llamada longitud de coherencia de los electrones. La combinación de ambas expresiones proporciona el parámetro de Ginzburg - Landau que determina dos tipos de superconductividad, a partir de su valor. Sobre estos dos tipos de superconductor hablaremos más adelante.

No fue sino hasta el año 1957 cuando J. Bardeen, L. Cooper y R. Schrieffer desarrollaron una teoría microscópica de la superconductividad, conocida ahora, en su honor, como teoría BCS. Esta teoría está basada en la propuesta de una atracción entre los electrones presentes en la estructura cristalina de los metales, formándose un par de Cooper y dando origen a la aparición de una brecha en la densidad de estados electrónicos. Esta teoría fue todo un éxito y llevó a la entrega del premio Nobel de Física, en 1989, a sus autores. Diversas técnicas han permitido confirmar que la superconductividad se manifiesta a través de los pares de Cooper como portadores con carga $-2e$ (e - carga del electrón): efecto Josephson, por ejemplo. Además, I. Giaever comprobó experimentalmente mediante una ingeniosa técnica, la existencia de la brecha energética, denominada Gap en la densidad de estados. Este experimento de tunelaje electrónico de 1959, permite visualizar prácticamente la brecha (ver figura 3). Giaever compartió el premio Nobel de Física con Esaki y Josephson, en 1973, por esta importante contribución al entendimiento del estado superconductor.

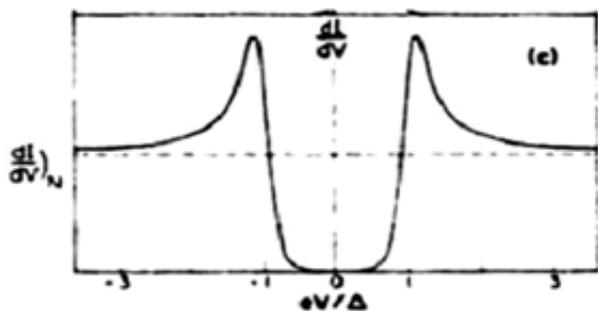


Figura 3. Experimento de Tunelaje electrónico que muestra la brecha en un superconductor (experimento de Giaever).

En este trabajo, abundaremos en la segunda de las tres propiedades mencionadas, el diamagnetismo perfecto o efecto Meissner. Pero antes de describirlo en detalle, situaremos esta característica y daremos algunas de las aplicaciones de los superconductores.

ANTECEDENTES Y APLICACIONES

En esta sección, mencionaremos algunos de los antecedentes de este fenómeno superconductor y destacaremos dos de las aplicaciones que han sido posibles gracias a estos materiales: la resonancia magnética nuclear y la construcción del Gran Colisionador de Hadrones.

a) Supercorrientes eléctricas

Los compuestos superconductores se identificaron, en un inicio, por la caída a cero de su resistencia eléctrica. Más tarde, se confirmó que no bastaba este cambio en la resistencia, todos ellos presentaban la expulsión del campo magnético de su seno. Este comportamiento, aunado a la resistencia cero, permitió la fabricación de alambres conductores que aceptaban corrientes eléctricas de decenas de amperes. Lográndose con ello producir supermagnetos o dicho de otro modo, bobinas generadoras de campos super-intensos.

Los campos de varios teslas son necesarios para producir cambios de estado de partículas a nivel atómico: cambios en la orientación de los protones o la desviación de iones de elementos pesados. Ambos aprovechables en dispositivos experimentales actuales.

b) Resonancia magnética nuclear

El diagnóstico médico de enfermedades neurológicas ha sufrido cambios importantes en los últimos años gracias al advenimiento de la Resonancia Magnética Nuclear (NMR por sus siglas en inglés). Esta técnica permite detectar edemas cerebrales, tumores, trombosis venosas, infartos cerebrales, entre otras, sin producir ningún malestar ni efectos secundarios al paciente. Imágenes del cerebro como la mostrada en la figura 4, son posibles gracias a las propiedades magnéticas de los átomos de hidrógeno, los cuales poseen un pequeño momento magnético (denominado espín del protón) mismo que puede orientarse mediante el uso de supermagnetos.



Figura 4. Imagen del cerebro obtenida utilizando Resonancia Magnética Nuclear.

Los componentes principales de un equipo de NMR son: su imán superconductor; sistema de radiofrecuencia; y, sus sistema de adquisición de datos y cómputo. De ellos, es el imán creador del campo electromagnético del que nos ocuparemos brevemente. Pero antes, diremos que los campos magnéticos se miden en unidades conocidas como tesla. Un tesla equivale a 10,000 gauss. Para tener una idea de lo que esto significa diremos que el campo magnético de la Tierra es del orden de 0.5 gauss. Así como la aguja de una brújula se orienta con el campo de la Tierra, así los protones se pueden alinear con un campo magnético externo. Dicho campo debe ser del orden de los 15 tesla.

En ausencia de campo magnético, los espines de los

protones del hidrógeno se orientan en todas direcciones sin preferencia alguna. Sin embargo, cuando se aplica un campo magnético intenso los protones tienen dos opciones de orientación: en la misma dirección del campo, en un estado de mínima energía denominado estado de espín α ; o, en dirección opuesta a la del campo magnético, en un estado de mayor energía denominado estado de espín β . Son los cambios de orientación entre estos dos estados los que permiten la producción de las imágenes por medio de radio frecuencia. El campo homogéneo y estable necesario para aprovechar estos cambios, es proporcionado por los imanes superconductores; sus campos van de unos cuantos tesla, 5.17 T como en el Arian-220, en 1966, hasta campos del orden de los 22 tesla (que permite observar al protón en 900 MHz) en espectrómetros comerciales. (4) Todo ello gracias a los materiales superconductores.

Es de esperarse que poco a poco, conforme se haga posible la operación de supermagnetos a mayores temperaturas (superconductores de alta temperatura crítica), la resonancia magnética sustituirá a otras técnicas de imagenología; dejando atrás técnicas que utilizan radiaciones ionizantes: la Tomografía Computarizada, por ejemplo. Y en un futuro no lejano, será posible observar directamente la acción química de los medicamentos sobre el cuerpo de un paciente.

c) Magnetos del Gran Colisionador de Hadrones

A mediados de 2008, una noticia recorrió las oficinas de prensa a nivel mundial, el Gran Colisionador de Hadrones (LHC por sus siglas en inglés) había iniciado sus operaciones y prometía en poco tiempo lograr recrear las condiciones extremas del Big Bang. La producción de un plasma de gluones y quarks estaba cerca. Sin embargo, en septiembre de ese año, un desperfecto en los magnetos superconductores del sistema alargó el plazo. Para los enterados, la necesidad de contar con poderosos magnetos era algo conocido; para la mayoría fue algo nuevo.

En efecto, el LHC está diseñado para acelerar dos haces de protones en dos anillos encontrados; mismos que alcanzan energías del orden de los 7 teraelectrón volts (un siete seguido de doce ceros). Las condiciones para realizar esta tarea son extremadamente demandantes. Los haces de protones deben girar alrededor de un anillo de 27 km de diámetro. La única forma de confinarlos es por medio del uso de un banco de magnetos principales (llenando casi las dos terceras partes del túnel) y con el uso de magnetos cuadrupolares que permiten el enfoque de los haces. El diseño de todo el conjunto de magnetos está basado en el uso de bobinas superconductoras que operan a la temperatura del helio superfluido (1.9 kelvin) y pueden alcanzar a mantener un campo de hasta 8 tesla. Esto no sería posible si no se contara con los cables de niobio estabilizados con cobre (más propiamente dicho cables tipo NbTi Rutherford). En la figura 5, se puede apreciar un corte transversal de un dipolo principal con los supermagnetos y su criostato [3].

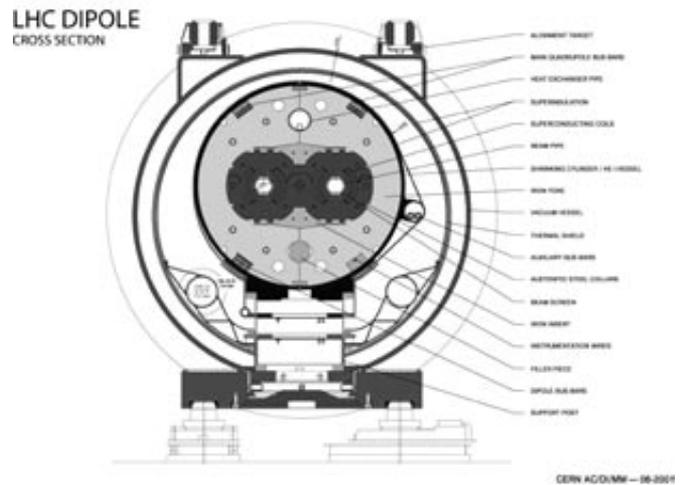


Figura 5. Corte transversal de un Dipolo Principal del LHC. Al centro se muestran las Bobinas Superconductoras.

EFFECTO MEISSNER

Como ya hemos dicho, la primera manifestación observable del estado superconductor fue la caída de la resistencia abruptamente cuando la temperatura del material baja de un límite llamado temperatura crítica (T_c). Debido a la ausencia de resistencia se puede hablar de conductividad perfecta; sin embargo, no basta que un compuesto sea conductor perfecto para que sea considerado superconductor. Veamos esto con más detalle.

En la figura 6, se muestran los efectos del campo magnético sobre un conductor ideal. En la parte superior de la figura, podemos ver cuatro momentos del conductor. En los primeros dos se indica que el conductor ideal, mismo que llamaremos simplemente conductor, es enfriado manteniendo el campo magnético externo en cero ($B_{ext}=0$). A continuación, manteniendo enfriado el conductor se enciende un campo externo representado por las líneas que suben; debido a su perfecta conductividad el campo no puede penetrar y rodea al conductor. En la última parte, se suspende el campo magnético y el conductor no sufre cambios.

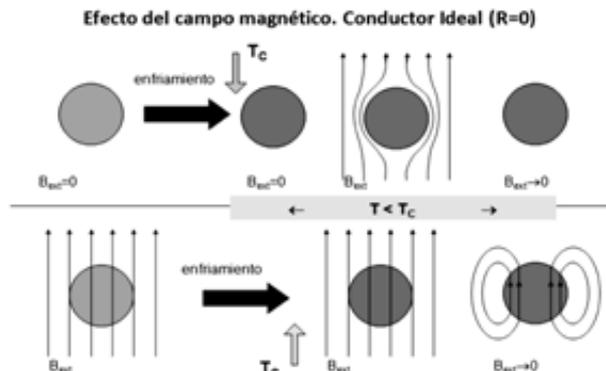


Figura 6. Comportamiento de un conductor perfecto o ideal bajo el campo magnético.

En la parte inferior de la figura, se observa cómo el conductor al ser sometido a un campo magnético externo y luego enfriado por debajo de la temperatura crítica, atrapa el campo y no se aprecia cambio. A continuación se apaga el campo externo y lo que se observa es que persiste un campo residual. Este estado residual permanecerá mientras la temperatura esté por debajo de T_c .

A diferencia de este comportamiento, en un superconductor se presenta, además de la resistencia cero, el efecto Meissner. Este efecto, también conocido como diamagnetismo perfecto es observado y es radicalmente diferente al que acabamos de describir. Para explicarlo usaremos la figura 7. En ella, en la parte superior, vemos un proceso similar al del conductor perfecto. El material enfriado a temperatura menor que T_c , expulsa el campo magnético.

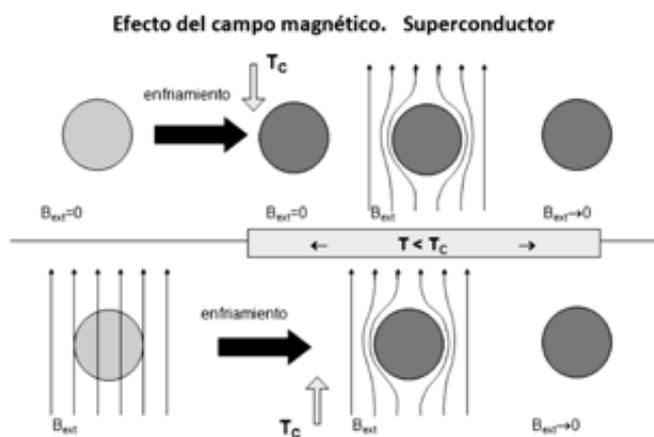


Figura 7. Comportamiento de un superconductor sometido a un campo magnético externo: el efecto Meissner-Ochsenfeld.

Pero la diferencia la observamos al aplicar el campo magnético externo antes del enfriamiento. En este caso, el campo penetra en el material normal pero apenas alcanza la temperatura crítica y se hace superconductor, el campo es expelido de las entrañas de la muestra. Al retirar el campo no queda ningún vestigio o residuo de él, pues éste ya había sido eliminado del interior del superconductor.

EL DESCUBRIMIENTO

Kamerlingh Onnes trabajó con denuedo en la construcción del primer licuefactor de helio en el mundo. Ya dijimos que en 1911, gracias a estos trabajos, pudo analizar diversos metales a temperaturas por debajo de los cuatro kelvin. En estos experimentos descubrió la superconductividad; así que su descubrimiento aunque casual, surgió por la exploración de nuevos estados a bajas temperaturas.

El descubrimiento del diamagnetismo perfecto en los superconductores, tampoco fue fortuito. Walter Meissner se había dado a la tarea de construir la que sería

la tercera máquina licuefactora de helio más grande del mundo. Trabajó en ello de 1922 a 1925. Paralelamente, se habían empezado a estudiar posibles explicaciones al comportamiento magnético de los superconductores. En experimentos, De Haas había observado una variación del comportamiento de la resistividad en función de la temperatura cuando se aplicaba un campo magnético externo. Además, Von Laue, teóricamente en 1932, explicaba que el estado superconductor era eliminado por un campo magnético intenso debido a las supercorrientes inducidas en su superficie. Sin embargo, se carecía de una explicación coherente del fenómeno.

Así estaban las cosas cuando, a principios de 1933, W. Meissner (ver figura 8) descubrió, en colaboración con R. Ochsenfeld, que los compuestos superconductores rechazaban totalmente el campo magnético externo de su interior. Los experimentos con tubos delgados de plomo y estaño consistieron básicamente en lo siguiente: [8].

+ Utilizando dos cilindros paralelos de un monocristal de estaño, se midieron los campos magnéticos entre ellos con la ayuda de una pequeña bobina conectada a un galvanómetro. Las mediciones se hicieron a temperatura ambiente y después de bajar la temperatura más allá de la transición superconductora; observándose un cambio relativo de 1.70 entre ambos campos magnéticos. Este resultado concordaba con los supuestos de que el superconductor era un conductor perfecto;

+ Otro experimento consistió en conectar los dos cilindros eléctricamente en serie y, después de hacer pasar por ellos una pequeña corriente eléctrica, se midió la deflexión del galvanómetro tanto a temperatura ambiente como por debajo de la temperatura crítica. El resultado fue que la desviación de la aguja del galvanómetro fue mucho mayor que la observada en el experimento anterior.

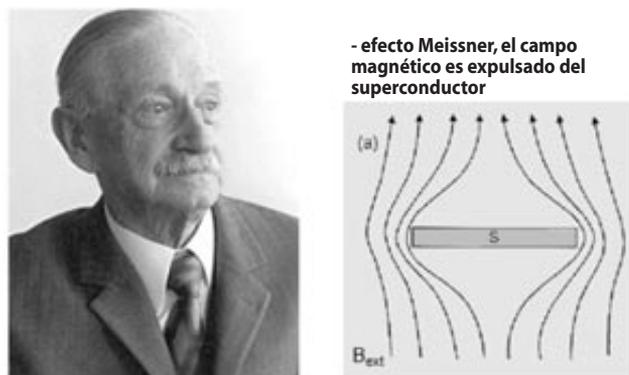


Figura 8. Fritz Walter Meissner y el efecto descubierto por él.

El significado de estos dos resultados solo podía ser interpretado como una expulsión del campo magnético del conductor al entrar en acción el estado superconductor. Se puede decir que éstos fueron los hechos que llevaron a Meissner a proponer que, en el estado superconductor,

el metal se convertía en un diamagneto perfecto. La confirmación del efecto Meissner-Ochsenfeld desató la realización de una serie de trabajos teóricos que culminaron con la publicación de los hermanos London acerca de la longitud de penetración del campo magnético en un superconductor: la ecuación de London, de la que ya hemos hablado.

CLASIFICACIÓN DE SUPERCONDUCTORES

El estado superconductor es destruido, cuando el material está por debajo de su temperatura crítica, solamente si se aplica un campo magnético externo lo suficientemente intenso (llamado campo crítico, H_c) o bien, si se hace pasar por él una corriente eléctrica intensa (llamada corriente crítica, I_c). En ciertos compuestos, la interrupción de la superconductividad se da de manera abrupta; mientras en otros, esto sucede de manera paulatina; en ellos, el campo va penetrando poco a poco en vórtices.

Fueron Ginzburg y Landau quienes definieron un parámetro del estado superconductor a partir del cociente de la longitud de coherencia y la longitud de penetración, identificables en el material; mismo que se conoce, en su honor, como factor de Ginzburg – Landau. Desde los primeros años de la década de los 50's este factor ha ayudado a los investigadores a clasificar los materiales en dos tipos diferentes: denominados superconductores Tipo I y Tipo II. En la figura 9, se muestra esquemáticamente la diferencia entre ellos.

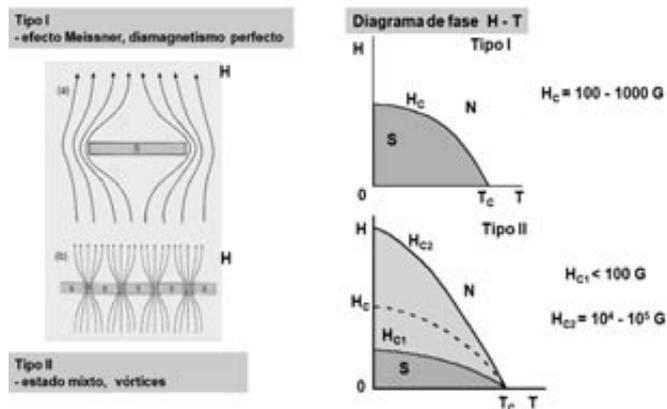


Figura 9. Condiciones de diamagnetismo que permiten clasificar a los superconductores en dos Tipos.

Veamos esto con detalle. En el superconductor Tipo I, el campo magnético externo es expulsado del material mientras dicho campo no exceda H_c ; si el campo sobrepasa ese límite la superconductividad es destruida y el campo penetra completamente en la muestra. Por otro lado, en el superconductor Tipo II, el campo magnético es expelido del material mientras su valor esté por debajo de un campo crítico 1 (H_{c1}); al alcanzar el campo externo una magnitud mayor a H_{c1} , se inicia la penetración magnética

coexistiendo el estado superconductor en el bulto del material con zonas normales (vórtices) como se muestra en la figura. El área cubierta por los vórtices es cada vez mayor hasta el momento en que el campo sobrepasa un valor H_{c2} (campo crítico 2); en ese momento se rompe el estado superconductor y el campo magnético penetra en el material.

Es necesario remarcar que la penetración magnética en los superconductores Tipo II se produce a través de vórtices que se distribuyen en una red triangular a lo largo y ancho de la muestra. Son las zonas al interior de las corrientes circulares las que están en el estado normal. Es esta penetración lo que hace que la levitación en este tipo de compuestos sea muy estable. Los superconductores de alta temperatura crítica son del Tipo II y por ello muestra la levitación magnética como se ve en la figura 10.

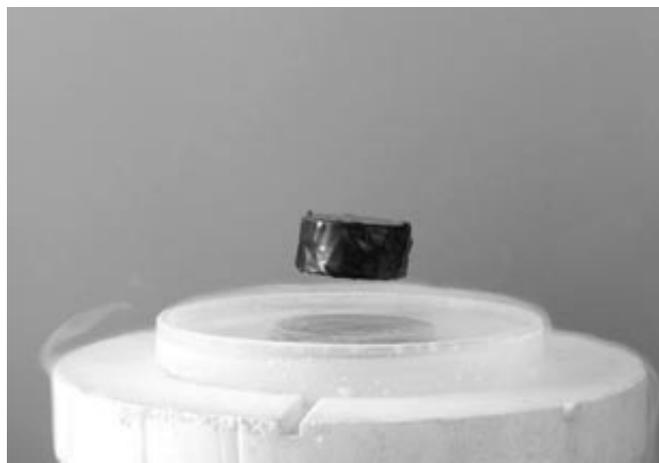


Figura 10. Imán levitando sobre una pastilla superconductora de $YBa_2Cu_3O_{7-x}$.

Cabe destacar que una de las aplicaciones más relevantes de este efecto de levitación magnética con superconductores es la que encontramos en los trenes superrápidos que cruzan varios países. Un ejemplo famoso es el tren MagLev (más propiamente conocido como "The Yamanashi MLX01 MagLev train") que levita sobre los rieles y alcanza velocidades de aproximadamente 550 km/h. El principio de operación de este tren es la llamada suspensión electrodinámica (EDS por sus siglas en inglés), la cual es una aplicación directa del efecto Meissner de los superconductores. En estos trenes, la estructura de suspensión consiste de dos elementos magnéticos: uno, los electroimanes con bobinas colocadas en el riel; otro, los superconductores montados en los vagones del tren tal como se muestra en la figura 11.

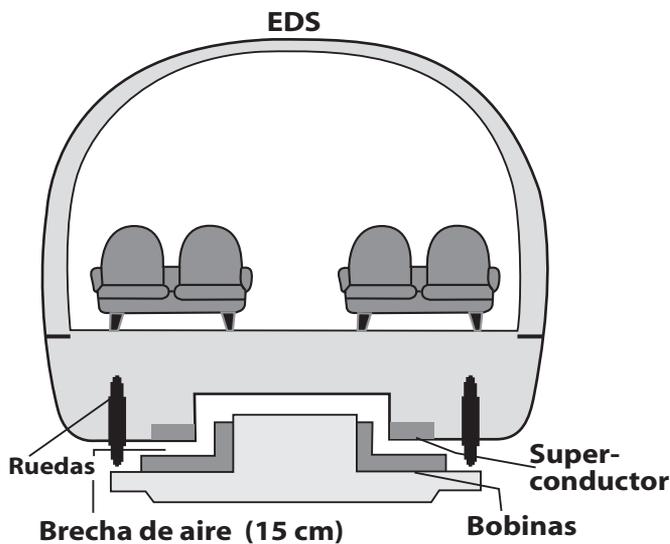


Figura 11. Diagrama de un sistema EDS de levitación en el tren MagLev.

Cuando se inicia el movimiento del vehículo a lo largo del carril, se induce una corriente en las bobinas de éste. Son los campos magnéticos de estos electroimanes los que son rechazados por los superconductores montados en el tren; produciéndose así la levitación del mismo. Este tipo de suspensión requiere que el tren cuente con llantas neumáticas debido a que a bajas velocidades la fuerza de levitación es insuficiente para mantener al tren en el aire. En este sistema EDS se presentan levitaciones de hasta 15 cm sobre el riel, garantizando la integridad del sistema frente a deformaciones.

SUPERCONDUCTIVIDAD Y MAGNETISMO

Después de 1933, cuando Meissner confirmó el diamagnetismo perfecto de los materiales superconductores, se generalizó la idea de que existía una incompatibilidad entre estos dos fenómenos: el magnetismo y la superconductividad. Concretamente, se pensaba que era necesaria la ausencia de elementos químicos magnéticos entre los componentes de un compuesto superconductor, y los investigadores los habían eludido deliberadamente. Sin embargo, en febrero de 2008, H. Hosono y su grupo de trabajo, reportaron haber encontrado un compuesto de lantano que incluía entre sus constituyentes átomos de hierro (Fe) y de arsénico (As), manifestando superconductividad a 26 kelvin de temperatura.

En los tres años transcurridos al día de hoy, se han fabricado más y nuevos compuestos con base en hierro; al substituir el lantano por otra tierra rara se alcanzaron temperaturas críticas de hasta 55 kelvin (en el compuesto $\text{Sm}(\text{O}/\text{F})\text{FeAs}$). Estos superconductores, conocidos como FeAs, muestran que no hay antagonismo entre

la superconductividad y el magnetismo; y han abierto toda una nueva vía para llegar a la comprensión de este estado de la materia y para la búsqueda de materiales con temperaturas críticas cada vez mayores.

Una característica relevante de estos materiales, también conocidos con pnictidos superconductores es que existe una similitud muy obvia con los cupratos: en ambos aparece una estructura de átomos alternantes. Aunque la estructura presente en los cupratos (planos de óxido de cobre, CuO_2) es radicalmente diferente de aquella que aparece en los FeAs (planos de hierro - arsénico). En los primeros, los átomos de cobre y oxígeno están en el mismo nivel; mientras en los segundos, los átomos de hierro (pnictido) están en un nivel diferente, ligados a alguno de los átomos del grupo del nitrógeno, fuera del plano [8]. Esta diferencia puede apreciarse en la figura 12.

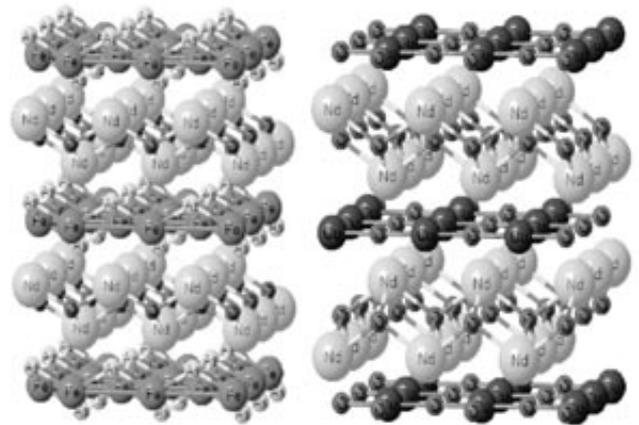


Figura 12. Comparación de las estructuras de dos superconductores de Neodimio. Uno mostrando los planos de FeAs y el otro, los planos de CuO_2 [8].

Otra propiedad relevante de estos pnictidos superconductores es su extremadamente alto campo crítico que le abre grandes perspectivas de aplicación en el transporte eléctrico de carga; el estado base metálico de los elementos que lo componen es diferente del estado aislante de los cupratos y presenta una menor anisotropía electromagnética. Estas condiciones se han visto mejoradas en estos superconductores, con la introducción de impurezas de elementos metálicos (dopaje). Por ejemplo, el compuesto dopado $\text{Sr}_{0.6}\text{K}_{0.4}\text{Fe}_2\text{As}_2$ presenta corrientes críticas del orden de 37 veces las de los compuestos Fe-Se-Te [9], lo que sería ideal para la conducción de corriente eléctrica a distancia; sin embargo, su naturaleza impide la fabricación de alambres estables, condición necesaria para su utilización generalizada.

COMENTARIOS FINALES

A lo largo de este escrito hemos retomado diversos aspectos del estado de la materia denominado



superconductividad: descripción conceptual, aplicaciones y teorías; sin embargo, nos hemos centrado en una de las tres propiedades que caracterizan este estado: el diamagnetismo perfecto o efecto Meissner. Así, hemos cubierto algunas de las aplicaciones más espectaculares de los compuestos superconductores. También, hemos abordado la clasificación de los superconductores a partir de la forma en que el campo magnético penetra en ellos. Finalmente, hemos tratado de llamar la atención del lector sobre los nuevos compuestos con base en hierro, llamados superconductores FeAsSC, en donde la superconductividad coexiste con el magnetismo contraviniendo las ideas expresadas por teóricos suponiendo que los elementos químicos magnéticos impedían la aparición de este estado.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) D. van Delft, P. Kes (2010) The discovery of superconductivity, *Physics Today* 63, 38 – 43.
- 2) O. Navarro, R. Baquero, Ideas Fundamentales de la Superconductividad. Ed. Universidad Nacional Autónoma de México, 2007
- 3) L. Rossi (2001) THE LHC SUPERCONDUCTING MAGNETS, LHC Project Report 660. [<http://cdsweb.cern.ch/record/630341/files/lhc-project-report-660.pdf>]
- 4) N. Pebet (2004) Resonancia Nuclear Magnética, XIII Seminario de Ingeniería Biomédica 2004. [<http://www.nib.fmed.edu.uy/Pebet.pdf>]
- 5) F. Sánchez-Ferrando (2006) Breve resumen histórico de la resonancia magnética nuclear. [http://www.uam.es/otros/germn/images/01Historia_RMN.pdf]
- 6) M. Sigrist (2008) Symmetry aspects of Superconductivity. Séminaire Transalpin de Physique 2008. [<http://seminairetransalpin.in2p3.fr/2008/talks/Sigrist-1.pdf>]
- 7) G. Perren (2003) Estudio de las aplicaciones prácticas de la levitación magnética (Trenes MagLev), [<http://www.fceia.unr.edu.ar/~fisica3/MagLev.pdf>]
- 8) F. Dahl (1992), Superconductivity: its historical roots and development from mercury to the ceramic oxides. *American Institute of Physics*. pp 165-179.
- 9) D. Einzel (2010). Walther-Meissner-Institut Home Page [<http://www.wmi.badw-muenchen.de/aboutus/impressum.htm>]
- 10) J. Paglione, R. L. Greene (2010) High-temperature superconductivity in iron-based materials. *Nature Physics*.(doi:10.1038/nphys1759)
- 11) E. Colombier, M. S. Torikachvili, N. Ni, A. Thaler, S. L. Bud'ko, P. C. Canfield (2010). Electrical transport measurements under pressure for BaFe₂As₂ compounds doped with Co, Cr, or Sn. *Supercond. Sci. Technol.* 23, 054003
- 12) A. Ricci, B. Joseph, N. Poccia, W. Xu, D. Chen, W. S. Chu, Z. Y. Wu, A. Marcelli, N. L. Saini, A. Bianconi (2010). On the possibility of a new multiband heterostructure at the atomic limit made of alternate CuO₂ and FeAs superconducting layers, *Supercond. Sci. Technol.* 23, 052003
- 13) G. P. Collins (2009). An Iron Key to High-Temperature Superconductivity?, *Scientific American*, 301, 62-69

PROPÓLEOS, PRODUCTO DE LA ABEJA PARA COMBATIR INFECCIONES

ARMAS ANTIMICROBIANAS ELABORADAS EN LA COLMENA

MOISES NAVARRO-NAVARRO, JAVIER HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ,
CARLOS ARTURO VELÁZQUEZ-CONTRERAS

*Los propóleos están formados por sustancias excretadas por árboles y arbustos que las abejas (*Apis mellifera*) recolectan y las depositan en la colmena. Diversas culturas los han utilizado en su medicina folklórica para el tratamiento de diversos padecimientos desde tiempos inmemoriales. Entre sus aplicaciones medicinales se encuentra la de curar y prevenir diversas infecciones. Actualmente, la salud pública y la comunidad médica enfrentan un serio problema, los antibióticos están fallando para eliminar los microorganismos causantes de procesos infecciosos, lo que ha impulsado la búsqueda de productos naturales con actividad antibacteriana, efectiva y saludable. Investigaciones realizadas en la Universidad de Sonora demostraron que los propóleos de nuestra región presentan estupenda actividad antibacteriana frente a *Staphylococcus aureus*.*

M.C. MOISÉS NAVARRO NAVARRO
Correo: moisesn@guayacan.uson.mx
Departamento de Ciencias Químico Biológicas
Universidad de Sonora
DR. JAVIER HERNÁNDEZ MARTÍNEZ
Correo: javmartinez@uv.mx
Unidad de Servicios de Apoyo en Resolución Analítica
Universidad Veracruzana
DR. CARLOS ARTURO VELÁZQUEZ CONTRERAS
Correo: velaz@guayacan.uson.mx
Departamento de Ciencias Químico Biológicas
Universidad de sonora

INTRODUCCIÓN

Las infecciones causadas por bacterias inmunes a los medicamentos antimicrobianos son cada vez más frecuentes, a este fenómeno se le conoce como resistencia bacteriana. Para algunos, la resistencia puede significar mayor número de visitas al médico, una enfermedad más larga o el consumo de drogas más caras y tóxicas, pero para otros significa la muerte. Esto ha impulsado la búsqueda de nuevas sustancias antibacterianas en fuentes naturales como son los propóleos.

Los propóleos son un producto natural. Las abejas melíferas los elaboran y utilizan para proteger a la colmena de diferentes agresores, de aquí el origen Griego de su nombre "propolis" que significa "defensor de la ciudad". Desde siglos, la medicina tradicional los ha utilizado para el tratamiento de infecciones y otros padecimientos. En la Biblia los propóleos son llamados "bálsamo curativo" y en el siglo IV a.C, Hipócrates los prescribió para curar infecciones en la piel. Los soldados romanos llevaban propóleos para aplicarlos como antisépticos y prevenir infecciones en heridas (12). En la Edad Media, el conocimiento popular los recomendaba en enjuagues bucales para curar infecciones localizadas y en pleno siglo XXI, ante la falta de acceso a la medicina moderna, algunas culturas de Europa Oriental mantienen el uso de propóleos para aliviar la gastritis, faringitis, infecciones en heridas y en quemaduras (1).

En los últimos 30 años, los propóleos han sido sometidos a intensos estudios químicos y farmacológicos. Los métodos modernos de análisis permitieron conocer la composición química de propóleos de diversas regiones geográficas, y establecieron su potente actividad antioxidante y antiinflamatoria, así como su capacidad para matar bacterias, hongos, parásitos, virus e incluso células cancerosas. Estas propiedades los hace un blanco para ser explotados por la industria farmacéutica en el desarrollo de productos que prevengan y curen diversas enfermedades (5). Los propóleos son productos reconocidos como seguros y debido a sus propiedades son empleados como un ingrediente en la fabricación de cosméticos, en ungüentos y tinturas y son consumidos como complemento dietético para mejorar la salud y prevenir enfermedades (1).

PROPÓLEOS

Los propóleos son una mezcla diversa de compuestos químicos que le confieren una consistencia resinosa, aromática y pegajosa. Su color es variable, verde, amarillo-verdoso, rojo o café oscuro, dependiendo de sus constituyentes y su madurez. Es insoluble en agua y soluble en alcohol. A temperaturas de congelación se cristaliza como un caramelo y a temperaturas altas toma una consistencia chiclosa. En la colmena, se encuentran en huecos, fisuras, celdillas y en las paredes internas (3).

Para su explotación con fines comerciales, los apicultores colocan mallas o rejillas plásticas –llamadas

trampas- bajo el techo de la colmena. El método se fundamenta en el instinto de las abejas por sellar con propóleos cualquier abertura y hendiduras. Después de varios días, la malla se retira y se somete a congelación para que los propóleos se desprendan fácilmente. El propóleos es almacenado en un lugar fresco, seco y oscuro para que conserve sus propiedades biológicas. Una colmena con alrededor de 80,000 abejas saludables puede producir entre 30 y 300 gramos de propóleos al mes, dependiendo de la región geográfica y la época del año (7).

Las abejas son los intermediarios entre las plantas y los propóleos. Para formar los propóleos, las abejas obreras utilizan sus mandíbulas para recolectar secreciones de vegetales en un radio aproximado entre tres y seis kilómetros alrededor de la colmena, las transportan en sus patas traseras, las mezclan con cera y depositan en sitios específicos en la colmena (8) (Figura 1). Las abejas son indispensables para la formación de los propóleos, ya que algunos compuestos químicos de origen vegetal son modificados químicamente por las enzimas presentes en su saliva. Los propóleos tienen varias funciones dentro de la colmena, ayudan a regular la temperatura interna, principalmente en invierno, impiden la entrada de agua de lluvia, de animales no deseados y promueven un ambiente libre de microorganismos. A finales del verano y en el otoño es cuando se produce mayor cantidad de propóleos. El clima frío es un factor que incrementa la acumulación de propóleos en las paredes de la colmena. Si un ratón, serpiente u otro animal logra introducirse lo matan con su veneno y ante la dificultad de expulsarlo lo cubren con propóleos para "momificarlos" bloqueando la putrefacción de la víctima y así mantener a la colmena libre de gérmenes (11).



Figura 1. Abeja recolectando resinas de *Encelia farinosa* (hierba ceniza)

Origen

A principios del siglo XX, se creía que los propóleos se forman de granos de polen semidigeridos por las abejas.

Esta teoría fue desechada gracias al desarrollo de la química orgánica. El análisis químico comprobó que los compuestos químicos presentes en los propóleos también se encuentran en los vegetales que rodean a la colmena, confirmando la hipótesis de su origen botánico (12). La recolección de resinas vegetales por parte de las abejas es un evento difícil de observar y generalmente se realiza en las partes altas de los árboles (1). Las fuentes botánicas visitadas por las abejas para formar los propóleos son diversas y dependerán de la flora predominante en cada región geográfica. En regiones con climas fríos a templados las abejas recolectan principalmente del álamo, abedul, ciruelo, jara común y de varias especies de coníferas. En regiones tropicales como Cuba, donde los álamos no son nativos, las abejas cosechan resinas del mamey silvestre, en Brasil de la chirca blanca y en regiones cálidas como el Desierto de Sonora, a partir de la chicurilla y la hierba ceniza.

Composición química

Los constituyentes que forman a los propóleos son muy heterogéneos y dependerán de las diversas sustancias exudadas por las especies de vegetales que las abejas visitan. Dichos compuestos no son indispensables para la vida de la planta y se les conoce como metabolitos secundarios. Los propóleos crudos de la colmena están formados por resinas, aceites aromáticos, cera y polen. La solución alcohólica de propóleos permite separar las resinas y los aceites aromáticos solubles, de la cera y el polen insolubles. El alcohol puede ser eliminado por evaporación obteniéndose una sustancia pegajosa, olorosa, llamada propiamente extracto alcohólico de propóleos (Figura 2). Se han identificado más de 180 compuestos orgánicos diferentes en el extracto alcohólico, entre los que destacan los flavonoides, ácidos fenólicos, ésteres y aldehídos (5) (Figura 3). Los constituyentes químicos son los responsables de las actividades antimicrobianas, antioxidantes, antitumorales y antiinflamatorias de los propóleos (13).

Actividad antibacteriana

Es conocido que los propóleos son efectivos para curar infecciones en heridas y garganta. Esto concuerda con su actividad antimicrobiana con fines sanitarios en la colmena. Los propóleos fueron utilizados con éxito en el tratamiento de heridas en la segunda guerra mundial. El desarrollo, descubrimiento y producción industrial de antibióticos a mediados del siglo XX hizo que los propóleos fueran olvidados, pero debido al problema emergente de la resistencia bacteriana a los antibióticos, se ha retomado el estudio de sus propiedades antimicrobianas (5).

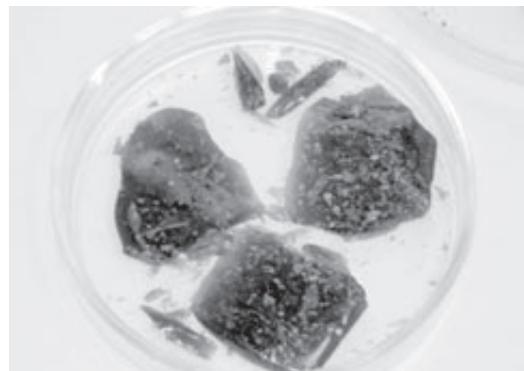


Figura 2. Extracto alcohólico de propóleos.

Para curar infecciones, los compuestos químicos con actividad antibacteriana (antibióticos) utilizados en el tratamiento médico, llevan a cabo al menos una de dos acciones, inhibir la reproducción de los microorganismos sin matarlos (actividad bacteriostática), o destruirlos debido a su potente actividad tóxica específica (actividad bactericida) (4). La diferente actividad generalmente depende de la concentración de la sustancia antimicrobiana que hace contacto con los gérmenes. Se requiere una concentración más alta para destruirlos que para inhibirlos y en la práctica médica se prefieren los compuestos bactericidas sobre los bacteriostáticos (4).

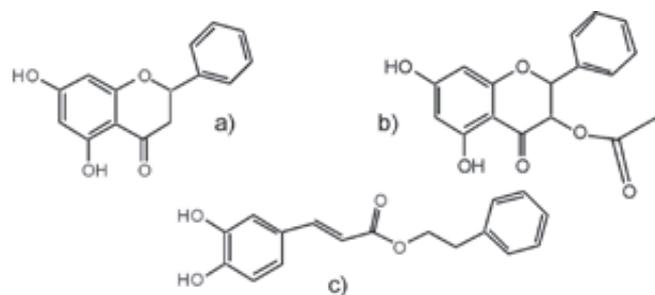


Figura 3. Estructuras químicas de compuestos fenólicos presentes en propóleos sonorenses. Flavonoides pinocembrina (a), y acetato de pinobanksina (b). Éster fenílico del ácido caféico (c).

Diversos trabajos de investigación han demostrado que los extractos alcohólicos de los propóleos de distintas regiones geográficas presentan actividad antibacteriana. Dicha actividad se ha estudiado contra múltiples bacterias causantes de diversas enfermedades en el humano (5). En general, los propóleos son más efectivos para destruir un grupo de bacterias llamadas Gram positivas. Dentro de este grupo encontramos a los causantes de caries dental e infecciones en heridas, en sangre, neumonía, peritonitis y meningitis. Para las bacterias agrupadas como Gram negativas, los propóleos han demostrado una pobre actividad para bloquear su proliferación (14).

Diversos estudios han evaluado propóleos de distintas regiones geográficas los que presentan estupenda actividad antibacteriana contra la bacteria Gram positiva llamada *Staphylococcus aureus*, causante de infecciones graves como neumonía y bacteremia, pero no se ha determinado si dicha actividad es bacteriostática o bactericida. La concentración de propóleos necesaria para inhibir el desarrollo de bacterias puede presentar variaciones debido a diferencias cualitativas y cuantitativas de sus compuestos (14). Los propóleos inhiben el desarrollo de bacterias (*Streptococcus*) que participan en la formación de la placa dentobacteriana, la que juega un papel decisivo para el desarrollo de caries dental. En un estudio realizado en el año 2005, los propóleos de Bulgaria demostraron ser capaces de impedir la reproducción del microorganismo *Helicobacter pylori*, causante de gastritis, úlcera y cáncer de estómago (2).

Estudios realizados en la Universidad de Sonora, demostraron que los propóleos de la región de Ures presentan actividad antibacteriana frente a microorganismos Gram positivos como *S. aureus*, *Enterococcus* y *Listeria monocytogenes* (14). La actividad es de tipo bacteriostático y bactericida frente a *S. aureus*, dependiendo de la concentración ensayada. La actividad antibacteriana de los propóleos de clima templado se correlaciona con la presencia de los compuestos fenólicos como los flavonoides pinocembrina y galangina, acetato de pinobanksina y los ésteres del ácido caféico. Un compuesto químico presente en propóleos de la región de Ures, Sonora, el éster fenetílico del ácido caféico, mostró una mejor actividad antibacteriana frente a *S. aureus*, en comparación con pinocembrina, acetato de pinobanksina y galangina (14).

Estudios en animales y humanos

Desafortunadamente son pocos los estudios realizados en animales y humanos, en relación a sus efectos benéficos para la salud. Los propóleos de Turquía fueron probados en su capacidad para curar una infección ocular experimental en conejos. Las gotas oftálmicas de propóleos presentaron la misma eficiencia para curar la infección en comparación con el antibiótico ciprofloxacino (9). En Polonia, un bálsamo de propóleos fue superior para curar quemaduras experimentales en cerdos, en comparación con el antibacteriano sulfadiazina de plata (6). En Cuba, la tintura de propóleos fue más efectiva que una solución de yodo para curar la cervicitis aguda, incluso fue capaz de eliminar agentes infecciosos no bacterianos como levaduras y tricomonas (10).

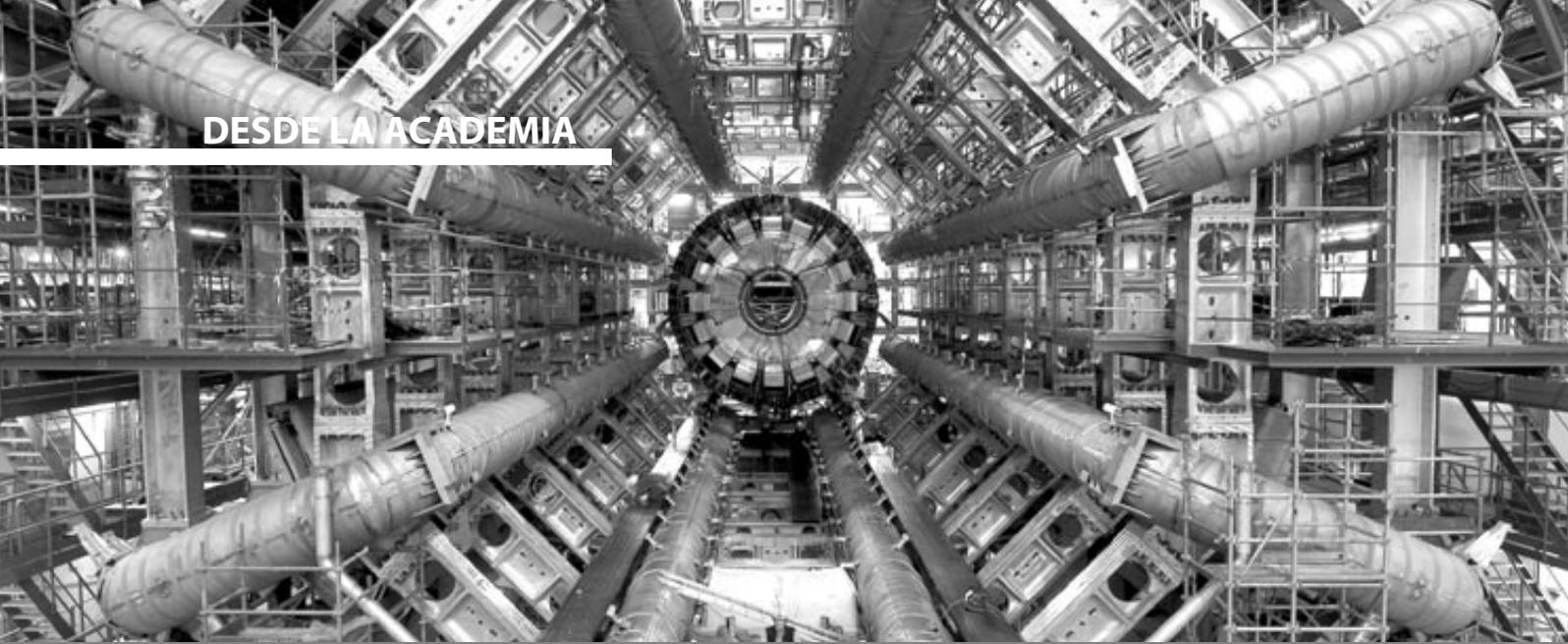
CONCLUSIONES

Los propóleos son un producto natural con gran potencial para ser utilizados en la solución de problemas de salud humana y animal. Su uso empírico y los resultados de las investigaciones de los últimos años confirman su

estupenda actividad biológica. Los resultados de los estudios en animales y humanos requieren ser confirmados para su potencial uso en medicina humana y veterinaria. Los propóleos representan una posible respuesta al creciente interés por los productos naturales con actividad antibacteriana, efectiva y saludable, lo que estimula una mayor investigación. Debido a las diferencias existentes entre propóleos de distintas regiones geográficas, se requiere estandarizarlos en su composición para que su actividad biológica resulte reproducible. La demanda de propóleos es creciente en un mundo globalizado, que tiende a volver a los productos naturales como una fuente de materia prima para resolver problemas en el área de la salud.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Bankova V. Recent trends and important developments in propolis research. eCAM 2005; 2: 29-32.
- 2) Boyanova L, Gergova G, Nikolov R. Activity of Bulgarian propolis against 94 *Helicobacter pylori* strains in vitro by agar-well diffusion, agar dilution and disc diffusion methods. J Med Microbiol 2005;54:481-483.
- 3) Burdock GA. Review of the biological properties and toxicity of bee propolis (propolis). Food and Chem Toxicol 1998; 36: 347-363.
- 4) Díaz-Alersi R, López-Álvaro I, Díaz-Torres J, Gil-Cebrian J, Chover AJ, Esquinas MT, Fernández-Ruiz A. 2002. Enfermedades infecciosas. Antibioterapia. P. 1329-1374. En: Tratado de Cuidados Críticos y Emergencias Tomo II, Álvarez J, Artigas A, Belda FJ, Bonet B, Caparrós T, Espino M, Gil J, Murillo F, Sanz MA, eds. Arán Editores S.L., Madrid, España
- 5) Farré R, Frascuet I, Sánchez A. El própolis y la salud. Ars Pharmaceutica 2004; 45:21-43.
- 6) Kabala-Dzik A, Szaflarska-Stojko E, Wojtyczka RD, Stojko A, Stojko R, Pacha J. Comparative studies on the antimicrobial activity of propolis balm and silver sulfaphadiazine applied to burn wounds in pigs. Bull Vet Inst Pulawy 2003; 47:541-545.
- 7) Krell R. Value-added products from beekeeping, Agriculture Services Bulletin 1996;124, Food and Agricultural Organization of the U.N.
- 8) Li-Chang L, Yue-Wen Ch, Cheng-Chun Ch. Antibacterial activity of propolis against *Staphylococcus aureus*. Inter J Food Microbiol 2005; 102: 213-220.
- 9) Oksuz H, Duran N, Tamer C, Cetin M, Silici S. Effect of propolis in the treatment of experimental *Staphylococcus aureus* keratitis in rabbits. Ophthalmic Res 2005; 37:328-334.
- 10) Quintana-Riverón TY, Lugones-botell MA, González-Oramas E, Rodríguez Labana T. Comparación de dos tratamientos: propóleos y lugol, en pacientes con cervicitis aguda. Rev Cubana Med Gen Integr 1996;12: 255-263.
- 11) Sahinler N, Kaftanoglu O. Natural product propolis chemical composition. Natural Product Research 2005; 19: 183-188.
- 12) Salatino A, Weinstein-Teixeira E, Negri G, Message D. Origin and chemical variation of Brazilian propolis. eCAM 2005; 2:33-338.
- 13) Silici S, Kutluca S. Chemical composition and antibacterial activity of propolis collected by three different races of honeybees in the same region. J Ethnopharmacology 2005; 99:69-73.
- 14) Velazquez C, Navarro M, Acosta A, Angulo A, Dominguez Z, Robles R, Robles-Zepeda R, Lugo E, Goycoolea FM, Velazquez EF, Astiazaran H, Hernandez J. Antibacterial and free-radical scavenging activities of Sonoran propolis. J Appl Microbiol 2007;103:1747-1756.



TEORÍA DE BARDEEN, COOPER Y SCHRIEFFER, PRIMERA EXPLICACIÓN MICROSCÓPICA DE LA SUPERCONDUCTIVIDAD

CARLOS FIGUEROA NAVARRO

La teoría de Bardeen, Cooper y Schrieffer (BCS), publicada en 1957, es un desarrollo matemático que explicó el fenómeno de la superconductividad, cuyas interrogantes tenían casi cinco décadas sin respuestas. Su propuesta se basa en un conjunto de investigaciones teóricas y experimentales sobre la atracción entre electrones de un superconductor. Nuestra contribución aquí es describir algunos de los conceptos utilizados en la teoría como los pares de Cooper, la brecha energética y la esfera de Fermi; además conforme al formalismo cuántico, se presenta la solución de la ecuación de Schrödinger. Por último, se discute el rango de validez de las llamadas relaciones universales y las limitaciones de aplicabilidad de la BCS.

DR. CARLOS FIGUEROA NAVARRO
Correo: cfigueroa@hotmail.com
Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas
Universidad de Sonora

LA EVOLUCIÓN DE MODELOS CLÁSICOS A CUÁNTICOS

Las primeras explicaciones del estado superconductor se formularon con base a física clásica; esto sucedió en la década de los treinta del siglo pasado. Con las leyes de la termodinámica se pudo reconocer el cambio de fase de estado normal al superconductor como una forma de equilibrio termodinámico, donde precisamente el cambio de estado se presenta a una temperatura crítica T_c . Estudios posteriores comprobaron el resultado y se logró desarrollar una fórmula para predecir el salto o discontinuidad en el calor específico¹[1] en la transición, presentada en la figura 1.

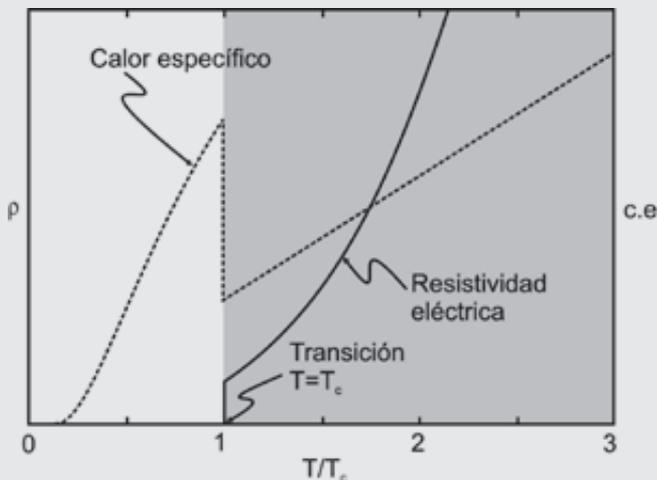


Figura 1. El área gris representa el estado normal y el área blanca corresponde al estado superconductor. La gráfica continua es la resistividad² ρ . La gráfica discontinua representa el calor específico, el salto es a la temperatura de transición.

Por ese mismo tiempo y con las leyes del electromagnetismo, principalmente ley de Faraday³ y ley de Ampere⁴, fue posible interpretar el efecto Meissner, nombrado así en honor al científico alemán cuyos experimentos determinaron la capacidad de los superconductores para repeler el campo magnético⁵. Todo lo anterior representaba grandes avances, sin embargo, tenía el defecto de no ser una explicación física con base a la Mecánica Cuántica y sus leyes, que rigen el comportamiento de los sólidos metálicos, en virtud de la naturaleza del electrón y la red cristalina.

La década de los cincuenta fue prolífica para la superconductividad pues inicia con el descubrimiento del denominado efecto isotópico, experimento que advertía a los teóricos incluir en el modelo matemático un actor clave en el juego: las vibraciones de la red cristalina, las cuales generan una cuasipartícula llamada fonón, cuyos cuantos de energía son $E_i = \hbar\omega_i$, donde \hbar es la constante de Planck, dividida entre 2π , y ω_i es la frecuencia angular de oscilación fonónica.



Neil Cooper, John Bardeen y Robert Schrieffer, precursores de la teoría BCS. Premio Nobel de Física en 1972.

En 1950 E. Maxwell y Ch. Reynolds [2] publican un estudio probando la evidencia de cómo las vibraciones de la red tienen un papel crucial en el entendimiento del fenómeno de la superconductividad; las conclusiones de su estudio experimental demostraron que la temperatura crítica está relacionada a la frecuencia de vibración de la red y ésta a la masa de los iones M , ellos denominaron esto como el efecto isotópico representado en la figura 2.

$$T_c \approx \omega_{osc} \approx \sqrt{\frac{k}{M}} \approx M^{-1/2}$$

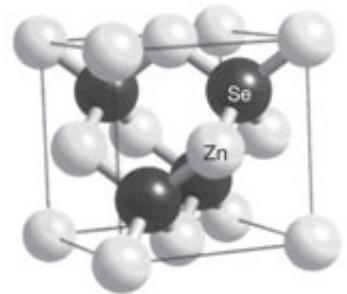
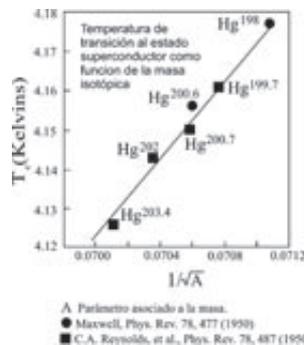


Figura 2. La gráfica representa la dependencia lineal de T_c para diferentes isótopos de Hg. La figura de al lado es una red cristalina típica del estado sólido de la materia.

Por la misma época, el alemán Herbert Fröhlich [3] obtuvo importantes resultados teóricos, este destacado científico investigaba la interacción de electrones y fonones dentro de un sólido y bajo gran sospecha y escepticismo de sus colegas, sus cálculos apuntaban a la existencia de fuerzas atractivas entre electrones como lo ilustra la figura 3; tal conclusión constituye una afrenta a la característica del electrón y su carga eléctrica negativa; su polémica opinión era un verdadero desafío a resolver por la comunidad científica. Sin embargo, Neil Cooper al poco

tiempo consiguie afinar el cálculo y la idea del apareamiento electrónico se impuso. Un par de Cooper son electrones con la extraña propiedad de tener atracción entre ellos. Pero ¿cómo es posible este suceso? A continuación se ofrece una ilustración sencilla; no sin antes insistir en la idea de pares de electrones como otra pieza clave para la teoría BCS.

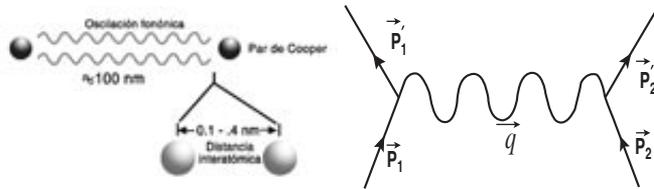


Figura 3. La oscilación representa la vibración del fonón, al interactuar con electrones, altera el momento \vec{p}_1 y \vec{p}_2 de los dos electrones.

Para entender cómo un par de Cooper no cumple con la fuerza de repulsión coulombiana se puede dilucidar con el siguiente razonamiento: Un electrón moviéndose en un metal deforma y polariza la red cristalina debido a la interacción eléctrica. El desplazamiento de los iones en la red hace que el electrón se vea rodeado por una "nube" de carga positiva cuya magnitud puede exceder la carga del electrón. Entonces, este electrón junto con la "nube" que lo rodea representa un sistema cargado positivamente, el cual atraerá otro electrón que se halle a sus alrededores, como se observa en la figura 4. Al sistema de pares junto con el papel de la vibración de la red cristalina se le denomina "mecanismo de apareamiento mediante la interacción de electrones y fonones".

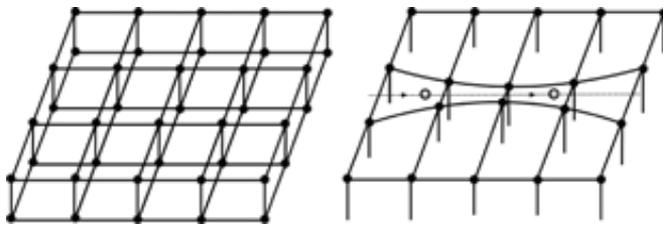


Figura 4. Es posible que una red polarizada como la del lado izquierdo genere electrones ligados debido al cambio de posiciones de cargas eléctricas positivas de los iones. Los puntos blancos representan el par.

En cuántica son importantes los estados de energía a los que puede acceder un sistema y esto conduce a otro concepto crucial en la conformación de la teoría como fue la energía o nivel de Fermi. Dicha energía tiene como base el principio de exclusión de Pauli, el cual expresa la imposibilidad para dos electrones de ocupar el mismo estado a la vez con el mismo espín. Ahora bien, si se piensa en estados ocupados y vacíos, entonces la energía máxima, a cero kelvin, de estados ocupados se denomina energía

de Fermi; por debajo de la superficie de Fermi todos los estados están ocupados y por arriba están vacíos. Esta energía se obtiene de la siguiente ecuación

$$E_F = \frac{p^2}{2m} = \frac{\hbar^2 k_F^2}{2m}$$

donde m es la masa del electrón, p es el momento lineal. En mecánica cuántica ese momento se estima en términos de la constante de Planck y el vector k , es decir $p = \hbar k$. La energía de Fermi tiene entonces su correspondiente vector k_F .

En la figura 5 se ilustra en el espacio de los momentos una esfera o un mar de Fermi generada por todos los momentos de los electrones con estado ocupado. El mar de Fermi es una característica de todo metal y el radio de la esfera está asociado al vector k_F del espacio recíproco⁶.

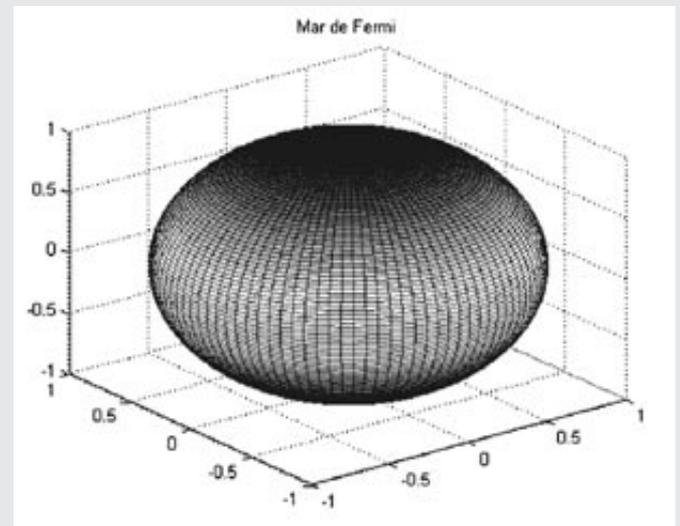


Figura 5. La esfera de Fermi de radio $\hbar k_F = \sqrt{2mE_F}$, son todos los estados electrónicos con energía E_F y todos con estado ocupado. Al bajar la temperatura dos electrones rompen el equilibrio energético y ellos se ubican por encima de esa esfera en un rango de energía de los fonones de la red cristalina.

La esfera de Fermi se forma para un radio igual al cuadrado de los momentos $\hbar k_F$. Las superficies con las mismas energías formarán una esfera de cascarones anidados, no en un continuo, y sin olvidar que $k_F^2 = x^2 + y^2 + z^2$ es un vector. El par de Cooper se genera muy cerca y por encima de tal esfera en una distancia dada por la energía de los fonones.

La Figura 6 es una forma de representar la red cristalina y el par de electrones con una distancia ξ entre ellos. Es evidente la diferencia de tamaño con la distancia interatómica.

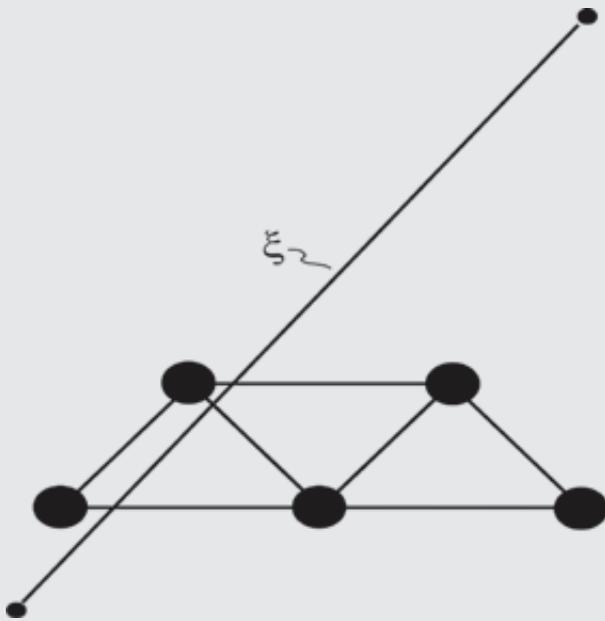


Figura 6. La distancia entre el par de electrones es mucho mayor a la distancia interatómica. Los otros electrones de la red no intervienen ya que están en estados ocupados.

TEORÍA COMPLETA DE LA SUPERCONDUCTIVIDAD: MODELO BCS BASADO EN MECÁNICA CUÁNTICA

Todos los ingredientes anteriores además del desarrollo asombroso de la Mecánica Cuántica por esos años hicieron propicio el momento de la publicación de la primera teoría microscópica de la superconductividad, cuya tesis fue planteada en 1957 por John Bardeen, Leon Neil Cooper y Robert Schrieffer [4] en EEUU. El objetivo fue tratar el problema con Mecánica Cuántica aplicada en sistemas metálicos donde la superconductividad es la física de los pares de Cooper [5].

El primer éxito fue explicar el efecto isotópico cuya evidencia sostiene la dependencia de la temperatura crítica con la masa M de los iones de la red cristalina. Es necesario mencionar la existencia de materiales que no se ajustan a la teoría BCS, después se aclaró por qué esos materiales no cumplen el efecto isotópico; es decir, el mecanismo de apareamiento de la vibración fonónica no es algo general en la superconductividad.

El segundo éxito de las predicciones fue la existencia de un gap o brecha de energía por arriba del nivel de Fermi. Inmediatamente después de la publicación de la BCS, varios y diferentes experimentos midieron ese gap de energía con excelentes resultados [6]. Esta brecha denominada Δ_0 tiene un rol crucial en los cálculos como se verá a continuación.

La existencia de una brecha en el espectro electrónico, no es igual al gap energético de la teoría de bandas

para determinar las características de conductores, semiconductores y aislantes, donde se define en términos de la diferencia de energía entre la banda de valencia y de conducción, de acuerdo al tamaño de esa brecha o banda prohibida de energía no puede haber electrones ocupando esos niveles prohibidos. En la superconductividad se presenta el gap debido a la reorganización de los electrones en pares.

Con la suposición de dos electrones por arriba del mar de Fermi, de alguna forma ligados, los autores de la BCS proceden a resolver la ecuación de Schrödinger⁷ considerando una energía cinética de un par de electrones y una energía potencial constante V . Esta consideración fue después corregida y reformulada con otras teorías. La ecuación de Schrödinger se escribe en términos de funciones de onda Ψ , de donde puede obtenerse la energía del sistema. Tal ecuación tiene la siguiente forma

$$i\hbar \frac{d}{dt} \Psi = \left(\frac{p^2}{2m} + V \right) \Psi$$

Al resolver para el caso de un par de electrones se obtiene la energía del par

$$E_{\text{par}} = 2E_{\text{Fermi}} + \epsilon_c$$

Donde ϵ_c es la energía de condensación necesaria para la transición al estado superconductor, dada por

$$\epsilon_c \approx -\frac{1}{2} N(0) \Delta_0^2$$

De forma general se acostumbra en la literatura denominar Δ_0 a la brecha cuya variable posee unidades de energía, $N(0)$ es la densidad de estados en el nivel de Fermi.

Hay un significado en el signo negativo. Observando la ecuación de E_{par} se tiene el hecho de que $E_{\text{par}} < E_F$, por tanto, la energía del par es menor a la energía de dos electrones normales; esto provoca cambios en la superficie de Fermi la cual se modifica ya que la formación de pares continuará hasta alcanzar el equilibrio, estos cambios en la superficie de Fermi crean la brecha de energía e implica lo siguiente: El par de electrones tiene una energía entre la esfera de Fermi y un radio menor dado por la energía característica de las vibraciones de la red. Los dos electrones de la figura 5 se localizan a una distancia del mar de Fermi determinada por la energía de la brecha.

La brecha energética fue determinante para avanzar en la solución y BCS obtiene resultados en relación con la temperatura crítica. Además, la teoría propuso una expresión para el salto en el calor específico. Con esto fue posible entender el efecto isotópico y se constituyen los máximos logros expresadas en las denominadas relaciones universales de la BCS.

RELACIONES UNIVERSALES BCS

Se refiere a los resultados de mayor impacto de la teoría. La primera es la relación entre gap, temperatura crítica y la constante de Boltzman k_B .

$$\frac{2\Delta_0}{k_B T_c} = 3.53$$

La segunda relación universal de la BCS es la discontinuidad del calor específico o salto del calor específico, donde se observa que el cambio de éste representado como ΔC , es proporcional a la temperatura crítica y una constante γ .

$$\frac{\Delta C}{\gamma T_c} = 1.43$$

Estas relaciones universales son confirmadas experimentalmente de acuerdo a la tabla 1. [5]

Tabla 1. Comparación entre experimento y teoría BCS. Las fallas predictivas son grandes para elementos con interacción fonón fuerte, como el Hg y el Pb.

Elemento	T_c [K]	Δ_0	$\frac{2\Delta_0}{k_B T_c}$	$\frac{\Delta C}{\gamma T_c}$	λ_{e-f}
Al	1.16	0.16	3.2	1.45	0.4
Zn	0.85	0.12	3.28	1.27	0.4
Sn	3.72	0.6	3.74	1.6	0.6
Ta	4.48	0.7	3.63	1.69	0.65
V	5.3	0.8	3.5	1.49	0.8
Nb	9.22	1.5	3.78	1.87	1.0
Hg	4.16	0.82	4.58	2.37	1.1
Pb	7.19	1.36	4.4	2.71	1.4
Nb ₃ Sn	18	2.35	4.5	2.64	1.7
Nb ₃ Ge	23	4.5	4.6	2.61	1.6
YBa ₂ Cu ₃ O ₇	90	19	5		2-2.25

La segunda columna contiene la temperatura crítica, la tercera el tamaño del gap a cero kelvin. Cuarta y quinta contienen el valor experimental de las relaciones universales. La última describe la magnitud del acoplamiento de la interacción electrón fonón. Tal medida es con base en un parámetro definido y estimado en la teoría de Eliashberg⁸. Se considera que si $\lambda_{e-f} < 1$ el material es de acoplamiento débil. Se llama acoplamiento fuerte cuando $\lambda_{e-f} > 1$.

De la tabla se deduce cómo la teoría BCS tiene mejores resultados para el primer caso, pues es notable lo correctamente bien estimado en superconductores

de interacción electrón fonón débil, como es el caso del aluminio. En los superconductores de alta temperatura crítica se tiene una λ_{e-f} con valores mayores a 1, eso significa una interacción electrón fonón fuerte. En esos materiales no funciona la teoría BCS. Esas desviaciones condujeron a definir la BCS como una teoría aproximada, no exacta, donde posteriormente hubo desarrollos matemáticos muy complicados pero exitosos como es la teoría de Eliashberg, cuyo cálculo se reconoce como la solución exacta al problema.

ANTES Y DESPUES DE LA BCS, CONCLUSIONES DE UNA HISTORIA POR CONTAR

Con la BCS y otros trabajos de la época de la década de los sesenta, se pensaba en la posibilidad de tener en forma completa la explicación de la superconductividad. Nadie imaginaba el escenario en años posteriores, cuando surgen los llamados superconductores de alta temperatura crítica. El famoso salto en la temperatura crítica inicia en 1986 con los materiales cerámicos. En efecto, la década de los ochenta del siglo pasado fueron la época del inicio de los SATEC (superconductores de alta temperatura crítica) al transitar de los 23 kelvin a los 80 o más kelvin. Actualmente los SATEC ya rebasaron la barrera de los 200 K.

El modelo BCS fue ampliamente aceptado y tuvo éxito explicando los superconductores de baja temperatura crítica, pero no logró el mismo triunfo con los de alta temperatura crítica [7]. La razón obedece a lo siguiente: El modelo BCS asume el mecanismo del apareamiento de electrones vía la interacción con fonones, entonces se establece la restricción de energía fonónica como energía disponible para el mecanismo. Los autores anticiparon esa situación y ellos distinguen entre modelo BCS y teoría BCS. El modelo BCS implica una interacción electrón fonón con acoplamiento débil y la teoría BCS abre la posibilidad de un acoplamiento fuerte donde los fonones no son los únicos mediadores en la formación de pares. Por lo anterior, es posible referir a superconductores BCS de alta temperatura crítica, en el contexto de considerar un acoplamiento no necesariamente mediado por fonones. Otros autores sostienen como pieza importante en el fenómeno las fluctuaciones del espín.

Los intentos por describir los superconductores de alta temperatura crítica se pueden dividir en dos clases: los que retoman la BCS proponiendo nuevos mecanismos para la formación de pares y, por otro lado, las teorías que abandonan por completo la BCS. Cabe destacar la falta de un consenso en las ideas del mecanismo de apareamiento para materiales de alta temperatura crítica.

Este artículo se ha enfocado en hacer una semblanza de la teoría BCS destacando principalmente las bases donde se postuló su desarrollo, también se hizo hincapié en su identidad cuántica y al final se incluyeron las discusiones de los resultados o relaciones universales. Sin duda esta teoría es un triunfo de la ciencia del siglo XX y la Real Academia de

las Ciencias de Suecia, atinó otorgarles el premio Nobel de Física. También es pertinente comentar la gran diferencia de tiempo entre la publicación en 1957 y el premio Nobel de 1972, lo cual obedeció a su reafirmación experimental y teórica como los trabajos de Gíaver, Gorkov y Ginzburg-Landau. Ese tiempo transcurrido proporcionó el valor de esta formidable teoría.

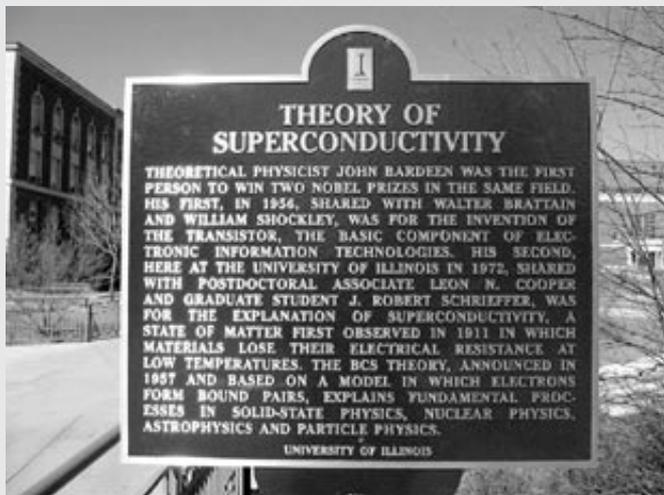


Figura 7. Placa conmemorativa a John Bardeen en la Universidad de Illinois. Chicago EEUU.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Tsuneto T. Superconductivity and super fluidity Cambridge Press 1998
- 2) Maxwell E. Phys. Rev. 78 477 (1950).
- 3) Fröhlich H. Phys. Rev., 79, 845 (1950).
- 4) Bardeen/Cooper/Schrieffer. Phys. Rev. 106 162 (1957).
- 5) Baquero R. Navarro, O. Ideas fundamentales de la superconductividad. Edit. UNAM, 2007.
- 6) Gíaver I. Phys. Rev. Letters 5 147 y 464 (1960)
- 7) Arredondo Y. Introducción a los superconductores. Edit UNAM, 2002.

GLOSARIO DE TÉRMINOS CLAVE

¹ Calor específico. En una sustancia, el calor específico es la cantidad de calor que es necesario suministrar para aumentar su temperatura en una grado (celsius o kelvin) por unidad de masa.

² Resistividad eléctrica. Propiedad de los materiales para conducir corriente. Mientras más baja sea esta resistencia en un material, éste será un mejor conductor.

³ Ley de Faraday. Se genera un voltaje \mathcal{E} debido a la variación temporal del flujo magnético Φ dado por $\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt}$.

⁴ Ley de Ampere. Ley que permite calcular campos magnéticos a partir de corrientes eléctricas dada por $\mu_0 I = \oint \vec{B} \cdot d\vec{l}$, donde $d\vec{l}$ es un diferencial de longitud con corriente e μ_0 es permeabilidad magnética en el vacío.

⁵ Campo magnético. Un campo magnético es un campo de fuerza creado como consecuencia del movimiento de cargas eléctricas. La fuerza (intensidad o corriente) de un campo magnético se mide en gauss o tesla. El flujo de la electricidad, como se llama al movimiento de las cargas eléctricas, decrece con la distancia a la fuente que provoca el campo magnético.

⁶ Espacio recíproco. Funciones del espacio real que se les aplica la transformada de Fourier.

⁷ Ecuación de Schrödinger. Ecuación fundamental de la mecánica cuántica, donde la solución es una función de onda Ψ , de tal forma que $\hat{H}\Psi = E\Psi$ donde $\hat{H} = \frac{p^2}{2m} + V$ y E es la energía. En forma de operador se define como

$$E = i\hbar \frac{d}{dt}$$

⁸ Teoría de Eliashberg. Teoría basada en el problema de muchos cuerpos para resolver el problema de los pares de Cooper. Tal planteamiento corrige las fallas de la BCS.





UNA APROXIMACIÓN DE LOS SISTEMAS EMERGENTES EN LA GESTIÓN DEL AGUA DOMÉSTICA URBANA, CASO: HERMOSILLO, SONORA

ARTURO OJEDA DE LA CRUZ

En este artículo, se exponen diversas posturas y enfoques citados en la literatura científica, que le da un atractivo realce y un claro respaldo a la descripción de los sistemas emergentes en la gestión del agua para uso urbano. Se describe la pertinencia de un método señalado como Modelo Basado en Agentes (ABM) el cual busca mejorar la gestión del agua. Al final se hace una explicación comparativa del modelo tradicional del favorecimiento a la gestión de la oferta aún con un periodo prolongado de sequía en la región de estudio. Se habla de las ventajas de la implementación de un nuevo paradigma de participación social en la gestión del agua y de la necesidad de incursionar también en una nueva forma de administración.

M.C. ARTURO OJEDA DE LA CRUZ
Correo: ojeda@dicym.uson.mx
Estudiante de Doctorado en Arquitectura
y Asuntos Urbanos /UANL. Departamento
de Ing. Civil y Minas /UNISON

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Hermosillo, capital del estado de Sonora, ha presentado un rápido y desordenado crecimiento durante los últimos diez años, alojando un mayor número de áreas habitacionales en puntos muy distantes y demasiado elevados con respecto a los puntos de suministro del agua en la ciudad. Debido a la insuficiente planificación conjunta del crecimiento urbano, el incremento poblacional, la poca disponibilidad del recurso hídrico en la región y la ausencia de precipitaciones significativas en los últimos diez años, se ha agudizado más la escasez del agua fundamentalmente para consumo doméstico urbano. Esta situación, pone de manifiesto que el desarrollo demográfico debería avanzar en paralelo con la planeación del recurso hídrico para tener un suministro de agua adecuado en la ciudad.

El propósito del presente trabajo es exponer una aplicación de los sistemas complejos adaptativos (CAS), en donde la interrelación de los componentes y sus atributos se identifican como propiedades emergentes. La aplicación de esta teoría considera un funcionamiento integral del sistema de gestión de agua urbana.

El estudio de la complejidad tiene la finalidad de entender la estructura de los sistemas, sus interconexiones y su conducta. Esto ha dado lugar a diferentes aproximaciones en torno a los tipos de complejidad y las propiedades de los sistemas (1).

MARCO CONCEPTUAL

1. Los Sistemas Complejos Adaptativos y las Propiedades Emergentes

Un sistema complejo se define como la clase de sistema cuyos vínculos contienen información no visible para el observador y cuyo comportamiento es poco previsible. En un sistema complejo existen propiedades que resultan de las interacciones entre elementos, las cuáles no pueden explicarse a partir de las propiedades de los elementos aislados. Este tipo de atributos se denominan propiedades emergentes. Algunas propiedades de los sistemas complejos que podemos observar en los sistemas sociales y que ayuda a entender su naturaleza y comportamiento son: la no linealidad (pequeños cambios pueden generar grandes transformaciones); atractores (puntos o estados que atraen a un sistema dinámico hacia sí); auto-organización (capacidad de cambiar su estructura básica en función de su experiencia y el ambiente que le rodea; redes (agrupación de nodos interconectados entre sí por mecanismos que pueden ser físicos o virtuales) (1). La evolución de reglas simples a complejas es lo que se llama: "emergencia" (2:19).

Los ecosistemas y los sistemas sociales son Sistemas Complejos, se les denomina complejos porque tienen muchas partes y muchas conexiones entre ellas; y son Adaptativos porque su estructura de retroalimentación les brinda la habilidad para cambiar en formas que promueven la supervivencia en un medio ambiente fluctuante. Estos

comportamientos distintivos llamados propiedades emergentes, funcionan en sinergia a cada nivel de organización para otorgar a ese nivel una vida propia mayor que la suma de sus partes (3). Cada sistema puede actuar de manera no predecible, en virtud de que posee propiedades emergentes, que surgen o se manifiestan mientras el sistema o los sistemas se encuentran en acción, y que se caracterizan por ser sorprendentes e impredecibles (4).



2. La Auto-Organización y Retroalimentación

La anticipación y predicción de los agentes individuales, que al interactuar dan origen a una realidad emergente, los sistemas complejos funcionan bajo un principio de auto-organización que regula las interacciones y genera orden. Bajo ese orden, los individuos o elementos actúan de manera autónoma, tienden a actuar por su propio interés y son capaces de sobrevivir si logran sus objetivos (1). El comportamiento del sistema surge a partir de la auto-organización de sus componentes, sin que esta organización esté controlada ni dirigida por ningún ente exterior al sistema (5). Los sistemas auto-organizados usan la retroalimentación para pasar a una estructura más ordenada (2).

Los sistemas cerrados tienen retroalimentación negativa: Es un proceso que tiende a amortiguar el cambio devolviendo al sistema a su posición de equilibrio. Esta clase de procesos se oponen al cambio, puesto que buscan siempre retornar a un estado anterior. Esta retroalimentación tiende a corregir una desviación llevando al sistema a su estado original. Un desequilibrio es una desviación, y es corregido mediante un retorno al equilibrio original. Por oposición, la retroalimentación positiva promueve el cambio y la inestabilidad, la formación de nuevas estructuras más perfeccionadas, más adaptativas, más sutiles. Implica que cuando una variable aumenta, también lo hace la otra (o bien cuando una disminuye, también disminuye la otra), esto explica finalmente cómo a partir de pequeños cambios terminan produciéndose cambios muy grandes (efecto mariposa), o bien, cómo a partir de grandes cambios terminan produciéndose modificaciones insignificantes. Los sistemas abiertos que evolucionan caóticamente lo hacen por retroalimentación positiva (6).

Así entonces, los recursos hídricos están estrechamente vinculados con una serie de componentes que lo convierten en un sistema socio-ecológico, en respuesta a los estímulos en diferentes sub-sistemas. De modo que con muchos sub-sistemas que operan a distintos niveles, el fracaso de una de estas unidades puede ser compensada por el buen funcionamiento de la otra, dando lugar a cambios adaptativos en el régimen de gestión del agua (8).

SITUACIÓN ACTUAL DE LA GESTIÓN DEL AGUA EN HERMOSILLO

Actualmente en la ciudad de Hermosillo, Sonora se está viviendo un grave problema de escasez de agua, pues los habitantes no cuentan con este líquido durante las 24 horas del día para el consumo doméstico. Las primeras señales de falta de agua se presentaron durante el año de 1996, haciendo crisis en 1997 a pesar de que en el año de 1994 se tuvieron lluvias extraordinarias que provocó la descarga de volúmenes de agua excedentes en la presa Abelardo L. Rodríguez (ALR), que se ubica a 1 kilómetro al oriente de la zona urbana en cuestión.

La curva del crecimiento demográfico, la regulación de las poblaciones, la evolución genética y la organización social son ejemplos de propiedades emergentes al nivel de organización de las poblaciones (3).

La población en la ciudad de Hermosillo registrada en el año de 1950 apenas llegaba a 43,516 habitantes, pero con la elevada tasa de crecimiento del 8.2% presentada en la década 50-60, su población tuvo el primer repunte importante para el año 1960 puesto que duplicó su población registrando un incremento poblacional del 120% (ver Fig.1). Para los años 1970 y 1980 Hermosillo nuevamente ve su ascenso en la población registrándose un incremento de 84% y de 68% nuevamente con una alta tasa porcentual de crecimiento del 6.58% y de 5.16% respectivamente.

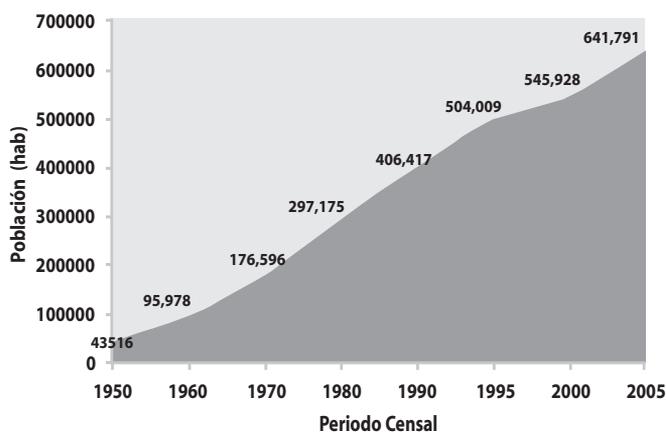


Figura1. Evolución de la población en la Ciudad de Hermosillo.

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAPO en el COLSON (14)

De 1980 a 2005, Hermosillo repunta con un crecimiento prácticamente lineal pasando de una población de 297,175 a 641,791 habitantes. En este periodo la ciudad tuvo un incremento de 110%, el mayor que ha registrado en su historia.

Este rápido y no planificado crecimiento poblacional ha sido causa de otro tipo de problemas, como son el déficit recurrente del agua potable para suministro doméstico a nivel urbano y el incremento de la superficie de la mancha urbana generando con ello mayor insatisfacción para las personas en las necesidades del hogar y de movilidad en la zona urbana.

Además, con la evidente sequía que ha prevalecido por casi 10 años en la zona de estudio, se han generado mayores requerimientos de agua potable para cubrir las necesidades de los hogares, de los sectores comercial, industrial y de servicios públicos. Esta situación ha generado mayor interés tanto en las autoridades que se encargan de la toma de decisiones, como a los usuarios finales del agua.

De acuerdo con los datos expuestos por el organismo operador del agua (15), se tiene que el volumen de agua potable producido para abastecer la zona urbana de Hermosillo al año 2007 fue de 88.2 millones de metros cúbicos, cuyo volumen provino en un 100% de pozos profundos en diferentes captaciones circundantes a la ciudad. En el año 2009 se produjo un volumen de agua de 99.3 millones de metros cúbicos para el abasto. Es decir, en tan sólo dos años el requerimiento de agua en la ciudad se incrementó en un 12.6%, también proveniente de acuíferos, por lo que la presa Abelardo L. Rodríguez, única fuente de abastecimiento superficial, tiene una aportación casi nula.

En Hermosillo el suministro de agua no es al 100%, puesto que a partir de enero de 2010 el organismo operador inició el programa de "racionalización" del agua, que consiste en entregar únicamente 8 h por día a los usuarios en la ciudad; a la fecha esta limitante en el suministro está vigente. Dicha restricción también se aplicó en el año 2005 por los mismos motivos en las fuentes de abastecimiento de agua superficial y subterránea en operación para la zona urbana de estudio.

A partir de la mitad de la década pasada, las autoridades de los tres niveles de gobierno responsables de la gestión y operación del sistema de abastecimiento de agua potable en la ciudad, han hecho varios intentos por resolver de manera definitiva tal situación, aplicando en todos los casos diversas alternativas que básicamente se han enfocado a la búsqueda de nuevas fuentes de abastecimiento, preferentemente agua subterránea. Es decir, se ha buscado siempre incrementar la oferta para suministrar más agua al sistema de distribución de agua y en consecuencia a los hogares. Lo cual sigue el paradigma tradicional de una política de agua basada en la gestión de la oferta, centrada en aspectos de elevar la cantidad de agua a través de la construcción de obras que capten el



CONTEXTO, ÁMBITO Y ENFOQUE METODOLÓGICO DE ESTUDIO

1. Contexto y ámbito

Las condiciones climáticas también tienen una gran influencia en el volumen de consumo de agua. Las demandas de los suministros de agua y el propósito del servicio continúan creciendo en todo el mundo. El incremento actual de la población en los países en desarrollo ha dado lugar a una creciente necesidad de la provisión de agua segura y adecuada y del saneamiento, e imponen una gran demanda del agua para futuros proyectos de desarrollo y de gestión (11).

El caso de Hermosillo ilustra un fenómeno más amplio que ocurre en México y en los países en vías de desarrollo, en donde el rápido crecimiento demográfico está ocurriendo en regiones áridas (12).

agua, y también obras para que dicha agua se conduzca desde grandes distancias (150 km en el caso de la nueva captación que se pretende utilizar al sur este de la ciudad de Hermosillo). Esta alternativa de solución, lleva consigo el trasvase por medio de un nuevo acueducto desde la cuenca del Río Yaqui a la zona urbana de estudio situada en la cuenca del Río Sonora.

PLATAFORMA SOCIAL EN LA GESTIÓN DEL AGUA URBANA – UN NUEVO PARADIGMA

Los sistemas urbanos tienen una gran cantidad de complejidad en el sentido de la palabra que se usa en la ciencia de sistemas complejos. Esta complejidad se debe a una serie de cuestiones: el comportamiento de uso del agua, el uso de múltiples fuentes de agua para diferentes propósitos, las fuentes puntuales de la contaminación debido a la conducta del uso del suelo, los flujos y las fugas de agua a través de un complicado sistema técnico, el suministro de agua que depende de los patrones del clima un poco al azar y la complicada dinámica hidrológica, así como la dependencia de la asignación de los horarios de bombeo y distribución (10).

La gestión del agua se ha caracterizado tradicionalmente por un paradigma de control que ahora está cambiando poco a poco. Este cambio se debe en gran parte a la necesidad de poner en práctica la gestión integrada de los recursos hídricos y la idea de que la gestión del agua se enfrenta a la creciente incertidumbre del cambio de clima y el cambio rápido de las condiciones de entorno socio-económico (9).

El Modelado Basado en Agentes (ABMs) es adecuado, particularmente para analizar cuantitativamente los sistemas complejos que incluyen entidades autónomas que tiene cada una un comportamiento dinámico y heterogéneo, con características de adaptación en la toma de decisiones como es el caso de los usuarios del agua en una ciudad pero que tales modelos necesitan una base empírica sólida, calibración y validación (10).

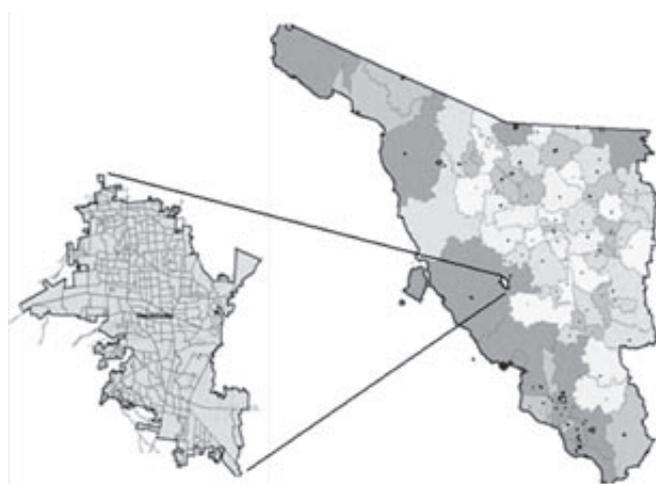


Figura2. Localización del sitio de estudio y área urbana de Hermosillo al año 2005. Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI.

Se considera que aproximadamente en 95% del territorio sonorenses los climas son muy secos, secos y semisecos; los cuales se caracterizan por su alta temperatura y escasa precipitación. Por su parte, la influencia altitudinal de la Sierra Madre Occidental, ubicada en el oriente de la entidad colindante con Chihuahua, se registran temperaturas menos cálidas, con precipitaciones más abundantes respecto a las muy secas, secas y semisecas registradas en Hermosillo (7).

La ausencia de precipitaciones significativas en la cuenca del Río Sonora, ha afectado de manera importante las fuentes de captación de agua vigentes para la ciudad de Hermosillo, así como a los acuíferos influenciados por tal situación.

Antes del año 1996, la Cuenca del Río Sonora había experimentado más de una década de caudales de aproximadamente el 45% por encima del promedio



(Fig. 3). Para controlar estos caudales por encima del promedio fue construida en 1991 la presa El Molinito. Sin embargo, desde 1996 a 2005, la cuenca del río Sonora registró caudales que fueron aproximadamente 42% por debajo de la media, y por lo tanto, las fuentes de agua de la ciudad disminuyeron drásticamente (12). Dicha presa se localiza casi 25 km aguas arriba de la presa ALR, y capta prácticamente el “volumen de agua escurrido por eventos extraordinarios” que ocurren en la cuenca.

El problema crítico en el abasto de agua a la ciudad se origina partir de 1997, cuando la presa Abelardo L. Rodríguez dejó de operar por tener nulo almacenamiento; sumándose el efecto del incremento progresivo de la población urbana, como se señaló previamente.



Figura 3. Escurrecimientos del Río Sonora. Fuente: adoptado de (12).

2. Enfoque metodológico

Recientemente, Magnus Moglia (10) ha desarrollado un método que señala como Modelo Basado en Agentes (ABM) el cual busca mejorar la gobernanza del agua. En su aportación lo expone aplicado a un caso de estudio. Mismo que en éste trabajo presento sólo un resumen. Considera fundamental el desarrollo de una serie de entrevistas etnográficas iterativas para generar conocimiento e

información de la zona de estudio con informantes clave, además de la revisión histórica, y estudios científicos existentes. Otra etapa del modelo considera el intercambio de información por las partes interesadas (usuarios del agua urbana, autoridades responsables de la gestión del agua, y en general el sector social). La intervención de las partes interesadas facilita la interacción entre sectores y la problemática, derivándose de ello no tan sólo puntos de vista del sistema, sino también las complejidades, presiones del mismo, su entendimiento y comprensión. Las complejas interacciones tienen que ver con los patrones del uso del agua, impactos en la salud, las fuentes de agua, la posible contaminación de esas fuentes, las diversas tecnologías, así como la validación de los resultados de la modelación realizada en la investigación.

No obstante lo anterior, la intervención e interacción de las partes interesadas requiere que sea en un marco estricto de normas o reglas de operación. En esto V.S. Saravanan (8) describe en un diagrama de interacción la serie de normas o reglas. Resumiendo tal señalamiento: Reglas de frontera para los participantes, reglas de autoridad para autoridades, reglas de información, reglas de agregación, reglas de gobierno, reglas de activar y desactivar y de posición.

Por otra parte, Pahl-Wostl (13) señala que la gestión adaptativa se define aquí como un proceso para mejorar las políticas y prácticas de gestión mediante el aprendizaje sistemático de los resultados de las estrategias de gestión aplicadas, y teniendo en cuenta de manera proactiva los cambios en los factores externos. Pone de relieve también que uno de los objetivos de la gestión adaptante es aumentar la capacidad de adaptación del régimen de gestión en general. La capacidad para aplicar la gestión adaptante y tener en cuenta nuevos conocimientos depende de un número de características estructurales de un régimen. El cuadro 1 señala algunos de los requisitos estructurales que se asumen necesarios para que un sistema sea adaptante.



Cuadro 1. Caracterizaciones ideales típicas de una predicción y régimen de control y de la gestión del agua integrada y de adaptación. Fuente: adoptado de (13).

EVENTO	PREDICCIÓN Y REGIMEN DE CONTROL	RÉGIMEN INTEGRADO Y ADAPTATIVO
Paradigma de gestión	Enfoque del control- meta orientada, estrategias óptimas	Enfoque de la evolución, procesos orientados, estrategias robustas
Estructura de gobernanza	Cuantificación de riesgos, reducción de incertidumbres centralizadas, jerárquico, estrecha participación de los interesados	Dialogo de riesgos, aceptar y vivir con incertidumbres policéntricas, participación horizontal amplia de las partes interesadas
Integración sectorial	Sectores analizados por separado dando lugar a conflictos políticos y problemas crónicos	Análisis intersectorial anticipa problemas emergentes, resuelve los conflictos y coordina la implementación de políticas
Escala de análisis y de operación	Los problemas transfronterizos surgen cuando las sub-cuencas del río son la escala exclusiva de análisis y gestión	Abordar cuestiones transfronterizas, considerando múltiples escalas de análisis y gestión
Gestión de la información	Entendimiento fragmentado por las lagunas y falta de integración de las fuentes de información que son propiedad	Acuerdos Integrales logrados por las fuentes de información abiertas, compartidas que cubren lagunas y facilitan la integración
Infraestructura	Infraestructura masiva y centralizada, fuentes individuales de diseño, entrega de energía	Escala adecuada, fuentes descentralizadas de diverso diseño
Finanzas y riesgo	Los recursos financieros se concentran en la protección estructural (los costos hundidos)	Recursos financieros diversificados con un amplio conjunto de instrumentos financieros públicos y privados

El modelo (ABM) exige también, que la información crítica evaluada en las etapas anteriores se identifique los elementos críticos del sistema. Estos elementos se describen posteriormente en clases conceptuales a través de: Lenguaje Unificado de Modelado (UML), para posteriormente desarrollar el modelo integral de simulación. Los diagramas del UML se utilizan para facilitar el diseño conceptual del modelo y para crear un puente de conexión con las partes interesadas facilitándose así la etapa de validación del sistema iterativo de acuerdo con los principios de participación. La serie de diagramas se identifica como diagrama de clases, toma en cuenta las interacciones que se describen en los elementos que conforman el sistema de abastecimiento de agua con sus respectivos atributos; considerando por ejemplo, rubros como: infraestructura de la red del sistema urbano, acuíferos y pozos de las captaciones, propietarios, usos del suelo, clientes, grupos de clientes, preferencia del uso del agua, reservas, el clima con su atributo de predominio en situaciones pesimistas y optimistas, y el organismo operador de agua de la ciudad con los atributos de tarifas, bombes, ventas, mantenimiento de infraestructura, entre otros. Finalmente, el análisis y simplificación de los elementos anteriores permite que se elabore el esquema general del modelo integral a través del balance de agua que considerará todos los flujos de agua en el sistema para diferentes escenarios (10).

CONCLUSIONES

En la zona de estudio se ha promovido e impulsado por décadas el paradigma de favorecer la oferta del agua, con resultados que han conducido a la explotación de nuevas y distantes fuentes de agua; inyectar más agua al suministro. Con la probable consecuencia de que con ello se incremente el consumo de agua percapita en los hogares. Las condiciones del clima en la zona desértica de estudio, han dejado ver su gran influencia al existir una ausencia de lluvias importantes por casi una década de modo que ha afectado a las fuentes

de agua superficial y subterránea. Esto en conjunto con la evolución de la población, sus hábitos de consumo, la falta de recursos económicos, las intervenciones y participación política de la sociedad y de los entes gubernamentales, ha agudizado más el problema.

El presente trabajo ha permitido incursionar -como una aproximación- en la aplicación de los Sistemas Emergentes en la gestión del agua urbana. Existe evidencia por parte de la comunidad académica y científica de que las teorías desarrolladas en torno a este nuevo paradigma son aplicables a esta temática del recurso hídrico, y permiten involucrar un nuevo paradigma de participación social con participación de las partes interesadas y con un manejo integral en la gestión del agua.

Así entonces, una forma de atender la situación que prevalece, es considerar el sistema como un CAS, lo cual implica identificar todas las variables posibles; en principio debe reconocerse que es una nueva forma con un nuevo modelo de abordaje, que exige involucramiento de: usuarios, entidades responsables de la operación del sistema de suministro, sector empresarial, organizaciones gubernamentales y no gubernamentales. Por otro lado, debe considerarse: el conocimiento y la opinión de todas las partes interesadas, reconocer la situación hídrica real tomando en consideración la evolución de la población (su estructura por edad y género), las dinámicas de migración, condiciones climáticas de la zona con escenarios pesimistas y optimistas, la situación de las tarifas y su evolución, las condiciones físicas e hidráulicas de la red de distribución del agua, las fuentes de agua y su conducción, preferencias de los usuarios en el hogar (patrones de uso del agua), y demás infraestructura y elementos que afecten. Esto apoyado en una etnografía de la ciudad -del sistema- y entrevistas. Además de analizar cada uno de los componentes del sistema con sus atributos, a fin de estudiar de manera integral el problema. En suma, abordar el sistema como un CAS exige considerar aspectos tangibles del medio ambiente, físicos, sociales, económicos y políticos. La implementación de un nuevo modelo siempre debe verse como una oportunidad.

Sin embargo, es común en este país, que este tipo de intervenciones por ser un nuevo modelo de participación, al momento de abordarlo en la práctica es casi seguro que encuentre barreras u oposición. Una causa es porque implica y exige abordar el sistema sin tener la presión de falta de información y tiempo; pero sobretodo implica una real transparencia en las acciones y en los datos, así como un análisis profundo de cada uno de los elementos que intervienen. La escasez del agua potable para las zonas urbanas y rurales de cualquier parte del mundo, exige también la comprensión y participación muy decidida de las autoridades de gobierno que encabezan la toma de decisiones. Aplicar un nuevo paradigma de participación social requiere pues, la sensibilidad de todos los que estamos expuestos al problema y a los efectos evidentes del cambio climático; esto es un gran desafío en la gestión del

agua, pero también es un gran desafío la implementación de políticas de gobierno y la toma de decisiones en la ruta de la participación. Debe incursionarse por lo tanto en una nueva gobernanza como una oportunidad de abrir la participación social en una esfera propositiva y objetiva para la toma de decisiones.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Segura Mojica, Francisco Javier. 2009. ¿Puede gestionarse la complejidad de los problemas sociales? Aportaciones de la teoría de la complejidad a la formulación de políticas públicas. Rev Nómadas.<http://redalyc.uaemex.mx/pdf/181/18111418015.pdf>
- 2) Steven Johnson, (2001). Sistemas emergentes: o que tienen en común hormigas, neuronas, ciudades y software. Fondo de la Cultura Económica, para América Latina. ISBN FCE:968-16-7074-4.
- 3) Gerald G. Marten, (2001). Ecología Humana: Conceptos básicos para el desarrollo sustentable. Capítulo 4. Los Ecosistemas y los Sistemas Sociales como sistemas Complejos Adaptativos. Ed. Earthscan.
- 4) Walter Ritter O., Sergio Guzmán R., Norma Sánchez Santillán., Juan Suarez S., Carmen Corona V., Hipólito Muñoz N., Alfredo Ramos V., Rogelio Rodríguez M. y Tahimi E. Pérez E., (2002). El clima como sistema complejo adaptativo en coevolución. Ciencia y Mar .23-35.
- 5) Luis R. Izquierdo, José M. Galán, José I. Santos y Ricardo del Olmo,(2008).Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas. EMPIRIA. Revista de Metodología de Ciencias Sociales. No 16, pp.85-112.
- 6) Wompner G., F.H, (2008). La teoría del caos en la economía en Contribuciones a la Economía. <http://www.eumed.net/ce/2008b/>
- 7) INEGI, (2000). Síntesis de información geográfica del estado de Sonora.
- 8) V.S. Saravanan, (2008). A systems approach to unravel complex water management Institutions. Ecological complexity. 5, pp 202 – 215.
- 9) C. Pahl-Wostl, (2007).The implications of complexity for integrated resources management. Environmental Modelling and Software. 22, pp. 561-569.
- 10) Magnus Moglia, Pascal Perez, Stewart Burn, (2010). Modelling an urban water system on the edge of chaos. Environmental Modelling & Software. 25, pp.1528 – 1538.
- 11) K.H.V. DurgaRao, (2005). Multi-criteria spatial decision analysis for forecasting urban water requirements: a case study of Dehradun city, India. Landscape and Urban Planning. 71,pp.163–174.
- 12) Rolando E. Díaz-Caravantes, Erick Sánchez-Flores, (2011). Water transfer effects on peri-urban land use/land cover: A case study in a semi-arid region of Mexico. Applied Geography. 31,pp. 413-425
- 13) Claudia Pahl-Wostl, GeorgHoltz,BrittaKastens,ChristianKnieper, (2010). Analyzing complex water governance regimes: The Management and Transition Framework. Environmental science & policy. Article in press.
- 14) Colegio de Sonora (COLSON). Banco Regional de Consulta. Unidad de datos demográficos:www.colson.edu.mx.
- 15) Organismo Operador Agua de Hermosillo. www.aguadehermosillo.gob.mx



MÉTODO ALTERNO PARA COSTEAR LA PRODUCCIÓN EN INDUSTRIAS DE TRANSFORMACIÓN

CASO DE UNIDADES DE PRODUCTO AUMENTADAS
AL FINAL DE UN PROCESO

JAIME DÍAZ SANTANA

El presente trabajo se relaciona con el sistema de costeo por procesos, aplicable en empresas industriales de transformación cuyos productos se elaboran mediante la modificación de las características de las materias primas al través de procesos mecánicos, químicos, físicos, o fisicoquímicos. Se presenta un método alterno para el cálculo de los costos de producción para el caso específico tradicionalmente considerado como especial, en el cual, al añadir más materia prima al final de un proceso, el número de unidades de producto resultante se incrementa. El método que se propone presenta varias ventajas sobre el tradicional, siendo las principales: determina los costos en cada proceso con relación a la unidad de producto terminado, proporciona directamente más información para efectos contables, para la gestión, y toma de decisiones en los departamentos de producción y gerencia. Adicionalmente, es un procedimiento claro, didáctico y sencillo.

M.C JAIME DÍAZ SANTANA
Correo: jdiaz@industrial.uson.mx
Departamento de Ingeniería Industrial de
la Universidad de Sonora.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas existentes para costear la producción, aplicables en las empresas industriales de transformación, tienen como objetivo determinar cada período, normalmente cada mes, los costos de producción del inventario final que quedó en proceso y el costo de la producción que se terminó, para efectos de registros contables. Derivado de los resultados anteriores y para efectos de control y toma de decisiones en las áreas de producción y gerencia, se determinan los costos de producción unitarios, por cada tipo de producto y por cada elemento del costo de producción: materias primas, mano de obra y gastos indirectos de fabricación. Sólo existen dos sistemas para costear la producción: por órdenes de trabajo, y por procesos. Una empresa no tiene libertad de escoger, toda vez que sus características específicas de producción determinan el sistema a emplear. Así, las empresas candidatas a adoptar el sistema de costeo por órdenes de trabajo presentan, como características más representativas, las siguientes: pueden producir una amplia gama de artículos y los artículos que producen son generalmente bajo especificaciones precisas de cada cliente, por lo que todo lo que produce ya está vendido de antemano. Lo anterior implica que no produce para inventarios y venta posterior, aunque algunas empresas sí lo hacen en algunos productos de alta demanda. Las empresas taller, como las que se dedican a la fabricación de muebles, las del giro metal mecánico, y las ensambladoras, entre otras, se ajustan al empleo del sistema de costeo por órdenes de trabajo. A su vez, las empresas que tienen que optar por el sistema de costeo por procesos producen uno o varios, pero pocos, tipos de artículos muy semejantes, muy estandarizados y en alto volumen, en uno o varios procesos productivos. Normalmente no producen bajo pedido y mantiene un inventario de artículos terminados de acuerdo a su demanda. La industria del cemento, del papel, de la cerveza, de vinos y licores, de harina de trigo, y panificadoras, entre otras, se ajustan al empleo de este sistema de costeo.

Para su elaboración, un producto puede requerir de uno o varios procesos u operaciones. Es común que al añadirse materiales en los diferentes procesos, el número de unidades del producto final no se altera, tan sólo se incrementa el costo unitario del mismo. Así, en la producción de tarjetas electrónicas que requieren para su elaboración varios procesos, la adición de materiales en cada uno de ellos, tales como componentes electrónicos y soldadura, entre otros, no incrementa el número de tarjetas electrónicas en producción. Sólo el costo unitario de producción de cada tarjeta se va incrementando con cada material que se le añade, por la mano de obra empleada, y por la parte que le corresponda por los gastos indirectos de fabricación incurridos. Lo anterior es más común en las empresas que costean por órdenes de trabajo. Sin embargo, se presentan algunos casos en empresas que costean por procesos, en los cuales, cuando

en la elaboración de productos: en polvo (ejemplo: cemento), líquidos o semilíquidos (ejemplos: bebida de chocolate, yogurt), granulados (ejemplo: alimento balanceado para animales) entre otros, al añadirse materiales al fin de un proceso, el número de unidades de producto final se incrementa. En la literatura especializada del tema a estos casos se les considera como *especiales* del costeo de la producción. No todos los autores de material técnico de costos de producción abordan este tema, y quienes lo hacen [1, 2, 3], presentan procedimientos de cálculo con una cosa en común: separan los cálculos relativos al material que al adicionarse aumenta el número de unidades de producción, de los relativos al resto de materiales adicionados con anterioridad. Desde el punto de vista de análisis, control, y toma de decisiones, relativos a los costos de producción, a criterio de quien esto escribe, limitan al administrador de la empresa. En este artículo, se presenta un procedimiento alternativo, más sencillo y didáctico que los tradicionales, el cual puede ser utilizado en todos los casos, es decir, como procedimiento general y único, eliminando los casos especiales. Adicionalmente, el método propuesto se acopla perfectamente con la metodología de los costos estimados o estándares en cuanto al cálculo, análisis y control de las variaciones entre ellos, y los costos reales incurridos.

CASO GENERAL DE ESTUDIO EN EMPRESAS QUE COSTEAN POR PROCESOS

Al inicio de un proceso se incorpora cierta cantidad de materias primas (MP1), suficientes para producir n unidades de producto. Al final del proceso, se incorporan otras materias primas (MP2) en cantidad específica y proporcional con la primera, de tal forma que produce un incremento en las unidades de la producción terminada, o transferida, con mayor valor agregado, al siguiente proceso. Sólo el producto final, o la producción transferida, contiene las materias primas MP1 y MP2. El inventario inicial y el inventario final, de producción en proceso, contienen solamente las materias primas (al 100% de avance) que se agregan al inicio del proceso (MP1). Este es el caso clásico, en el que las unidades físicas agregadas al inicio del proceso se ven aumentadas por efecto de las unidades que se adicionan al final del mismo (ver figura 1).

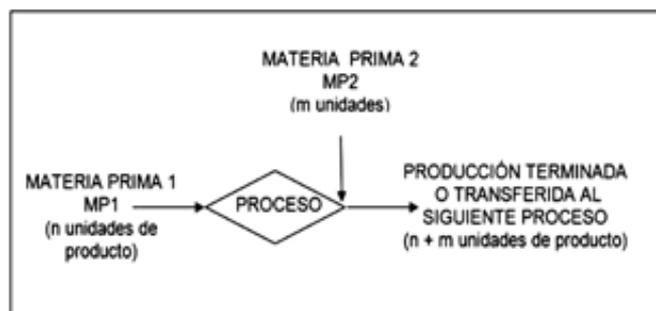
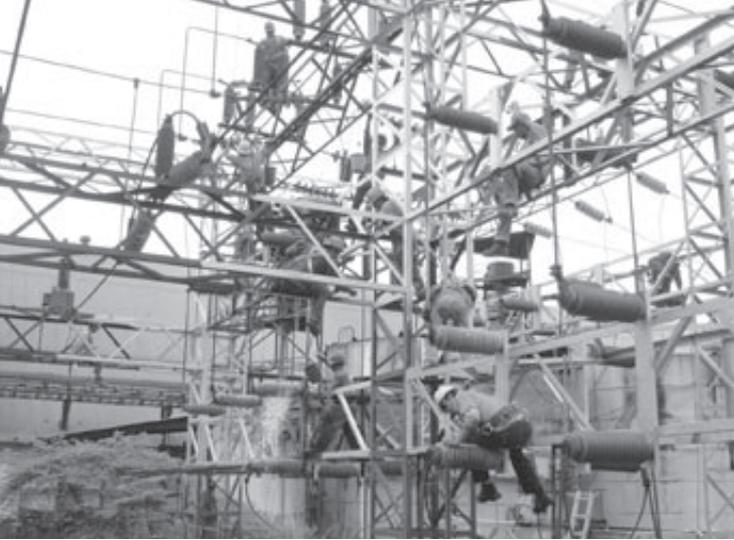


Figura 1. Diagrama del proceso sin inventarios: inicial ni final



SOLUCIÓN PARA EL CÁLCULO DE LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN ACORDE AL MÉTODO MÁS COMÚN

Se resolverá el caso de estudio, mediante el método de costos promedio, siguiendo el procedimiento empleado por Torres Salinas [3]. Primeramente se determina el número de unidades de producto que se terminan en el período (ver figura 3). Este procedimiento, para efectos de cálculos, separa las materias primas adicionadas al principio del proceso, de las adicionadas al final del mismo. Se observa que el aumento en las unidades de producto terminado es causado por la adición de la segunda mezcla de materiales (MP2).

Inventario inicial de producción en proceso (MP1)	40,000 unidades
+ Agregadas en el mes (MP1)	85,000 unidades
= Disponible en el mes para procesarse (MP1)	125,000 unidades
- Inventario final de producción en proceso (MP1)	20,000 unidades
= Terminadas en el mes (MP1)	105,000 unidades
+ Adicionadas al final de proceso (MP2)	31,500 unidades (30%)
= Producción terminada (MP1 Y MP2)	136,500 unidades

Figura 3. Cédula de unidades físicas

Para el cálculo de los costos de producción, tanto de la producción terminada como la que queda en proceso (inventario final), es necesario determinar las unidades equivalentes producidas en cada apartado (ver figura 4), por cada elemento del costo (materia prima y COCO). La referencia es una unidad de producto completamente terminada que es igual a una unidad equivalente. 20,000 unidades físicas de producto no terminado que queda en el inventario final de producción en proceso con un avance del 60% en el COCO, es decir, que todavía hay que invertirles un 40% del costo de conversión para que queden 100% terminadas, equivalen a $0.6 (20,000) = 12,000$ unidades equivalentes.

	MP1	COCO	GRADO DE AVANCE EN EL COCO
Unidades terminadas	105,000	105,000	
+ Unidades del inventario final	20,000	12,000	60%
= Total de unidades equivalentes	125,000	117,000	
- Unidades del inventario inicial	40,000	28,000	70%
= Unidades equivalentes producidas	85,000	89,000	

Figura 4. Cédula de unidades equivalentes (UE), sin las unidades de MP2 adicionadas al final del proceso

Los costos destinados a producción en el período (costos del inventario inicial, más el costo agregado) se utilizaron para producir las unidades equivalentes terminadas y las que quedaron en proceso. El costo promedio por unidad equivalente de cada elemento del costo de producción se obtiene dividiendo la suma de costos entre la suma de unidades equivalentes (ver figura 5).

MP1:	$(\$620,000 \text{ del IIPP} + \$1,320,000 \text{ erogados en el mes}) / 125,000 \text{ UE totales} = \15.52
COCO:	$(\$208,250 \text{ del IIPP} + \$640,000 \text{ erogados en el mes}) / 117,000 \text{ UE totales} = \$ 7.25$
Total por kilogramo procesado de MP1	= \$22.77

Figura 5. Cédula del cálculo de costos promedio por unidad equivalente, sin incluir a las unidades de MP2 adicionadas al final del proceso

CASO ESPECÍFICO DE ESTUDIO

Un tipo de alimento balanceado para consumo animal se elabora a través de un solo proceso de producción y se vende por kilogramo. Durante el mes XXXX, al inicio del proceso se agregaron 85,000 kilogramos de una mezcla de nutrientes (MP1) y al final se incorporó otra mezcla (MP2), en cantidad exacta y proporcional con la primera (de acuerdo a la fórmula del producto), de tal forma que genera un incremento del 30% en las unidades que se procesaron completamente de MP1 para obtener la producción terminada del mes, con la mezcla de las dos materias, MP1 y MP2. Los costos generados (agregados) en el mes fueron: \$1,395,600 por concepto de materias primas (\$1,320,000 de MP1, y \$75,600 de MP2), y \$640,000 de costo de conversión (COCO) (100% de este costo en el proceso de MP1, ya que para MP2 este costo se considerará despreciable para efectos de simplificación de cálculos). Al inicio del mes se tenían en el inventario de producción en proceso (IIPP) 40,000 kilogramos de MP1 con costo de \$620,000, con el 70% de avance en el COCO y costo de \$208,250. El inventario final de producción en proceso del mes (IFPP) fue de 20,000 kilogramos de MP1, con 60% de avance en el COCO (ver figura 2). La unidad de producción es un kilogramo de producto terminado. Sin embargo, también se manejan las unidades en kilogramos, tanto para MP1 como para MP2. No se producen mermas ni desperdicios durante el proceso.

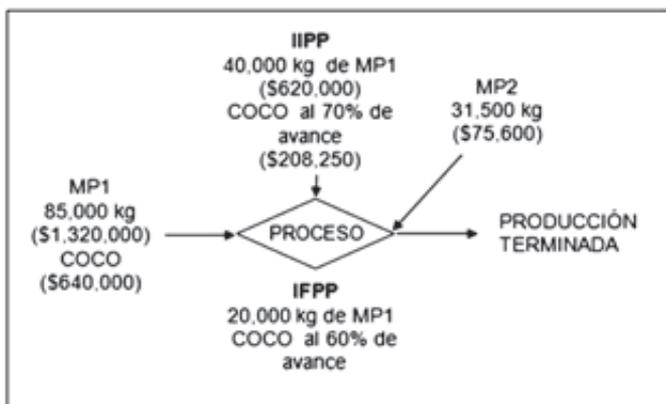


Fig. 2 Diagrama del caso específico de estudio

Finalmente, la determinación del costo de la producción terminada del período, así como del inventario final de producción en proceso se presenta en la figura 6.

	MP		COCO		COSTO TOTAL
	UE	COSTO	UE	COSTO	
UE producidas	85,000	\$1,320,000	89,000	\$640,000	\$1,960,000
+ UE del IIPP	40,000	620,000	28,000	208,250	828,250
= Total de UE	125,000	1,940,000	117,000	848,250	2,788,250
- UE del IFPP	20,000	310,400	12,000	87,000	397,400
= UE terminadas con MP1	105,000	1,629,600	105,000	761,250	2,390,850
+ UE aumentadas con MP2	31,500	75,600	31,500	0	75,600
= UE terminadas	136,500	\$1,705,200	136,500	\$761,250	\$2,466,450

Figura 6. Cédula final de unidades equivalentes y costos

De la figura 6 se desprenden los datos finales mostrados en la figura 7, generados por el procedimiento empleado.

Costo de la producción terminada:
Con sólo la mezcla de materiales MP1 = \$2,390,850 (para los 105,000 kg)
Con las dos mezclas de materiales MP1+MP2 = \$2,466,450 (para los 136,500 kg)
Costo del inventario final de producción en proceso = \$397,400 (sólo para MP1)
Costos promedio:
Costo promedio de producción por unidad terminada con los dos materiales = \$2,466,450/136,500 U.E. = \$18.06923077/kg de alimento balanceado
Costo promedio de producción por kg procesado de MP1 = \$22.77 (ver figura 5)
Costo de la materia prima MP2, por kg = \$75.600/31,500 kg = \$2.40

Figura 7. Costos generados por el procedimiento empleado

Observe que existe separación de costos entre lo referido a MP1 Y MP2. En las empresas que utilizan costos estándar, todos los costos de producción, en cada proceso, se calculan con relación a una unidad de producto terminado, un kg de alimento balanceado, en este caso. Así, por ejemplo, los costos unitarios de cada materia prima, por kg de producto final que se incurren en el mes, son comparados con sus respectivos estándares para efectos de evaluación en el uso de recursos. En este caso, con la información de costos generada por el procedimiento (figura 6) es necesario efectuar muchas operaciones adicionales para calcular los costos unitarios de cada elemento de producción, por kg de producto final (kg de alimento balanceado).

MÉTODO PROPUESTO

Modificaciones en las unidades físicas

El método alternativo requiere que, previo a los cálculos de costeo, la unidad equivalente sea modificada. La unidad equivalente será un kilogramo del producto final, el cual se compone de las materias primas MP1 y MP2. Como MP2 se incorpora siempre en cantidad exacta y proporcional con MP1 para obtener la producción terminada, se requiere saber la proporción que guarda esta última respecto de un kilogramo de producto final. En el ejemplo, se observa que para una producción terminada de 105,000 kilogramos de MP1 se incorporan 31,500 kilogramos de MP2 para obtener 136,500 kilogramos de producto final, de donde se desprende que MP1 representa, en peso, el 76.9230769



% del producto final (105,000/136,500)100, o bien, cada kilogramo de producto final contiene 0.769230769 kilogramos de MP1. MP2 interviene con 0.230769231 kilogramos, por kilogramo de producto final. Después, se transforman todas las unidades físicas del mes que contienen MP1, en función de unidades de producto terminado, como se observa en la figura 8.

Unidades físicas del IIPP = 40,000 kg / 0.769230769 Kg / unidad = 52,000
Unidades físicas agregadas en el mes = 85,000 kg / 0.769230769 Kg / ud = 110,500
Unidades físicas del IFPP = 20,000 kg / 0.769230769 Kg / ud = 26,000

Figura 8. Cédula de unidades físicas modificadas

Tomaremos a la materia prima agregada en el mes para explicar la transformación de las unidades físicas originales. En el procedimiento anterior, las materias primas se manejan en kilogramos: kilogramos de MP1, de MP2, y de producto final, y la vez se consideran unidades físicas, y las unidades equivalentes sólo tienen relación en los cálculos con MP1. En el método alternativo, MP1 y MP2, independientemente de que su control en producción sea en kilogramos, sus unidades físicas se definen con relación al producto final. Así, podemos decir que, al agregar en el mes 85,000 kilogramos de MP1, es igual que decir que se agregó tal cantidad de materia prima, suficiente para producir 110,500 unidades físicas de producto terminado al adicionar la MP2 en la proporción requerida. Las 110,500 unidades de producto terminado son, en realidad 110,500 kilogramos, ya que la unidad equivalente de referencia en este caso es un kilogramo de producto final. La interpretación de los inventarios de producción en proceso es similar

Una vez calculado lo anterior, el procedimiento de costeo se convierte en un caso común y corriente, siempre y cuando el 100% de MP1 se agregue al inicio, o al inicio y durante el proceso, y MP2 se agregue al final del mismo. El procedimiento alternativo se presenta a su vez en una forma más didáctica que facilita el aprendizaje y su utilización, toda vez que los cálculos se realizan por cada elemento informativo que se requiere: unidades físicas, unidades equivalentes, costos unitarios de producción, costo del inventario de producción en proceso, y costo de la producción terminada. En este procedimiento no se requiere conocer ni utilizar el por ciento de avance de los elementos del costo del inventario inicial de producción en proceso.

El procedimiento alterno también inicia con el cálculo de las unidades terminadas en el proceso (ver figura 9), pero considerando que todas las unidades agregadas y de los inventarios son referidas como unidades de producto final.

UNIDADES DEL IIPP	52.000
+ UNIDADES AGREGADAS	110.500
= UNIDADES DISPONIBLES	162.500
- UNIDADES DEL IFPP	26.000
= UNIDADES TERMINADAS	136.500

Figura 9. Cédula de unidades físicas involucradas en el proceso

Igualmente, el cálculo de las unidades equivalentes (ver figura 10) se efectúa considerando cada elemento del costo (MP1, MP2, y COCO) como parte del producto terminado.

	MATERIA PRIMA 1 MP1	MATERIA PRIMA 2 MP2	COSTO DE CONVERSIÓN COCO
PRODUCCIÓN TERMINADA + IFPP (26.000 unidades)	136.500	136.500	136.500
MATERIA PRIMA 1 100% DE AVANCE	26.000		
MATERIA PRIMA 2 0% DE AVANCE		0	
COSTO DE CONVERSIÓN 60% DE AVANCE			15.600
TOTAL DE UD. EQUIVALENTES	162.500	136.500	152.100

Figura 10. Cédula de unidades equivalentes

Los costos unitarios que se calculan en la figura 11 son por cada kg de producto terminado (unidad equivalente), es decir, por kg de alimento balanceado.

	COSTO DEL IIPP	COSTO AGREGADO	COSTO TOTAL	TOTAL DE UE	COSTO UNITARIO
MP1	\$620.000	\$1.320.000	\$1.940.000	162.500	\$11.93846154
MP2	0	75.600	75.600	136.500	0.55384615
COCO	208.250	640.000	848.250	152.100	5.57692307
TOTAL	\$828.250	\$2.035.600	\$2.863.850		\$18.06923077

Figura 11. Cédula del cálculo de los costos unitarios por unidad equivalente

Con los costos unitarios y las unidades equivalentes se determinan los costos de producción del inventario final y de la producción terminada (ver figuras 12 y 13).

	UE DEL INV. FINAL	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
MP1	26.000	\$11.93846154	\$310.400
MP2	0	0.55384615	0
COCO	15.600	5.57692307	87.000
TOTAL			\$397.400

Figura 12. Cédula del cálculo del costo del inventario final de producción en proceso

	UE DE LA PRODUCCIÓN TERMINADA	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
MP1	136.500	\$11.93846154	\$1.629.600
MP2	136.500	0.55384615	75.600
COCO	136.500	5.57692307	761.250
TOTAL			\$2.466.450

Figura 13. Cédula del cálculo del costo de la producción terminada

Como se observa en el cuadro comparativo (ver figura 14), el método propuesto proporciona, directamente, los costos promedio de las materias primas y del COCO

por kilogramo de producto final. La información que proporciona el método tradicional, el método propuesto permite calcularla con simples divisiones (columna 3 de la figura 14). Los valores calculados por el procedimiento alterno en lo correspondiente a los costos unitarios (columna 2 de la figura 14), son los que se compararían con sus correspondientes costos estándares para efectos de evaluación de resultados en cada período.

MÉTODO TRADICIONAL	MÉTODO PROPUESTO	
COSTOS PROMEDIO POR KG DE MP1 100% PROCESADA	COSTOS PROMEDIO POR UNIDAD (KG) DE PRODUCTO TERMINADO	COSTO POR KG DE MATERIAS PRIMAS EMPLEADAS Y DEL COCO POR CADA KG DE MP1
MP1 = \$15.52	MP1 = \$ 11.93846154	MP1 = \$11.93846154 / 0.769230769 MP1 = \$15.52
COCO = \$ 7.25	COCO = \$ 5.57692307	COCO = \$5.57692307 / 0.769230769 COCO = \$7.25
TOTAL = \$ 22.77	MP2 = \$ 0.55384615 TOTAL = \$ 18.06923077	MP2 = \$0.55384615 / 0.30769231 MP2 = \$2.40
COSTO POR KG DE MP2 = \$2.40	COSTO POR KG DE PRODUCTO TERMINADO = \$18.06923077	

Figura 14. Cuadro comparativo de la información que proporciona cada método

CONCLUSIONES

Los casos de producción en los que al adicionar más materiales al final de un proceso, el número de unidades de producto se incrementa, se han considerado como *casos especiales* para "el costeo de producción por procesos". Sin embargo, transformando las unidades involucradas en los procesos, realizando simples operaciones aritméticas, para que se conviertan en unidades de producto terminado, en todos y cada uno de los procesos de la línea de producción, estos casos dejan de ser *especiales*. Una vez efectuada la conversión de unidades, la información que se genera al aplicar la metodología deseada (PEPS, UEPS, o costo promedio) para el cálculo de los costos de producción de cada período, en cuanto a: la producción terminada o transferida, al inventario final de producción en proceso, y a los costos unitarios, estará referida en función de unidades de producto terminado. La información, así calculada, permite un mejor control de los costos unitarios de producción en todos y cada uno de sus elementos: materias primas, mano de obra, y gastos indirectos de fabricación, sobre todo cuando se utilizan costos estimados o estándares, en el cálculo, análisis y control de variaciones, toda vez que estos costos predeterminados se establecen para cada uno de los elementos del costo y por unidad de producto terminado. Los valores que proporciona el método tradicional en cada proceso, se pueden calcular fácilmente con simples operaciones aritméticas, con la información generada por el método propuesto.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Cuevas Villegas, Carlos F. (2001). *Contabilidad de costos; Enfoque gerencial y de gestión*, 2ª edición, Colombia, Prentice Hall.
- 2) Gayle, L. (1999). *Contabilidad y administración de costos*, 6ª edición. México. Mc Graw hill
- 3) Torres Salinas, A. (2004). *Contabilidad de Costos; Análisis para la toma de decisiones*, 2ª edición. México. Mc Graw hill.

IMPORTANCIA DE LOS BIOCERÁMICOS DE FOSFATOS DE CALCIO COMO SUSTITUTOS DEL TEJIDO ÓSEO

MARTÍN ANTONIO ENCINAS ROMERO

Dentro del campo de los biomateriales los biocerámicos ocupan un lugar importante como sustitutos de los tejidos duros, ya que poseen una buena biocompatibilidad y oseointegración, además, son los materiales más parecidos al componente mineral del hueso, por lo que sus expectativas de aplicación son muy amplias. En este trabajo se presenta una revisión sobre la importancia de los biocerámicos de fosfatos de calcio, desde el punto de vista de sus propiedades fisicoquímicas y biológicas, así como las diferentes interrelaciones entre ambas propiedades, las cuales ponen de manifiesto el gran potencial de estos compuestos como materiales de implante para la reparación y regeneración ósea.

DR. MARTÍN ANTONIO ENCINAS ROMERO
Correo: maencinas@iq.uson.mx
Departamento de Ingeniería Química y
Metalurgia.
Universidad de Sonora.



INTRODUCCIÓN

La sustitución ósea continúa siendo un problema pendiente hasta nuestros días, por lo cual se han desarrollado numerosas líneas de investigación que estudian la formulación y caracterización de diferentes biomateriales, que pueden tener utilidad para promover la regeneración del tejido óseo (1). Una gran diversidad de estos materiales a la fecha, se encuentran en aplicación clínica y otros más a nivel de investigación, para lograr superar las deficiencias que presentan los materiales de implante tradicionales. Dentro de este campo de estudio, los materiales que han resultado más promisorios como potenciales sustitutivos óseos continúan siendo los biomateriales cerámicos, y específicamente los cerámicos de fosfatos de calcio (2-7).

Los materiales cerámicos aunque frágiles, presentan una muy buena resistencia al desgaste y a las cargas compresivas. Además de lo anterior, los biocerámicos presentan buena biocompatibilidad.

Aunque hay una gran cantidad de biocerámicos, los compuestos basados en fosfatos de calcio, los cuales agrupan compuestos tales como hidroxiapatita (HA), fosfatos tricálcicos (α -TCP y β -TCP), fosfato dicálcico dihidratado (DCPD), fosfato dicálcico anhidro (DCPA) y fosfato tetracálcico (TTCP), son los más comúnmente utilizados, en especial HA, β -TCP y los compuestos bifásicos constituidos por una mezcla en proporción variable de HA y β -TCP. La razón principal es que presentan casi la misma composición química que el esqueleto de los vertebrados, permitiendo el intercambio de algunos iones cuando se encuentran en contacto con fluidos biológicos. Asimismo, presentan una excelente biocompatibilidad, y una vez que son introducidos en el cuerpo, pasado un cierto tiempo, ejercen una unión química con el hueso, llegando a incorporarse al tejido óseo.

Los cerámicos basados en fosfatos de calcio representan una familia de materiales cada uno presentando características fisicoquímicas específicas, dando como resultado propiedades biológicas variables, lo cual les confiere interés en mayor o menor medida, para utilizarse como materiales de sustitución ósea.

Los fosfatos de calcio de interés biológico son los ortofosfatos, sales del ácido ortofosfórico, las cuales se presentan en la Tabla I, en orden decreciente de su relación Ca/P (8-9).

Tabla I. Principales formulaciones de fosfatos de calcio

Nombre	Abreviatura	Fórmula	Ca/P
Fosfato tetracálcico	TTCP	$\text{Ca}_4(\text{PO}_4)_2$	2.0
Hidroxiapatita	HA	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$	1.67
Hidroxiapatita deficiente en calcio	CDHA	$\text{Ca}_9(\text{HPO}_4)_5(\text{OH})_2$	1.5
Fosfato de calcio amorfo	ACP	$\text{Ca}_{10-x}\text{H}_x(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$	1.5
Fosfato tricálcico (α , β)	TCP	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	1.5
Fosfato octacálcico	OCP	$\text{Ca}_8(\text{HPO}_4)_2(\text{PO}_4)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	1.33
Fosfato dicálcico (Monetita)	DCP	CaHPO_4	1.0
Fosfato dicálcico dihidratado (Brushita)	DCPD	$\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1.0
Fosfato monocálcico monohidratado	MCPM	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0.5

Fuente: R. Schenetter, J.P. Sthal, V. Alt, T. Pavlidis, E. Dingeldein and S. Wenisch. Calcium Phosphate-Based Bone Substitutes. European Journal of Trauma 2004. N°.4.219-229.

El empleo clínico de estos biomateriales se remonta a 1920, cuando Albee realizó la primera publicación respecto del uso satisfactorio de un fosfato de calcio en la restauración ósea. Sin embargo, la utilización efectiva de los cerámicos

de fosfato de calcio inició en la década de los ochenta. Dependiendo de la aplicación, se usan cerámicos bioactivos y/o reabsorbibles, para lo cual se utilizan diferentes fases de compuestos de fosfato de calcio (10).

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

El estudio de los cerámicos de fosfatos de calcio ha estado centrado en los compuestos del sistema ternario $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-H}_2\text{O}$, fundamentalmente la hidroxiapatita y el fosfato tricálcico. El comportamiento de los implantes constituidos por estos materiales depende de una variedad de factores, entre los que destacan la relación Ca/P, la estructura cristalina y la porosidad.

1. Características químicas

a) Composición química

El excelente comportamiento histológico de los fosfatos de calcio no es una sorpresa, ya que la hidroxiapatita es el componente mineral predominante de los huesos de los vertebrados, así como del esmalte dentario, constituyendo entre el 60% y el 70% del esqueleto humano calcificado y el 90% de la matriz ósea inorgánica. La fracción mineral de los huesos está compuesta de fosfatos de calcio organizados en forma de hidroxiapatita carbonatada del tipo B, una fase en la cual una parte de los iones PO_4^{3-} en la hidroxiapatita son sustituidos por iones CO_3^{2-} , caracterizada además por presentar una baja cristalinidad.

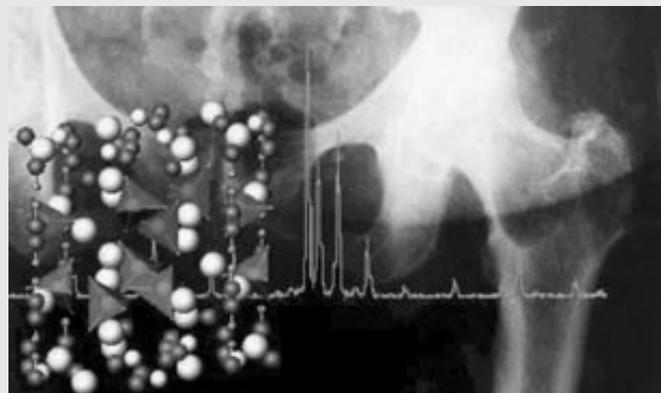
Algunos cerámicos fosfocálcicos sintéticos presentan estas características, en el sentido de que los componentes principales son los iones calcio Ca^{2+} e iones fosfato PO_4^{3-} . La principal diferencia con las apatitas biológicas, es la presencia en estas últimas, de múltiples sustituciones iónicas (CO_3^{2-} , Mg^{2+} , Na^+) o deficiencias atómicas en calcio (11, 12).

b) Solubilidad en fluidos biológicos

La propiedad más importante de los fosfatos de calcio es probablemente su solubilidad, ya que en función de ésta se puede predecir el comportamiento in vivo de estos materiales. Si la solubilidad de un fosfato de calcio, es menor que la parte mineral del hueso, éste se degradará muy lentamente, por ejemplo la hidroxiapatita. Por otro lado, si su solubilidad es mayor que la parte mineral del hueso, éste se degradará rápidamente. Por consiguiente, con la evaluación de esta propiedad, se puede predecir el comportamiento de degradación in vivo de estos materiales, el cual sigue un orden de acuerdo con la siguiente escala (a pH 7.4):

$\text{TTCP} > \text{MCPM} > \alpha\text{-TCP} > \text{DCPD} > \text{DCP} > \text{OCP} > \beta\text{-TCP} > \text{HA}$

Sin embargo, la superficie de un fosfato de calcio altamente soluble puede ser reactiva y se puede cubrir con un fosfato de calcio débilmente soluble, reduciendo así su velocidad de degradación.



Tanto in vitro como in vivo, los fosfatos de calcio son solubles en fluidos biológicos. Esta solubilidad depende de su composición química y sus propiedades físicas. Los β -TCP son más solubles que la HA, esta última considerada como la menos soluble de los cerámicos fosfocálcicos. Asimismo, la solubilidad de las mezclas bifásicas es controlada por la relación de HA/ β -TCP (12, 13).

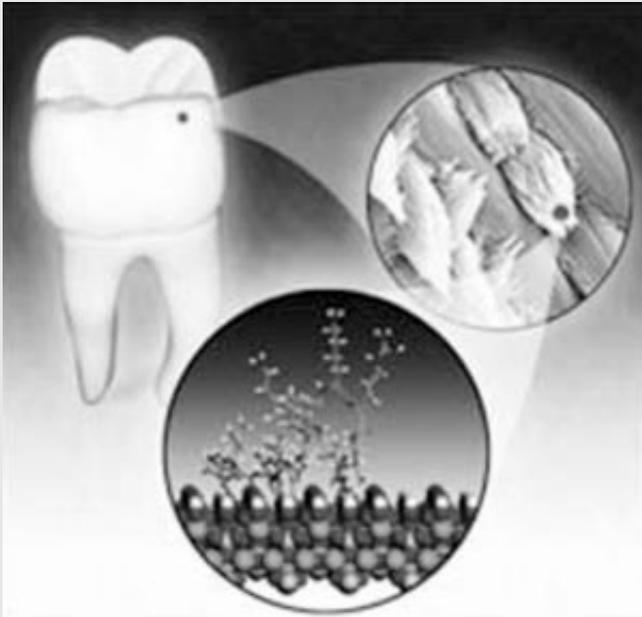
Las fases estables de estos biocerámicos dependen considerablemente de la temperatura y de la presencia de agua, tanto en la etapa de su procesamiento como en el medio donde luego se utilizarán. Asimismo, es importante entender la estrecha dependencia existente entre la relación Ca/P, pH y solubilidad. Así tenemos que, mientras menor sea la relación Ca/P, mayor es la acidez y solubilidad de la muestra. Para relaciones $\text{Ca/P} < 1$, tanto acidez como solubilidad presentan valores muy elevados. Por otro lado, estos parámetros disminuyen bastante para relaciones Ca/P próximos al valor de 1.67, el cual corresponde al valor de la hidroxiapatita estequiométrica, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$.

La hidroxiapatita corresponde al cerámico de fosfato de calcio menos soluble y se reabsorbe lentamente en aproximadamente un 1% de su volumen por año desde su implantación. El fosfato tricálcico no es un componente natural del tejido óseo y tiene la característica de ser un cerámico más soluble en los fluidos corporales que la hidroxiapatita, por lo que su reabsorción es entre 10 a 20 veces más rápida (dependiendo del pH del medio). Sin embargo, el volumen de hueso neoformado que se encarga de sustituirlo es menor que el de fosfato tricálcico degradado. Su alta capacidad de remodelación debilita precozmente su resistencia mecánica, razón por la cual para su utilización en clínica se le debe asociar con otros materiales menos reabsorbibles o que posean potencial osteoinductivo.

Evaluar la solubilidad de estos materiales es importante, ya que permite la posibilidad de que estos materiales sean reemplazados progresivamente por el hueso, mientras se biodegradan (13-15).

2. Características físicas

Después de la síntesis química de fosfatos de calcio, éstos generalmente se presentan en forma de polvos.



En ocasiones, antes de su aplicación deben someterse a un proceso de acabado final, el cual permita definir sus características físicas, para conocer: (1) estructura cristalina y cristalinidad, (2) porosidad y (3) forma física. Este proceso denominado sinterización, consiste en calentar ($T < 900^{\circ}\text{C}$) y luego calentar (entre 1100°C y 1300°C) el polvo comprimido. Bajo el efecto de la presión y la temperatura, las juntas de grano de los cristales de polvo se unen, logrando con esto mejores características en las propiedades mecánicas así como una estructura densificada. Sin embargo, los problemas de adaptación y fijación de los cerámicos de fosfatos de calcio convencionales han llevado a la elaboración de biomateriales cerámicos capaces de fraguar a temperatura ambiente, a partir de la reacción de una fase sólida en polvo y una fase líquida, consiguiéndose la formulación de los cementos óseos de fosfatos de calcio (9, 11, 15).

a) Estructura cristalina y cristalinidad

En función de las condiciones de preparación, un mismo compuesto químico puede presentar diferente estructura cristalina y cristalinidad, modificando con ello su solubilidad. Por ejemplo, el fosfato tricálcico (TCP) puede presentar dos estructuras cristalinas diferentes: la fase α (α -TCP) y la fase β (β -TCP). Con gran solubilidad, la fase α se degrada mucho más rápido, en relación con la cinética de colonización de células óseas. Por tal razón, sólo la fase β es utilizada en aplicaciones ortopédicas.

La cristalinidad, propiedad que refleja el tamaño y la perfección de los cristales, también modifica la solubilidad de estos cerámicos. Los cristales de tamaño pequeño presentan defectos cristalográficos lo cual hace que se disuelvan más rápidamente en relación con los cristales voluminosos los cuales presentan menos imperfecciones cristalográficas (9, 11, 15).

b) Porosidad

De acuerdo con las condiciones de preparación existen dos tipos de porosidad dentro de los cerámicos, la microporosidad y la macroporosidad. La microporosidad corresponde a los espacios que existen entre los cristales de los cerámicos, los cuales corresponden a un tamaño entre $1\ \mu\text{m}$ y $10\ \mu\text{m}$ de diámetro. Estos espacios no pueden ser colonizados por células óseas, únicamente se distribuyen dentro de ellos los fluidos biológicos. La macroporosidad, se traduce en la presencia de poros calibrados en el material, los cuales resultan por la adición de un agente generador de poros durante el proceso de sinterización. Contrario a los microporos, presentan un diámetro que se extiende entre $100\ \mu\text{m}$ y $600\ \mu\text{m}$, lo cual permite la colonización por las células óseas, a partir de lo cual se produce el crecimiento óseo en los intersticios del implante (12).

La solubilidad, tendencia a la reabsorción y propiedades mecánicas de los cerámicos de fosfatos de calcio dependen de la relación Ca/P y de su microestructura, es decir, de la porosidad del material. Una porosidad alta aumenta la solubilidad del material y con ello la actividad biológica. Sin embargo, una alta porosidad deteriora las propiedades mecánicas. Las variaciones en la microporosidad tienen mayor influencia en la resistencia a la tracción que a la compresión, por lo que los cerámicos de fosfatos cálcicos son bastantes frágiles, (Tabla II).

El comportamiento mecánico de las cerámicas de fosfato de calcio influye enormemente en sus aplicaciones como implantes. Tanto la resistencia a tensión como a compresión y a la fatiga dependen del volumen total de porosidad del material. Estos biomateriales no se pueden emplear en áreas sometidas a fuerzas de torsión, flexión y cizalladura, por lo que estos inconvenientes deben ser neutralizados mediante osteosíntesis, hasta que la neoformación ósea incremente su resistencia a niveles similares a la del hueso contiguo (9, 11, 15).

Lo ideal es encontrar la porosidad óptima en estos materiales, la cual permita preservar una invasión celular y obtener con ello una buena colonización ósea, mientras se mantienen propiedades mecánicas adecuadas, permitiendo con ello, el uso generalizado de estos materiales en cirugía ortopédica.

Por otro lado, la reabsorción o biodegradación de las cerámicas de fosfatos cálcicos puede ser originada por disolución fisicoquímica, que depende del tipo de material y del pH del medio, y por desintegración física en forma de pequeñas partículas a causa de un ataque químico. Los factores que aumentan la tasa de biodegradación de estos materiales son el aumento del área superficial, la disminución de la cristalinidad y homogeneidad de los cristales, la disminución del tamaño del grano y las sustituciones iónicas con CO_3^{-2} , Mg^{2+} o Sr^{2+} . Los factores que disminuyen la biodegradación son la existencia de flúor en la hidroxiapatita, la presencia de Mg^{2+} en el fosfato tricálcico y la disminución de la relación HA/ β -TCP en los

compuestos bifásicos. Todo lo anterior hace necesario tener un buen control de la microestructura, el tipo de fases y la composición química de las cerámicas de fosfatos de calcio para obtener la tasa de reabsorción requerida (10, 12, 14, 15).

Tabla II. Propiedades mecánicas del hueso y cerámicos de fosfatos de calcio

Material	Resistencia a la Compresión (MPa)	Resistencia a la Tensión (MPa)	Módulo de Young (10^3 MPa)
Hueso			
Hueso Cortical	200	100	20
Hueso Esponjoso	60-90	5.0	1
Fosfatos de Calcio			
Porosos	10-100	3.6	-
Densos	300-1300	100-280	50-150

Fuente: E. Goyenville, O. Gauthier, J. M. Boulter, J. C. Le Nihouannen, G. Daculsi et E. Aguado. Intérêts et limites des céramiques phosphocalciques en chirurgie orthopédique vétérinaire. *Revue Méd. Vét.*, 2000, 151, 4, 291-302.

c) Forma física

Las presentaciones de estos materiales se adaptan a las necesidades propias de la cirugía ortopédica, generalmente son en forma de bloques o gránulos. Actualmente, los cerámicos de fosfatos de calcio se emplean como implantes porosos, gránulos o polvos para el relleno de cavidades óseas en áreas sin soporte de carga, como pequeños implantes densos en el oído medio, como recubrimiento sobre implantes metálicos y como fase bioactiva en materiales compuestos. El mecanismo de enlace con el hueso se establece directamente por el crecimiento de pequeños cristales de apatitas biológicas sobre el implante.

Las características fisicoquímicas de los cerámicos fosfo-cálcicos son esenciales para su actividad biológica, condicionan su solubilidad y así sus interacciones con el ambiente que los rodea, en función de las dos propiedades biológicas más importantes: la biocompatibilidad y la bioactividad (10, 14).

PROPIEDADES BIOLÓGICAS

1. Biocompatibilidad

La biocompatibilidad se puede definir como la tolerancia biológica local de cualquier biomaterial, caracterizada por la ausencia de una respuesta inflamatoria aguda o crónica durante su implantación e incorporación, así como por la carencia de efectos nocivos sobre tejidos distantes. Biocompatibilidad se puede denominar más

correctamente como una "aceptabilidad biológica", que corresponde a la interacción de los biomateriales con los tejidos susceptibles de estar en contacto con ellos.

En este sentido, la hidroxiapatita muestra un perfil biológico muy atractivo. Este perfil incluye la ausencia de toxicidad tanto local como sistémica, ausencia de procesos inflamatorios, pirogénicos y de cualquier otra respuesta adversa por parte del organismo, al aplicarla tanto en las formas sólidas como en las particuladas. Así, por ejemplo, los cultivos celulares de fibroblastos no se ven afectados de forma distinta por la introducción de placas de titanio con o sin recubrimiento de hidroxiapatita. Este perfil probablemente se puede generalizar para todos los materiales de implante basados en fosfatos de calcio. Esta compatibilidad biológica se debe a la naturaleza química de los fosfatos de calcio, ya que los iones calcio e iones fosfato disueltos a partir de estos materiales se integran al sistema regulador del organismo y son manejados de manera normal.

2. Bioactividad

Capacidad de un material para inducir, estimular, provocar o modular una acción biológica definida en el tejido receptor. Así, un material bioactivo es aquel que posibilita una respuesta biológica específica en su interfase con los tejidos, favoreciendo el enlace de ambos.

De forma general, la bioactividad en los materiales cerámicos fosfo-cálcicos, sigue la misma secuencia de eventos biológicos. Sin embargo, no todos presentan la misma reactividad. El principal factor de bioactividad es sin duda, la solubilidad del material, la cual está fuertemente ligada con sus propiedades fisicoquímicas. Sin embargo, la cinética de biodegradación/bioreabsorción de estos materiales de implante no debe ser tan rápida que no permita la colonización de los macroporos por las células osteoblásticas, repercutiendo con esto en la estabilidad del implante y en la producción del hueso neoformado (11-13).

A pesar de la capacidad de estos materiales de desintegrarse progresivamente, sus características mecánicas se ven mejoradas luego de su implantación, debido a: (1) la precipitación de apatitas biológicas dentro de los microporos, (2) el desarrollo de tejido óseo neoformado dentro de los macroporos. En efecto, las nuevas propiedades mecánicas observadas son las de un material compuesto formado por el implante cerámico modificado y el hueso neoformado.

CONCLUSIONES

Los materiales biocerámicos se pueden considerar como los biomateriales ideales para promover la regeneración del tejido óseo, ya que poseen una buena biocompatibilidad y oseointegración, a su vez, son los materiales más parecidos al componente mineral de los huesos, y aunque frágiles, presentan una muy buena resistencia al desgaste y a las cargas compresivas.



En este sentido, se puede pensar en reforzar los materiales cerámicos, procesando materiales compuestos para mejorar sus propiedades mecánicas pobres, logrando con ello, materiales que puedan conducir a la regeneración del hueso teniendo a su vez, características mecánicas aceptables sin detrimento de sus propiedades bioactivas.

De los diferentes cerámicos fosfo-cálcicos utilizados en cirugía ortopédica mostrados en la Tabla I, las combinaciones bifásicas de compuestos macroporosos han representado una alternativa interesante, ya que desarrollan una cinética de degradación compatible con una cinética de la colonización ósea. Así desde hace 15 años, estos materiales se usan extensivamente como materiales de sustitución ósea, con una eficacia clínica reconocida.

La hidroxiapatita es un biocerámico bioactivo, su superficie es reactiva y se enlaza directamente al hueso; es una de las más utilizadas en aplicaciones biomédicas como implante óseo, como recubrimiento de metales bioinertes para mejorar su biocompatibilidad y como liberador controlado de fármacos. En los últimos años, el desarrollo y uso de biocerámicos con estructuras porosas ha dado un giro en el área de implantes óseos permitiendo la remodelación y reparación fisiológica del hueso. Sus aplicaciones incluyen implantes dentales, sistemas percutáneos, tratamientos periodontales, aumento de la cresta alveolar, ortopedia, cirugía maxilofacial, otorrinolaringología, cirugía plástica y cirugía espinal, entre otras.

Investigadores del Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad de Sonora, en colaboración con investigadores del Centro de Nanociencias y Nanotecnología de la UNAM unidad Ensenada, trabajan en proyectos relacionados con la síntesis y caracterización de biocerámicos de fosfatos de calcio, para lograr productos finales con características óptimas para requerimientos específicos en aplicaciones clínicas. Asimismo, se estudia la formulación de diversos biocompósitos de fosfatos y silicatos de calcio, con el fin de proponer nuevos materiales, que ofrezcan una

buena conjugación de propiedades mecánicas y bioactivas, lo cual les permita tener posibilidades de ser utilizados para la sustitución y/o regeneración de los tejidos duros del organismo.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Malchesky P. S., *Artificial Organs 2003: A Year in Review*. Artif Organs, Vol. 28, No. 4, (2004) 410-428.
- 2) Brash J. L., *Biomaterials in Canada: The first four decades*. Biomaterials 26 (2005) 7209-7220.
- 3) Katti K. S., *Biomaterials in total joint replacement*. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 39 (2004) 133-142.
- 4) Schenetter R., Stal J. P., Alt V., Pavlidis T., Dingeldein E. and Wenisch S *Calcium Phosphate-Based Bone Substitutes*. European Journal of Trauma, 4 (2004) 219-229.
- 5) Legeros Z. *Calcium phosphate materials in restorative dentistry: a review*. Adv Dent Res., 2(1) (1998) 164-180.
- 6) Vallet-Regí M. *Ceramics for medical applications*. J. Chem. Soc., Dalton Trans., (2001) 97-108.
- 7) Wopenka B., Pasteris J. D. *A mineralogical perspective on the apatite in bone*. Materials Science and Engineering C 25 (2005) 131-143.
- 8) Khon M. J., Rakovan J. and Hughes J.M. editors. *Phosphates: Geochemical, Geobiological and Materials Importance*. Reviews in Mineralogy and Geochemistry. The mineral Society of America. Volume 48 (2002). ISBN 0-939950-60-x, pp 631-672.
- 9) R. Schenetter, J.P. Stal, V. Alt, T. Pavlidis, E. Dingeldein and S. Wenisch. *Calcium Phosphate-Based Bone Substitutes*. European Journal of Trauma 2004. N°4.219-229.
- 10) L. L. Hench, J. Wilson, editors. *Introduction to bioceramics*. Singapore: World Scientific, 1993. Chapters 1, 2, 9, 10, 12 & 15.
- 11) Jarcho M. *Calcium phosphate ceramics as hard tissue prosthetics*. Clin.Orthop 1981; 259-278.
- 12) E. Goyenvalle, O. Gauthier, J. M. Boulter, J. C. Le Nihouannen, G. Daculsi et E. Aguado. *Intérêts et limites des céramiques phosphocalciques en chirurgie orthopédique vétérinaire*. Revue Méd. Vét., 2000, 151, 4, 291-302.
- 13) Driessens F, Verbeeck R. *Relation between physico-chemical solubility and biodegradability of calcium phosphates*. In: de Putter C, de Lange GL, de Groot K, Lee AJC, eds. *Implant materials in biofunction*. Advances in Biomaterials. Amsterdam: Elsevier 1988:48-52.
- 14) Vallet-Regi M. *Ceramics for medical applications*. Journal of the Chemical Society-Dalton Transactions 2001; (2):97-108.
- 15) Hench LL. *Bioceramics: From concept to clinic*. Journal of the American Ceramic Society 1991; 74(7):1487-1510.



TUBERCULOSIS: Enfermedad milenaria que requiere de una nueva vacuna

ADRIANA GARIBAY ESCOBAR,
PAOLA DEL CARMEN GASTÉLUM AVIÑA

*La tuberculosis -ocasionada por la bacteria *M. tuberculosis*- es una de las enfermedades más antiguas padecidas por el ser humano. Se estima que la tuberculosis provoca la muerte de casi dos millones de personas en el mundo al año, esto a pesar de existir una vacuna, la BCG. Actualmente se realizan esfuerzos para el desarrollo de vacunas más efectivas y seguras contra la tuberculosis, ya que la BCG no confiere protección en la etapa adulta. Con el desarrollo de vacunas a base de subunidades, es posible inducir similar protección que con las elaboradas con la micobacteria completa y pueden ser aplicadas incluso a individuos inmunocomprometidos tales como pacientes con SIDA.*

DRA. ADRIANA GARIBAY ESCOBAR
Correo: agaribay@guayacan.uson.mx
Departamento de Ciencias Químico Biológicas
de la Universidad de Sonora.
M. C. PAOLA DEL CARMEN GASTÉLUM AVIÑA
Correo: pga88@hotmail.com
Área de Biotecnología del Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON).

TUBERCULOSIS. ENFERMEDAD MILENARIA

La tuberculosis es una de las enfermedades más antiguas padecidas por el ser humano y es causada principalmente por *Mycobacterium tuberculosis* (1). Existen evidencias de tuberculosis en restos neolíticos precolombinos y en momias egipcias que datan de 700 a 2 400 años antes de Cristo (2) (Fig. 1). Sin embargo, fue hasta 1882 cuando el bacteriólogo alemán Robert Koch (Fig. 2) identificó a *M. tuberculosis* como el agente causal de la enfermedad, razón por la cual a este patógeno se le conoce también como bacilo de Koch (3) (Fig. 3).



Figura 1. Momia precolombina que data de 700 A.C. en cuyos huesos se encontraron lesiones de posibles huellas de tuberculosis.

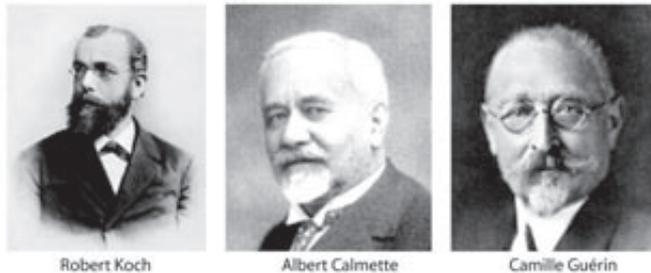


Figura 2. Fotografías de Robert Koch, Albert Calmette y Camille Guérin, grandes investigadores en el campo de la tuberculosis.



Figura 3. Microscopía electrónica de barrido de *M. tuberculosis* o bacilo de Koch.

La Organización Mundial de la Salud estima que la tuberculosis provoca la muerte de casi dos millones de personas en el mundo cada año y ocurren casi 9 millones

de nuevos casos principalmente en los países en donde el acceso a los sistemas de salud es sumamente difícil (4).

El incremento de la tuberculosis durante los últimos años se debe a diferentes factores entre los que destacan: la crisis económica, las inmunodeficiencias, la inadecuada conducción del tratamiento, la aparición de cepas micobacterianas multidrogasresistentes y la epidemia del SIDA. En el caso del SIDA, la tuberculosis se atribuye principalmente a la reactivación de la infección latente, que pone de manifiesto la gran importancia que la respuesta inmunitaria tiene en el control de la tuberculosis (5). Además, la vacunación con el bacilo de Calmette-Guérin (BCG), única vacuna utilizada contra la tuberculosis, no ha sido completamente eficiente en la prevención de la tuberculosis en adultos, ya que su eficacia es bastante variable (0-80%), especialmente en zonas endémicas (5). De tal manera que, el diseño de nuevas vacunas en contra de la tuberculosis es primordial para combatir dicha enfermedad.

LA VACUNA BCG CONTRA LA TUBERCULOSIS

La historia de la vacuna BCG inició en 1908 cuando Albert Calmette y Camille Guérin (Fig. 2) iniciaron su trabajo de investigación con una cepa de *Mycobacterium bovis* aislada de una vaca que padeció *mastitis tuberculosa*. Estos investigadores llevaron a cabo el subcultivo sucesivo de la bacteria cada tres semanas y en 1921, después de 13 años y 230 subcultivos se percataron que *M. bovis* BCG había perdido su virulencia para los animales y humanos (6, 7). De tal manera que la administraron oralmente como vacuna a niños con un alto riesgo de desarrollar tuberculosis, como hijos de padres enfermos o niños en extrema pobreza y desnutrición. El resultado fue que sólo 3.9% de los niños vacunados falleció de tuberculosis, comparado con 32.6% de muertes esperadas por la enfermedad (8).

La BCG es una vacuna relativamente segura y de las más aplicadas en el mundo debido a su bajo costo. Es muy efectiva confiriendo protección contra formas severas de tuberculosis infantil, no así en el caso de adultos de países donde la tuberculosis es endémica (5). El espectro de protección de la BCG es muy variable y puede verse afectado en el caso de pacientes con SIDA (9). La eficacia de la BCG varía enormemente entre las diferentes poblaciones, de tal manera que el espectro de protección puede ir desde 0% como en la India hasta 80% como en Inglaterra, países cuyas poblaciones son muy diferentes genéticamente (10). La eficacia de la BCG se ha discutido ampliamente por la comunidad científica y es motivo de un gran debate.

Por lo anterior, actualmente se realizan diversas investigaciones para desarrollar vacunas más efectivas y seguras contra la tuberculosis. Estas vacunas están siendo generadas con nuevas estrategias y el principio básico para conferir protección consiste en inducir una respuesta inmunitaria efectiva con riesgos nulos para el vacunado (11, 12).

El tipo de inmunidad que el individuo promueva para eliminar a los microorganismos dependerá en gran medida de éstos, y en el caso de *M. tuberculosis* es la respuesta celular la más conveniente (13-16) (Fig. 4).

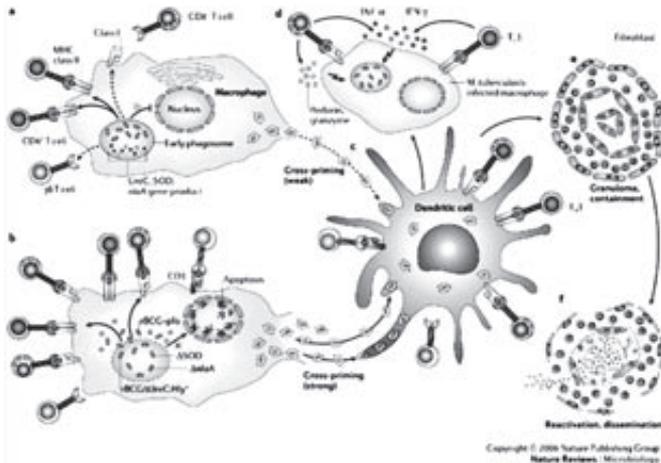


Figura 4. La respuesta inmunitaria contra *M. tuberculosis* resulta en una amplia variedad de interacciones celulares que eliminan a esta bacteria.

El conocimiento profundo de los mecanismos implicados en la inducción de la respuesta inmunitaria, es requerido para el desarrollo de nuevas vacunas.

DESARROLLO DE UNA NUEVA VACUNA CONTRA LA TUBERCULOSIS

A la fecha, son dos los enfoques que se han utilizado para el diseño de una nueva vacuna contra la tuberculosis: 1) vacunas de cepas de BCG manipuladas genéticamente, o cepas de *M. tuberculosis* atenuadas producidas por mutagénesis y delección de genes de virulencia (17); y, 2) vacunas de subunidades micobacterianas (proteínas recombinantes y vectores virales, y vacunas de DNA) que expresan antígenos de *M. tuberculosis* (18).

Se asume que con estas subunidades, es posible inducir similar protección que con la bacteria completa, generando así vacunas seguras, reproducibles y sin problemas para aplicarse en individuos inmunocomprometidos (17). De éstas, son tres vacunas con la que se cuenta actualmente: una vacuna recombinante modificada con el virus Ankara que expresa la subunidad 85A (MVA85A) (19); la otra, generada a partir de una proteína de fusión con las subunidades ESAT-6 y 85B (híbrido 1) (20); y, finalmente una vacuna elaborada con la proteína de fusión que contiene las subunidades de proteínas de 32 y 39 Kda (72f) (21).

Debido al amplio espectro de individuos susceptibles de proteger contra la tuberculosis: infectados o no con el virus de la inmunodeficiencia humana; infectados o no con *M. tuberculosis*; vacunados o no con el BCG; e

individuos con alto o bajo riesgo de exposición, es posible que una sola vacuna no sea suficiente (3). De tal manera que las estrategias basadas en la combinación de vacunas es promisorias. Para ello, el estudio de las proteínas de *M. tuberculosis* es un paso crítico en el desarrollo de nuevas vacunas que protejan a diversas poblaciones (22).

Recientemente se han identificado un grupo de proteínas en la superficie de *M. tuberculosis* codificadas por los genes de la familia PE/PE_PGRS consideradas como la mayor fuente de variabilidad genética de *M. tuberculosis*, pero cuya función aún no se conoce cabalmente (23).

Variantes polimórficas de las proteínas PE_PGRS (PE_PGRS33 (Rv1818c)) han sido asociadas con diferentes características clínicas y epidemiológicas de la tuberculosis sugiriendo para ellas un importante papel en la persistencia de la enfermedad (24). Además, la infección de ratones reveló que la región PE de Rv1818c fue capaz de inducir una respuesta inmunitaria celular efectiva, mientras que el dominio PGRS indujo una fuerte respuesta humoral (25). Trabajos recientes han sugerido que la expresión de Rv1818c confiere a la cepa no patogénica *M. smegmatis* características de virulencia, entre la que destaca una sobrevivencia incrementada (26). Asimismo, la evaluación de la respuesta de células T (células inmunitarias) a péptidos derivados de las proteínas PE_PGRS y PE/PPE, sugiere para éstas una actividad protectora en contra de *M. tuberculosis* en ratón. Se encontró también que los péptidos nonaméricos (6-14 y 385-393) de Rv1818c fueron capaces de inducir la producción de IFN- γ por las células de animales inmunizados con DNA Rv1818c (26). Un hallazgo muy importante de la Dra. Espitia y col. es el que mostró que el dominio PGRS del antígeno PE_PGRS Rv1759c resultó eficiente en la prevención de la reactivación de la tuberculosis latente, induciendo además la producción de IFN- γ (27).

Considerando todas estas características de las proteínas PE_PGRS de *M. tuberculosis*, es claro que juegan un papel importante en la respuesta inmunitaria en tuberculosis y representan una alternativa para el desarrollo de una nueva vacuna contra dicha enfermedad.

Según Rylance y col. (28) dentro del campo de la investigación científica en tuberculosis se está trabajando prioritariamente en el desarrollo de fármacos, diagnóstico y epidemiología, y en menor escala en el diseño de vacunas. Pensamos que la vacunación es aún la medida sanitaria más efectiva para el control de las enfermedades infecciosas por lo que es importante redoblar los esfuerzos dirigidos a la búsqueda de nuevas alternativas de inmunización contra la tuberculosis.

Actualmente en la Universidad de Sonora se están desarrollando varios proyectos de investigación con el objetivo de desarrollar nuevas vacunas. Específicamente el Cuerpo Académico Biología y Bioquímica (CABB) del Departamento de Ciencias Químico Biológicas (DCQB) está trabajando en la caracterización bioquímica e inmunológica de la proteína PE_PGRS33 (Rv1818C) de *M.*

tuberculosis, con el fin de contribuir en el diseño de vacunas de nueva generación para la tuberculosis. Este proyecto se está realizando en colaboración con el Departamento de Inmunología del Instituto de Ciencias Biomédicas de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y con el apoyo financiero del CONACyT.

Agradecimiento:

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) convocatoria 2007, proyecto 000000000083224.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Rom, W., Garay S. 2004. Tuberculosis. 2nd. ed. Lippincott Williams & Wilkins. USA. 994 pp.
- 2) Taylor GM, Murphy E, Hopkins R, Rutland P, Chistov Y. 2007. First report of *Mycobacterium bovis* DNA in human remains from the Iron Age. *Microbiology*. 153:1243-9
- 3) Kaufmann SH, Schaible UE. 2005. 100th anniversary of Robert Koch's Nobel Prize for the discovery of the tubercle bacillus. *Trends Microbiol*. 13:469-75.
- 4) <http://www.who.int/topics/tuberculosis/en/>
- 5) Andersen P, Doherty TM. 2005. The success and failure of BCG: implications for a novel tuberculosis vaccine. *Nat Rev Microbiol*. 3:656-62.
- 6) <http://www.pasteur.fr/infosci/archives/cal0.html>
- 7) <http://www.pasteur.fr/infosci/archives/gue0.html>
- 8) Calmette A. 1927. La vaccination preventive contra la tuberculosis. Paris: Masson et Cie.
- 9) Moss WJ, Clements CJ, Halsey NA. 2003. Immunization of children at risk of infection with human immunodeficiency virus. *Bull World Health Organ*. 81:61-70.
- 10) Dam HG, Pio A. 1982. Pathogenesis of tuberculosis and effectiveness of BCG vaccination. *Tubercle*. 63:225-33.
- 11) Kaufmann SH, Hussey G, Lambert PH. 2010. New vaccines for tuberculosis. *Lancet*. 12:2110-20.
- 12) Parida SK, Kaufmann SH. 2010. Novel tuberculosis vaccines on the horizon. *Curr Opin Immunol*. 22:374-84.
- 13) Abbas, AK, Lichtman AH, Pillai S. 2007. Cellular and Molecular Immunology. 6th. ed. Saunders. USA. 566 pp.
- 14) Ellner JJ. 2010. Immunoregulation in TB: observations and implications. *Clin Transl Sci*. 3:23-8.
- 15) Dawn N, Flynn JL. 2004. Interleukin-12 therapy reduces the number of immune cells and pathology in lungs of mice infected with *Mycobacterium tuberculosis*. *Infect Immun*. 72:2976-88.
- 16) Pedroza-González A, García-Romo G, Aguilar-León D, Calderón-Amador J, Hurtado-Ortiz R, Orozco-Estevez H, Lambrecht BN, Estrada-García I, Hernández-Pando R, Flores-Romo L. 2004. In situ analysis of lung antigen-presenting cells during murine pulmonary infection with virulent *Mycobacterium tuberculosis*. *Int J Exp Pathol*. 85:135-45.
- 17) Britton WJ, Palendira U. 2003. Improving vaccines against tuberculosis. *Immunol Cell Biol*. 81:34-45.
- 18) Fattorini L. 2007. Strategies for the development of new tuberculosis vaccines. *Minerva Med*. 98:109-19
- 19) McShane H, Pathan AA, Sander CR, Keating SM, Gilbert SC, Huygen K, Fletcher HA, Hill AV. 2004. Recombinant modified vaccinia virus Ankara expressing antigen 85A boost BCG-primed and naturally acquired antimycobacterial immunity in humans. *Nat Med*. 10:1240-44.
- 20) Agger EM, Rosenkrands I, Olsen AW, Hatch G, Williams A, Kritsch C, Lingnau K, von Gabain A, Andersen CS, Korsholm KS, Andersen P. 2006. Protective immunity to tuberculosis with

Ag85B-ESAT-6 in a synthetic cationic adjuvant system IC31. *Vaccine*. 24:5452-69.

- 21) Irwin SM, Izzo AA, Dow SW, Skeiky YA, Reed SG, Alderson MR, Orme IM. 2005. Tracking antigen-specific CD8 T lymphocytes in the lungs of mice vaccinated with the Mtb72F polyprotein. *Infect Immun*. 73:5809-16.
- 22) Chaitra MG, Shaila MS, Nayak R. 2007. Evaluation of T-cell response to peptides with MHC-class I-binding motifs derived from PE_PGRS33 protein of *Mycobacterium tuberculosis*. *J Med Microbiol*. 56:466-74.
- 23) Karboul A, Gey van Pittius NC, Namouchi A, Vincent V, Sola C, Rastogi N, Suffys P, Fabre M, Cataldi A, Huard RC, Kurepina N, Kreiswirth B, Ho JL, Gutierrez MC, Mardassi H. 2006. Insights into the evolutionary history of tubercle bacilli as disclosed by genetic rearrangements within a PE_PGRS duplicated gene pair. *BMC Evol Biol*. 6:107-12.
- 24) Talarico S, Cave MD, Foxman B, Marrs CF, Zhang L, Bates JH, Yang Z. 2007. Association of *M. tuberculosis* PE_PGRS33 polymorphism with clinical and epidemiological characteristics. *Tuberculosis (Edinb)*. 87:338-46.
- 25) Delogu G and Brennan MJ. 2001. Comparative immune response to PE and PE_PGRS antigens of *M. tuberculosis*. *Infect Immun*. 69: 5606-11.
- 26) Dheenadhayalan V, Delogu G, Sanguinetti M, Fadda G, Brennan MJ. 2006. Variable expression patterns of *Mycobacterium tuberculosis* PE_PGRS genes: evidence that PE_PGRS16 and PE_PGRS26 are inversely regulated in vivo. *J Bacteriol*. 188:3721-5.
- 27) Campuzano J, Aguilar D, Arriaga K, León JC, Salas-Rangel LP, González-y-Merchand J, Hernández-Pando R, Espitia C. 2007. The PGRS domain of *Mycobacterium tuberculosis*. PE_PGRS Rv1759c antigen is an efficient subunit vaccine to prevent reactivation in a murine model of chronic tuberculosis. *Vaccine*. 25:3722-29.
- 28) Rylance J, Paic M, Lienhardt C, Garner P. 2010. Priorities for tuberculosis research: a systematic review. *Lancet Infect Dis*. 10:889-92.





LIMITACIONES NEOLIBERALES AL DESARROLLO SOSTENIBLE EN AGUA, ALIMENTOS Y ENERGÍA EN MÉXICO

OSVALDO LANDAVAZO GRACIA,
JORGE LUIS TADDEI BRINGAS

El neoliberalismo limita el desarrollo sostenible de los recursos naturales en México. Investigadores de otras latitudes documentan dicha acción, pero han motivado a pocos connacionales para cuestionar los efectos negativos y buscar alternativas. Las cumbres internacionales sólo son “promesas bajo construcción”. Los mitos globales y paradigmas de mercado pueden envolver a investigadores en convenios de prospección de recursos naturales, para luego devastarlos. La sostenibilidad hídrica y energética requiere que los académicos, sin ceder rigor en la investigación, cuestionen las políticas neoliberales y planteen mejores alternativas.

La inquietud que se desea compartir con estudiosos de la sostenibilidad efectiva y de la adaptación al cambio climático, se refiere a la necesidad de que, sin sacrificar rigurosidad en estudios o reportes, mostremos el rechazo a las políticas neoliberales proponiendo mejores alternativas para cada País.

M.C. OSVALDO LANDAVAZO GRACIA
Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia
Correo: olandavazo@iq.uson.mx
DR. JORGE LUIS TADDEI BRINGAS
Departamento de Ingeniería Industrial
Correo: jtaddei@industrial.uson.mx
Universidad de Sonora



INTRODUCCIÓN

Al analizar las limitaciones de nuestro país para transitar hacia un verdadero desarrollo sostenible, relacionado con los recursos naturales, el medioambiente y los ecosistemas, se encuentra como causa fundamental la implementación de una economía neoliberal en extremo, que hace de México su experimento mayor en América Latina (1). La complejidad de las disputas por agua y energía en todos los sectores y actividades -bajo reglas impuestas para lucrar con la escasez- deja como víctimas a bosques, acuíferos, suelo, ríos, ecosistemas y al País en su conjunto. Algunas acciones insostenibles se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Acciones insostenibles sobre recursos naturales en México

Recurso	Acción insostenible	Estadística para México	Fuente	Publicación
Bosques	Deforestación	260,000 ha/año	SEMARNAT	El Universal de abril 9, 2010
Manglar	Eliminación	10,000 ha/año	FAO	La jornada de Agosto 31, 2008
Suelos	Erosión y Pérdida	45 %	SEMARNAT, COLPOS	El Universal de Octubre 29, 2010
Agua dulce	Pérdida por ineficiencia	37.5%	CONAGUA	Compendio de estadísticas ambientales 2010
Acuíferos	Sobreexplotados	104/653	CONAGUA	Comunicado 060-11
	Contaminados	17	CONAGUA	Comunicado 060-11
Rios y lagos	Contaminados con basura y aguas negras	36%	CONAGUA	Programa Nacional Hídrico 2007-2012
Agua dulce superficial	Evapotranspiración no administrada	73.2%	CONAGUA	Estadística del agua en México 2010
Biodiversidad	Peligro de extinción	40% Vertebrados terrestres	SEMARNAT	NOM-059-SEMARNAT-2010

Fuente: Elaboración propia

La economía descrita, considera a los ecosistemas como fuente infinita de materias primas y que son asimiladores gratuitos de sus desechos; mientras a la Nación mexicana la concibe como audiencia controlada por un entretenido engaño de los medios a favor de las corporaciones. Aunque la protesta social permanece contenida, sobrevivimos en un experimento fallido del neoliberalismo pero sus maniobras mantienen al país con desempleo, pobreza, deterioro ambiental, inundaciones y sequía, pérdida de especies o biodiversidad, fraudes e inseguridad y baja calidad de vida.

De la aplicación de esa política neoliberal se desprenden los resultados nada halagüeños, en cuanto a carencias sociales de los mexicanos, que se muestran en la tabla 2:

Tabla 2. Porcentaje y número de personas por tipo de carencia social

Carencia social	Porcentaje	Millones de Personas
Rezago educativo	21.7	23.16
Acceso a servicios de salud	40.7	43.38
Acceso a seguridad social	64.7	68.99
Calidad y espacios de la vivienda	17.5	18.62
Acceso a servicios en vivienda	18.9	20.13
Acceso a la alimentación	21.6	23.06

Fuente: Informe de pobreza multidimensional en México, CONEVAL, 2008

ACCIÓN NEOLIBERAL

De acuerdo con las investigadoras Liverman y Vilas (1) el neoliberalismo, a partir de los setenta, tomó a Latinoamérica como sitio de experimentos en sus procesos y políticas continentales, con lo que, además de maniobrar en el libre comercio y en el paso oportuno de capital especulativo en sus fronteras, busca dentro de los países el adelgazamiento del gasto en educación pública, salud y en toda acción social de los gobiernos.

Las mismas autoras mencionan que dichos gobiernos se concentran en la ganancia de su élite y en la de las corporaciones, a la vez que administran la pobreza y los daños. La acción neoliberal –producto de las políticas neoliberales– altera el manejo ambiental en actividades y medios, la industria y manufactura, acuacultura, minería, agricultura y suelos; en el manejo del agua, la flora y la fauna, y a la vez presiona para privatizar los recursos que, se supone, debiera administrar el Estado en beneficio general.

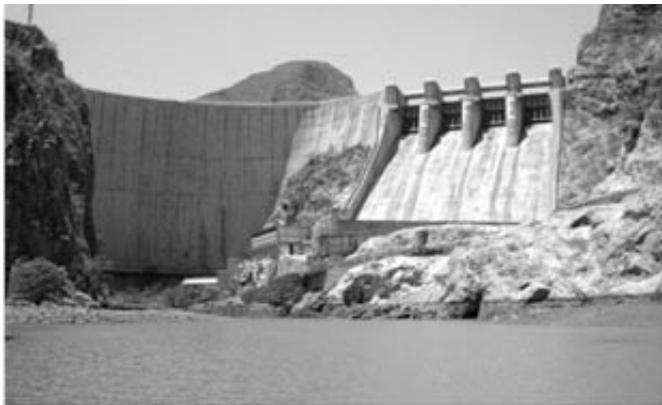
SOSTENIBILIDAD Y SUS VERTIENTES

En la sostenibilidad de recursos naturales se requiere una versión sin desvíos del desarrollo sostenible, conceptualizado en 1987 por el informe Brundtland (2) como “el que satisface necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades”. Tan elástico concepto se adecua al interés teórico de los sectores, aunque no a su logro real; sobre todo cuando predomina el interés económico contra la satisfacción equilibrada de necesidades del medioambiente, los ecosistemas y el sector social.

Sin abundar en cifras mundiales sobre penurias de miles de millones de seres humanos en su acceso al agua dulce, energéticos y alimentos, es pertinente citar algunas conferencias internacionales y cumbres de la tierra, promovidas desde los setentas por Naciones Unidas y abreviar los compromisos gubernamentales asumidos:

- Cumbre de la Tierra en Estocolmo (Suecia 1972): primera discusión sobre el estado del medioambiente en el mundo y directrices para su protección.
- Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (1988): utilizar investigaciones del cambio climático para ayudar a gobiernos en toma de decisiones en agua y energía.
- Cumbre de la tierra (Río 1992, ONU 1997): desarrollo económico-social y protección al medio ambiente. Agenda 21 vs. la pobreza y legislar al marco del cambio climático.
- Protocolo de Kioto (Japón 1997): acuerdo para reducir las emisiones de seis gases que causan el calentamiento global, aunque entra en vigor hasta 2005.
- Evaluación (ecosistemas) del milenio (Holanda, 2001): información científica para toma de decisión a cambios en ecosistemas, efecto al bienestar humano, alternativas y salidas.
- Conferencia mundial sobre financiación del desarrollo (Monterrey, México. 2002) movilización de recursos para el desarrollo, cooperación financiera y deuda externa.
- Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible (Johannesburgo 2002): fortalecer Agenda 21 y Compromisos del Milenio.
- Cumbre Mundial de 2005 (ONU, New York): seguimiento a resultados de Cumbre del Milenio y reafirmación de propósitos de cumbres previas.
- Cumbre Mundial de Copenhague (2009): sustitución del protocolo de Kioto de 1997.
- Cumbre mundial sobre cambio climático, Cancún, México (2010): se encamina a crear un fondo internacional para la lucha contra el cambio climático.





México ha atestado las conferencias y cumbres, firmando los acuerdos y compromisos involucrados. En estas cumbres se dictaron acciones para desarrollar estrategias nacionales de sostenibilidad en el manejo y administración del agua dulce, el suelo, los ecosistemas acuáticos terrestres y marinos incluidos los manglares, bosques maderables y no maderables, la fauna, las zonas áridas y las húmedas y en general los recursos naturales y el buen efecto sobre el bienestar de la población mundial. Sin embargo, las amenazas de aumento de temperatura y sus catástrofes siguen vigentes: el deshielo, la deforestación, el desequilibrio global del carbono, la erosión y acidificación del suelo, las inundaciones y sequías; todas han empeorado en el tiempo. Cabe preguntarse entonces, ¿Para qué han servido las cumbres mundiales?

Una respuesta la tienen los funcionarios responsables de dar seguimiento a tales eventos y los académicos que han sido honrados por instituciones como la Organización de las Naciones Unidas (ONU) con intención de mitigar los efectos y brindar esperanzas de solución. Vemos tales eventos cumbre como fractal o sistema suavizado y auto-reproducido de control con “promises under construction”, frase y artículo con los que Wilder (3) inicia el análisis de avances en el manejo del agua en México con estudio de caso para Sonora. Es notable cómo, mediante una cara suavizada del neoliberalismo en abuso de las instituciones, las promesas bajo construcción bajan de las cumbres del mundo hacia los países en desarrollo.

MITOS NEOLIBERALES Y ESTADO COMPETITIVO

Los argumentos a favor de las corporaciones se difunden mediante mitos globales y por sector, en paradigmas mediáticos o de instrucción como: “Una gran eficiencia del mercado frente al costo de la acción gubernamental”, “La conservación de recursos naturales es más exitosa en un régimen de propiedad privada” y estas creencias las avala el Estado. Para su credibilidad, el mito se adereza con verdades demagógicas: “Comunidad que conserva recursos naturales debe participar en beneficios y decisiones”, “El daño a ecosistemas crecerá si no cambian actitudes y acciones humanas” y con “verdades” de autoridad: “No

hay agua y necesitamos que llueva más”, “No hay recurso más caro que el que no hay”, “Esta tecnología nos inserta en la modernidad”, etc.

Los mitos y verdades a medias están en sectores bajo acción neoliberal y no pretendemos citar los todos. Podemos ilustrarlo con la alimentación, por su relación al agua y los ecosistemas. Por ejemplo, Peter Rosset, con varios libros en alimentación, agricultura sostenible y derechos humanos, junto con otros autores (4) asegura en su excelente libro “12 mitos sobre el hambre”, que aun cuando el hambre en el mundo no es un mito, los mitos impiden acabar con ella. La obra rebate mitos dados como solución o causa en la hambruna mundial: la sobrepoblación, la escasez de alimentos; la naturaleza es implacable; contra la escasez que ceda el medio ambiente, las revoluciones verdes claves (la de fertilizantes inorgánicos y la futura de transgénicos, ambos contaminantes); la eficiencia de escala, el libre comercio exportador y libre mercado, que los hambrientos no pueden luchar y el mito de la ayuda norteamericana.

AGRICULTURA INDUSTRIAL Y ROBO DE COSECHAS A COMUNIDADES Y A LOS ECOSISTEMAS

Shiva (5), investigadora de la India -con varios libros sobre las guerras de la globalización por agua y alimentos, biopiratería, y derechos humanos- sostiene que por décadas la acción de corporaciones y organizaciones del oficialismo dominante, crearon el mito empresarial de que la agricultura industrial masiva (que convierte bosques naturales en monocultivos) es necesaria para conseguir más alimentos y reducir el hambre. Así, derechos de propiedad intelectual, patentes de semillas y reglas de la Organización mundial de Comercio (OMC) y el Acuerdo general sobre Aranceles y Comercio (GATT) han usurpado y criminalizado el manejo de semillas nativas, criollas o autóctonas, e inundado de semillas transgénicas a países que privilegian a las corporaciones.

Sabemos por Shiva y otros investigadores, que la seguridad alimentaria radica en el intercambio de semillas autóctonas entre productores y en la cultura agrícola. Según esta autora, bajo el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), México incrementó sus importaciones de alimentos desde 20% en 1992, hasta 43%





en 1996; asimismo, en 18 meses de TLCAN, 2.5 millones de mexicanos pararon actividad y 40 millones cayeron en la pobreza extrema. La agricultura industrial no ha dado más alimentos; las variedades enanas perjudicaron al ganado, a la fauna y a los ecosistemas. Varias comunidades dejaron de cosechar verduras y legumbres para producir pastura.

MERCANTILIZACIÓN DE LA NATURALEZA

Bajo el concepto de “mercantilización de la naturaleza” (commodification of nature) se considera que deben ser ingresados al mercado tanto la naturaleza como los recursos naturales y que es el mercado el que ofrece mejor contexto para el desarrollo; así la biodiversidad será salvada (6). Con ello se reduce el valor de la naturaleza a la escala de precios, eludiendo valores ecológicos, estéticos y culturales.

Los laberintos de la mercantilización de la naturaleza en México y Latinoamérica son denunciados por organizaciones no gubernamentales, por investigadores extranjeros, grupos campesinos, pueblos originales, intelectuales y por cumbres de gobiernos del sur del continente. Es probable que los estudios previos que llevan a justificar una apropiación de la naturaleza por corporaciones -para devastar sus recursos estratégicos y su biodiversidad- consistieran en investigaciones conjuntas entre instituciones de Latinoamérica y extranjeras a la luz de convenios sobre Bioprospección y sobre recursos naturales, minerales, así como prospección geológica, lo que se deduce de diversas publicaciones (7).

SOSTENIBILIDAD EN AGUA Y ENERGÍA

Como piezas de neoliberalismo extremo se pueden mencionar, entre otras: la problemática derivada del abuso de combustibles fósiles; sustitución de cosechas de alimentos para producir etanol y biodiesel, así como la política hídrica tradicional que insiste en represas con sus grandes fallas (y sin administrar su evaporación) para centrarse en el negocio con el agua de beber.

El Estado “competitivo” prioriza la privatización en energéticos a favor de las corporaciones, mientras considera al agua como un negocio dominado, a pesar del desastre hídrico. Las consecuencias del retraso -de más de medio siglo -del manejo hídrico mexicano, que desdeña alternativas sostenibles como la cosecha de agua, recarga artificial, administración conjunta y el Almacenamiento Subterráneo con Recuperación (ASR) para avanzar hacia

la sostenibilidad hídrica, han sido argumentadas por los autores (8).

Se han señalado en este artículo algunas políticas de corte neoliberal que se convirtieron en mitos del estado competitivo, mismas que, junto con la agricultura industrial, el robo de cosechas a comunidades, afectación de los ecosistemas y la mercantilización de la naturaleza, contribuyen a la deficiente sostenibilidad hídrica y energética de México.

La inquietud que deseamos compartir con estudiosos de la sostenibilidad efectiva y de la adaptación al cambio climático, se refiere a la necesidad de que, sin sacrificar rigurosidad en estudios o reportes, mostremos el rechazo a las políticas neoliberales proponiendo mejores alternativas para cada País. Un conglomerado mundial de hoy pasivos actores políticos, académicos, y sufridos consumidores, podemos desmentir mitos y mejorar el estado de cosas.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Liverman, D.M., y Vilas, S., (2006) “Neoliberalism and the Environment in Latin America” en *Annu. Rev. Environ. Resour.* 31:2.1-2.37. [en línea] URL <http://www.eci.ox.ac.uk/~dliverma/CV/Liverman%20and%20Vilas%20in%20ARER.pdf>
- 2) Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. UN Documents. Liga en Internet: <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>
- 3) Wilder, M., (2008) “Promises Under Construction: The Evolving Paradigm for Water Governance and the Case of Northern Mexico” en *Rosenberg International Forum on Water Policy, Zaragoza, Spain*. Liga al artículo en Internet: <http://rosenberg.ucanr.org/documents/Wilder2.pdf>, [Activa en marzo, 2011]
- 4) Lappé F.M.; Collins J.; Rosset P. y Esparza L., (2005) *Doce Mitos sobre el hambre*. Icaria Editorial, Barcelona, 312 pp.
- 5) Shiva V., (2003) *Cosecha Robada: El Secuestro del Suministro Mundial de Alimentos*, Paidós/berica, Barcelona. Liga a la Obra de Vandana Shiva en libros: <http://www.casadellibro.com/libros/shiva-vandava/shiva32vandana>, [Activa en marzo, 2011]
- 6) Ervine, Kate. “Development as Enclosure: Neoliberalism; Commodification of Nature” Paper presented at the annual meeting of the ISA’s 50th ANNUAL CONVENTION “EXPLORING THE PAST, ANTICIPATING THE FUTURE”, New York Marriott Marquis, NEW YORK CITY, NY, USA, Feb 15, 2009 <Not Available>. 2011-04-17 <http://www.allacademic.com/meta/p313597_index.html>
- 7) Hayden C., (2003) *When Nature Goes Public: The making and Unmaking of Bioprospecting in México*. Princeton University Press. 312 pp. Liga en Internet: <http://press.princeton.edu/titles/7673.html>, [Activa en marzo, 2011]
- 8) Landavazo O.; Taddei, J.L. y Herrera, V., (2011) “Las caras de la sostenibilidad hídrica” en *La Jornada del Campo*, Periódico La Jornada. 19 de febrero del año anotado, p.19.



METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN: EPISTEMOLOGÍA Y CIENCIA

RICARDO RODRÍGUEZ MIJANGOS

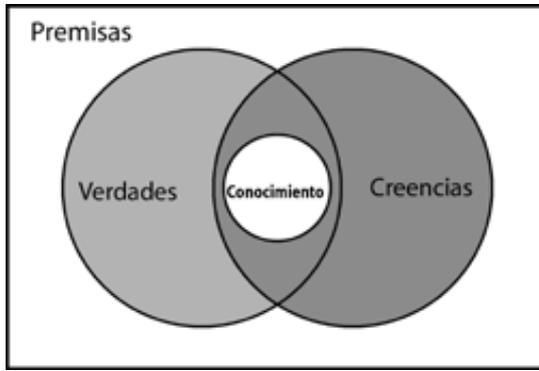
Ha sido un error de los epistemólogos académicos aislarse y suponer que es posible descubrir la naturaleza del conocimiento "dichosamente ignorantes de las ciencias naturales"

Larry Laudan: Filósofo de la ciencia, norteamericano (1941-)

El conocimiento se adquiere por medio del estudio; la sabiduría por medio de la observación.

Marilyn vos Savant: Escritora norteamericana (1946) catalogada como la persona con el IQ más alto del mundo (228).

DR. RICARDO RODRÍGUEZ MIJANGOS
Departamento de Investigación en Física
Correo:mijangos@cajeme.cifus.uson.mx
Universidad de Sonora



Según Platón el conocimiento es un subconjunto de lo que forman parte a la vez la verdad y la creencia

EPISTEMOLOGÍA

1. Definiciones

La epistemología (del griego πιστήμη (episteme), "conocimiento", y λόγος (logos), "teoría") es una rama de la filosofía cuyo objeto de estudio es el conocimiento. La epistemología, como teoría del conocimiento, se ocupa de problemas tales como las circunstancias históricas, psicológicas y sociológicas que llevan a su obtención, y los criterios por los cuales se lo justifica o invalida.

El conocimiento científico es una aproximación crítica a la realidad apoyándose en el método científico que, fundamentalmente, trata de percibir y explicar desde lo esencial hasta lo más prosaico, el porqué de las cosas y su devenir, o al menos tiende a este fin.

Para la Real Academia Española, conocer es "averiguar por el ejercicio de las facultades intelectuales la naturaleza, cualidades y relaciones de las cosas". Conocimiento es la acción y efecto de conocer; el sentido de cada una de las aptitudes que tiene el individuo de percibir, por medio de sus sentidos corporales, las impresiones de los objetos externos, conocimiento es todo aquello capaz de ser adquirido por una persona en el subconsciente.

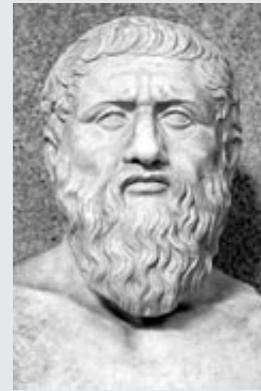
2. Devenir histórico

Inicialmente la interpretación de los fenómenos naturales que rodeaban al hombre propició el nacimiento de las mitologías o explicaciones del llamado tipo sobrenatural o creencias.

Se considera que el inicio de la búsqueda del conocimiento independiente de consideraciones mitológicas y siguiendo una metodología, se ubica en el siglo VII A C con Tales de Mileto, uno de los filósofos griegos denominados presocráticos. Estos pensadores abandonaron sus mitos tradicionales sobre la creación del mundo y la naturaleza de las cosas, sustituyéndolas por teorías que no tenían elementos divinos o sobrenaturales, se limitaban a los componentes propios de la realidad. Tales de Mileto propuso: "toda la realidad está formada por agua" como respuesta a la antigua pregunta acerca

de la composición del Universo, aunque demasiado simple para considerarla la base de la Filosofía en general y de la Epistemología en particular, lo importante no es el contenido de la frase, sino lo que excluye. Tales no hace referencia a los Dioses del Olimpo, su única referencia es un elemento de la realidad. Su proposición se refiere al mundo natural y por lo tanto se puede examinar objetivamente para determinar si es cierto o no, implícitamente este procedimiento es una metodología.

Gran referente de la Filosofía occidental es Platón, alumno de Sócrates y maestro de Aristóteles, quien heredó a la cultura los primeros grandes escritos donde se plasman sus ideas.



Busto de Platón

En su gran obra hay una alegoría muy famosa llamada la Línea de Platón que sintetiza su visión relativa al conocimiento humano, dividido en categorías jerárquicas. A continuación se esquematiza esta línea:

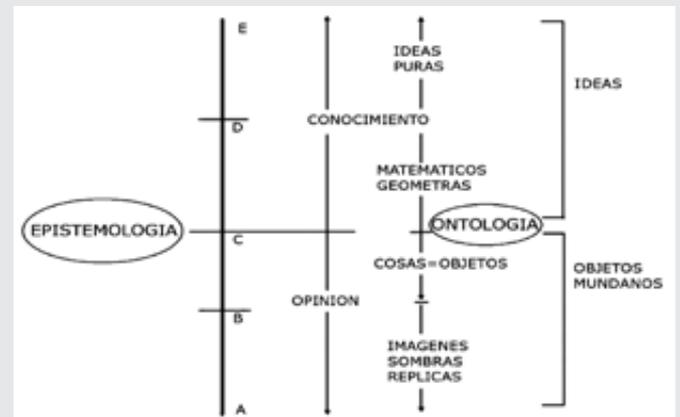
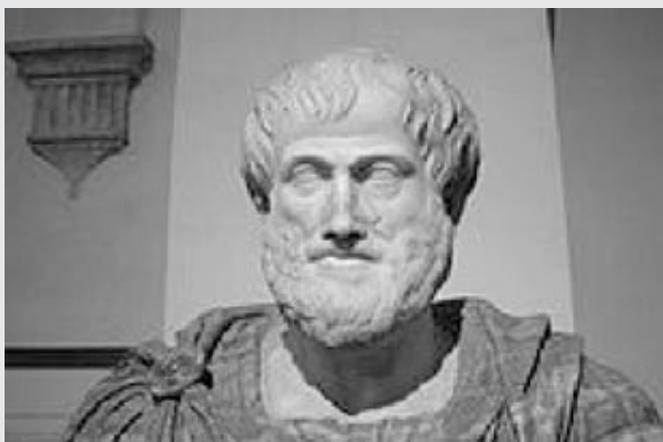


Figura 1. Las divisiones de la línea platónica

En la Figura 1 la línea AE separa dos compartimentos, uno derecho (lado ontológico) y otro izquierdo (lado epistemológico). En el campo inferior, AC, corresponde a la opinión o doxa, y el campo superior CE es el conocimiento o episteme, el cual está integrado por dos espacios, uno inferior CD correspondiente al mundo de los matemáticos

y géometras y otro superior DE en donde se encuentran las ideas, que para Platón es el espacio para el Filósofo, pero para alcanzarlo primero hay que recorrer las distancias entre A y D. Para pasar del espacio de los matemáticos y géometras al mundo perfecto de las ideas, Platón propuso un método: la dialéctica, que consiste en la discusión racional de la definición de un concepto entre individuos conocedores del tema, hasta que finalmente se llega a un consenso. En el compartimiento de las ideas se podría alcanzar la visión inteligible del bien, este último de gran interés para el Filósofo. En el fondo Platón veía con cierto desprecio el estudio de la realidad, de los fenómenos de la naturaleza, suponía que la tarea del filósofo era intentar llegar al mundo de las ideas, en donde todo es perfección absoluta.

Aristóteles, discípulo de Platón, inició sus trabajos bajo la influencia de la teoría de las ideas, pero posteriormente se apartó de ella. Aristóteles contribuyó grandemente a la teoría del conocimiento, entre otras cosas, por su influencia en los pensadores medievales. Para nuestro objetivo, conviene resumir las principales ideas aristotélicas sobre el método de la investigación en las siguientes: 1) Teoría del silogismo; 2) Teoría de las definiciones; 3) Método inductivo-deductivo; 4) Teoría de la causalidad. Es interesante la discusión de estas ideas, sin embargo, por su relevancia y propósito en este breve escrito, nos centraremos en las dos últimas.



Busto de Aristóteles

3. Método inductivo-deductivo y teoría de la causalidad:

Aristóteles ilustra este método por medio del análisis de un eclipse lunar: el estudioso primero observa el oscurecimiento progresivo de la superficie lunar y a partir de ésta y otras observaciones induce varios principios generales, que son que la luz viaja en línea recta, que los cuerpos opacos producen sombra, y que cierta situación de dos cuerpos opacos cerca de un objeto luminoso

resulta en que la sombra de uno de ellos se proyecta en el otro. De estos principios generales y del hecho de que la Tierra y la Luna son cuerpos opacos, se deduce el mecanismo de producción del eclipse, así, se ha progresado a la comprensión del fenómeno. Según Aristóteles, la inducción sirve para llegar al punto en el que cualquier filósofo está listo para generar nuevos conocimientos que es cuando las generalizaciones alcanzadas por medio de la inducción (en lógica, se designa como inducción a un tipo de razonamiento que va de lo particular a lo general, concepción clásica, o bien, a un tipo de razonamiento en donde se obtienen conclusiones tan sólo probables, concepción más moderna, en la inducción matemática se va de lo particular a lo general y, no obstante, se obtiene una conclusión necesaria) se usan como premisas para la explicación de las observaciones iniciales, y es cuando realmente se avanza en el conocimiento. El proceso lógico responsable de este logro es la deducción, la operación mental inversa a la inducción, o sea donde se va de lo general a lo particular. Lo primero que debe mencionarse es que Aristóteles tenía una noción de causa más amplia que la contemporánea; actualmente la causa es algo (cosa o proceso) que hace que otro algo (también cosa o proceso) ocurra, mientras que para Aristóteles esta era parte de una historia mucho más compleja y elaborada.

En tan poco espacio es difícil desplegar el amplio abanico del pensamiento aristotélico que influyó grandemente por largo tiempo en la civilización occidental. Su influencia llegó a tal punto que muchos siglos después de Cristo, cuando la iglesia católica consolidó su poder, se acomodó convenientemente en los intelectuales el universo del pensamiento aristotélico, así, se llegó a la llamada Edad Media. En relación al método para alcanzar el conocimiento es conveniente centrarse en el pensamiento de Jacobo Zabarella (1533-1589), conocido como el último filósofo de Padua, el cual consideró a la lógica como un instrumento, como un método. Zabarella señaló lo siguiente: "Porque todo progreso del conocimiento que va de lo conocido a lo desconocido viaja de causa a efecto o de efecto a causa. El primero es el método demostrativo, el segundo es el método resolutivo; no existe ningún otro conocimiento que genere conocimiento cierto de las cosas. Para obtener el conocimiento los clásicos se basaron en la colección indiscriminada de datos, mientras que Zabarella insistió en que la experiencia debe ser rigurosamente analizada, con objeto de descubrir el "principio" que la explica, la estructura universal que la subtiende. Con este conocimiento estaremos ya en condición de deducir correctamente los hechos asociados a la causa. Tuvieron gran importancia sus estudios sobre lógica. Intentó resolver el problema de la inducción y del método científico dentro de los márgenes de la lógica aristotélica, desarrollando la teoría silogística en dirección del concepto moderno de inducción analítica. Publicó distintas obras en las que destacan: *De naturalis scientiae constitutione* (1586), *De rebus naturalibus* (póstuma, 1590).

LA CIENCIA

La ciencia (del latín *scientia* 'conocimiento') es el conjunto de conocimientos obtenidos mediante la observación y el razonamiento, sistemáticamente estructurados y de los que se deducen principios y leyes generales.

Es el conocimiento sistematizado, elaborado a partir de observaciones y el reconocimiento de patrones regulares, sobre los que se pueden aplicar razonamientos, construir hipótesis y construir esquemas metódicamente organizados. La ciencia utiliza diferentes métodos y técnicas para la adquisición y organización de conocimientos sobre la estructura de un conjunto de hechos objetivos y accesibles a varios observadores, además de estar basada en un criterio de verdad y una corrección permanente. La aplicación de esos métodos y conocimientos conduce a la generación de más conocimiento objetivo en forma de predicciones concretas, cuantitativas y comprobables referidas a hechos observables pasados, presentes y futuros. Con frecuencia esas predicciones pueden formularse mediante razonamientos y estructurarse como reglas o leyes generales, que dan cuenta del comportamiento de un sistema y predicen cómo actuará dicho sistema en determinadas circunstancias.

1. Visión filosófica clásica

Abundando en algunos conceptos ya mencionados, como un referente indispensable mencionaremos que Platón dedica al estudio del problema del conocimiento el diálogo *Teeteto*, aunque en otros diálogos (especialmente *Menón* y *La República*) hay también importantes reflexiones sobre el tema. En la primera parte del *Teeteto* se discute y se rebate con numerosos argumentos la teoría relativista del sofista Protágoras, según la cual cada opinión (*doxa*) es verdadera para quien la sostiene. Por tanto, hay que reconocer que hay opiniones o creencias falsas. En la última parte del diálogo se discute la llamada "definición platónica" del conocimiento (*episteme*), según la cual éste está constituido por creencias u opiniones verdaderas y justificadas. Esta definición tampoco se acepta en el propio diálogo, a pesar de lo cual, históricamente ha sido el punto de partida para prácticamente todas las investigaciones ulteriores sobre el tema (incluso hasta el presente).

En *La República* el conocimiento cabal se caracteriza como necesariamente verdadero, y como fundado en principios no hipotéticos. Estos principios sólo pueden alcanzarse mediante la facultad dialéctica, que debe "abrirse paso, como en una batalla, a través de todas las objeciones". En cambio, "artes" como las matemáticas parten de simples hipótesis. Por supuesto, la creencia y opinión, incluso si son verdaderas, se consideran ignorantes de la realidad de las cosas y quedan relegadas al ámbito de lo probable y lo aparente.

El saber o conocimiento puede ser teórico o práctico. El conocimiento teórico puede ser científico (todas las "-logías" como geología) o descriptivo (las "-grafías" como geografía). El conocimiento científico a su vez se divide en científico en sentido estricto (por las causas inmediatas), filosófico (por las causas segundas) y teológico (por las causas últimas pero con la ayuda de la revelación divina). El conocimiento práctico se divide en arte y técnica, atendiendo a su belleza.

Los conocimientos se adquieren mediante una pluralidad de procesos cognitivos: percepción, memoria, experiencia (tentativas seguidas de éxito o fracaso), razonamiento, enseñanza-aprendizaje, testimonio de terceros, etc. Estos procesos son objeto de estudio de la ciencia cognitiva. Por su parte, la observación controlada, la experimentación, la modelización, la crítica de fuentes (en historia), las encuestas, y otros procedimientos que son específicamente empleados por las ciencias, pueden considerarse como un refinamiento o una aplicación sistemática de los anteriores. Estos son objeto de estudio de la epistemología.

2. Visión científico/técnica

La que posteriormente se denominó revolución científica, que es el inicio del método científico en su concepción moderna, fue propiciada por varios filósofos, en particular en su tiempo llamados filósofos naturales, cuyo interés se centraba en entender los fenómenos alrededor del entorno del ser humano en particular y del Universo en general, sin embargo, destaca en la pléyade de pensadores que propiciaron el advenimiento del método científico Galileo Galilei (1564-1642) quien integró al homo faber (perteneciente al estrato social de los esclavos en la sociedad donde filosofaban los griegos) como elemento decisivo para obtener el conocimiento y construyó instrumentos como auxiliares para obtener información de lo observado, con los cuales recolectaba datos que daban la posibilidad de crear hipótesis, que al generalizarse derivaban en una teoría susceptible de formularse matemáticamente.

Este enorme avance se dio en la época del florecimiento de las artes, principalmente en Venecia y Florencia en la llamada época del Renacimiento que permitió a su vez el nacimiento de la ciencia moderna, ya que la abundante existencia de artesanos con capacidad de manejar y fabricar varios tipos de materiales, tales como el vidrio, le facilitó a Galileo construir el primer telescopio que permitió observar los cráteres de la luna, así como la construcción de planos inclinados que le permitió seguir en detalle el movimiento de balines rodando sobre estos artefactos y concluir que la aceleración es igual para todos los cuerpos materiales; para estos experimentos requirió construir relojes de péndulo de alta precisión.



Galileo Galilei. Pisa 1564-Florenia 1642

Su genialidad le permitió construir una Teoría Heliocéntrica, en donde los planetas, entre ellos la Tierra, giraban alrededor del Sol; teoría que le valió graves conflictos con la Iglesia que se sintió amenazada por ideas que no concordaban con Aristóteles. Escribió varias obras, una de las mayores y última publicada es: Diálogos sobre dos nuevas ciencias (1638).

En una época posterior y en un entorno social distinto, Sir Isaac Newton (Inglaterra 1643-1727) desarrolló al límite la Teoría de Galileo, creando la Teoría de la Gravitación Universal, que devino en la visión mecanicista del universo, la cual se consideró cierta porque concordaba con los datos experimentales obtenidos, permitiendo la abstracción geométrica del conocimiento. Para poder realizar su teoría tuvo que inventar el Cálculo Diferencial e Integral, que devino en una de las grandes ramas de las matemáticas, su gran obra es: *Philosophiae naturalis principia mathematica* (1687)



Sir Isaac Newton (1643-1727)

3. Una visión práctica actual

En ciencias es común asumir la existencia de un continuo progresivamente complejo integrado por los datos, la información, el conocimiento y la sabiduría. Así, se define al conocimiento, como el conjunto organizado de datos e información que permiten resolver un determinado problema o tomar una decisión (conocimiento "accionable").



Figura 2. Esquema sobre el conocimiento desde el punto de vista de las ciencias de la información, cómo se genera y cómo se aplica.

Para alcanzarlo se aplica el llamado método científico, existiendo múltiples vías de llegar al conocimiento: método empírico, método histórico, método lógico, analogía, etc.

En general, para que una creencia constituya conocimiento científico no basta con que sea válida y consistente lógicamente, pues ello no implica su verdad. Así por ejemplo, téngase un sistema lógico deductivo consistente y válido. Niéguese la totalidad de las premisas del sistema, y se obtendrá un sistema igualmente consistente y válido, sólo que contradictorio al sistema previo. De tal manera, validez no garantiza verdad. Para que una teoría deba ser considerada como verdadera, deben existir, desde el punto de vista de la ciencia, pruebas que la apoyen. Es decir, debe poder demostrarse su verosimilitud empleando el método científico, también conocido como método experimental. Ello sin embargo se ve seriamente complicado si se introducen interrogantes relativas a la suficiencia de dicho método, como por ejemplo, la transparencia de los hechos (¿existen los hechos puros o más bien interpretaciones?), la factibilidad de la pretensión de objetividad y neutralidad valórica (¿es posible la comprensión de la realidad desde un punto de vista neutro, tal como fuera el de un dios, o estamos condenados a perspectivas particulares?)

CONSIDERACIONES FINALES

Se ha pretendido dar un esbozo de un amplio tema desde la perspectiva de la divulgación del conocimiento, para un especialista puede no ser convincente, entre otras



cosas, porque se aparta del tratamiento tradicional del tema cuando se menciona a Jacobo Zabarella como el pensador que simbólicamente hereda el pensamiento clásico realizando además sus propias aportaciones y que de alguna manera cierra la Edad Media y atisba el Renacimiento. Posteriormente se ha privilegiado a dos filósofos de la ciencia: Galileo Galilei e Isaac Newton como los artífices del método científico al llevar hasta sus últimas consecuencias el potencial completo del ser humano que es la dupla mente-manos, sobre todo Galileo, que al crear el método experimental sistemático detonó el desarrollo espectacular del conocimiento científico, que era muy patente en el siglo XX a 300 años de su fallecimiento (1642). ¿Cuál es el tratamiento tradicional de los actores que realizaron avances en la metodología del conocimiento? Hay varios, pero se destaca el pensador francés René Descartes que continúa privilegiando el discurso basado en el razonamiento puro (1596-1650). Formuló el célebre Cogito ergo sum (Pienso, luego existo), publicó dos obras notables donde propone su método filosófico y científico: Reglas para la dirección de la mente (1628) y Discurso del método (1637) que establece a la duda como orientadora en la búsqueda de principios últimos sobre los cuales cimentar sólidamente el saber. Conoció los logros de Galileo y sus problemas con la Iglesia al romper con el pensamiento aristotélico en lo referente a introducir el heliocentrismo, lo cual lo hicieron cauto al publicar sus reflexiones. Varios pensadores siguieron sus pasos e incluso lo consideran el padre del método científico por sus ideas. Fue un filósofo natural, tratando de explicar fenómenos naturales, pero no acertó en este campo, uno de sus grandes logros fue la invención de la Geometría Analítica. Siendo filósofo y matemático toma como modelo el método matemático, el cual Isaac Newton utilizará con un éxito excepcional. Hubo muchos seguidores del pensamiento de Descartes que,

simplificando, desembocaron en los actualmente llamados Filósofos de la Ciencia que han aportado conocimiento valioso en diversas vertientes del conocimiento, pero que no tienen en su acervo el uso de la experimentación, hacen prevalecer el discurso basados en el razonamiento. Recientemente un científico de la Universidad de New York, Alan Sokal (físico) generó un polémico debate al publicar un artículo en una prestigiosa revista de las Ciencias Sociales, en el cual basándose hábilmente en el discurso le dieron por buena su propuesta, cuando en el fondo no aportaba nada. (www.physics.nyu.edu/sokal/). La búsqueda del conocimiento es una gran aventura en la cual muchos grandes nombres que no han sido mencionados han contribuido. Es muy conocida la frase de Isaac Newton. “Si oteé más lejos es porque me subí en hombros de gigantes”, al decirlo no pensaba sólo en Galileo.

Esta ha sido una muestra (probablemente turbia) en un vaso del inmenso mar del conocimiento desarrollado por la humanidad, se espera haber despertado la inquietud por abreviar en éste.

Agradezco al Dr. Marcelino Barboza Flores por atraer mi atención sobre el “affair” Sokal, a Iliana Rodríguez Atondo por la corrección de estilo.

REFERENCIAS

- 1) Atlas Universal de Filosofía (MMV) Editorial OCEANO España.
- 2) Tamayo, Pérez Ruy. (1998) *¿Existe el Método Científico? Historia y realidad. Fondo de Cultura Económica. México*
- 3) Stephen Hawking: A HOMBROS DE GIGANTES (2010). Crítica Barcelona. España (Contiene en español las grandes obras originales de Galileo y Newton)
- 4) <http://www.physics.nyu.edu/sokal/#papers>
- 5) <http://es.wikipedia.org>

CREACIÓN DEL CENTRO INTERNACIONAL DE FÍSICA TEÓRICA EN CHIAPAS

En 1964, Abdus Salam creó en Trieste (Italia) el Centro Internacional de Física Teórica (Internacional Center for Theoretical Physics, ICTP) como una forma de impulsar la ciencia en el tercer mundo [1]. Abdus Salam fue un físico de Pakistán que obtuvo el premio Nóbel en 1979. La creación del ICTP surge del deseo de ayudar a los científicos de países en vías de desarrollo para trabajar en un ambiente con las mismas facilidades e infraestructura que los países desarrollados, promoviendo estancias de trabajo para estudiantes de posgrado e investigadores que los ayuden e impulsen en sus investigaciones.

Fundado en la época de la guerra fría en el corazón de Europa, el ICTP permitió la comunicación de científicos a través de la cortina de hierro entre científicos del este y oeste. De la misma forma, desde su creación el ICTP fue un centro de cooperación entre países del Norte y el Sur, ayudando a los países de naciones menos desarrolladas de salir de su aislamiento y contribuir a la globalización del conocimiento en Física y Matemáticas.

El mundo ha cambiado desde entonces, la vocación del ICTP continúa siendo la misma. Las ideas de Abdus Salam son que la ciencia es herencia de toda la humanidad. En su discurso de premio Nóbel [2], el Dr. Salam nos recordaba que no debía de existir discriminación en la ciencia. Que los beneficios de la misma debían de ser repartidos equitativamente por toda la humanidad. Que los científicos de todos los países, debían de tener las mismas oportunidades para desarrollar sus ideas y creatividad en ciencia.

En este espíritu, el ICTP ha dado un paso hacia nuestro país. El ICTP con apoyo del gobierno del estado y la Universidad Autónoma de Chiapas, han acordado crear un ICTP regional, con la idea de promover el desarrollo de la ciencia en México, Centro-américa y el Caribe.

La designación de Chiapas como sede del ICTP es un

gran honor. También es un reconocimiento al gran trabajo que se ha hecho en Física y Matemáticas. Probablemente nadie relaciona a Chiapas con ciencia y quizás menos con ciencias exactas. Sin embargo, las carreras de Física y Matemáticas fueron creadas en 2006 y gracias a un gran entusiasmo de nuestros hermanos chiapanecos, la matrícula ha crecido enormemente y actualmente se tienen 160 estudiantes de física y de matemáticas. Aunque las comparaciones a veces son incómodas, en la Universidad de Sonora se crearon las escuelas de física y matemáticas en 1964. Actualmente, se tiene 110 estudiantes de física y 100 de matemáticas. También, recientemente fue creado en la Universidad de Chiapas el Centro de Estudios en Física y Matemáticas Básicas y Aplicadas (CEFyMAP) que permite una dinámica propia de un centro de investigación, con una dinámica diferente a las otras facultades (nuestros departamentos) dentro de la estructura orgánica de esa universidad.

El ICTP está llamado a impulsar enormemente el desarrollo de la ciencia en México, Centroamérica y el Caribe. En particular, en México nos ayudará a las universidades de provincia a promover estancias de investigación, congresos y reuniones de trabajo con un enfoque internacional. Estos beneficios, usualmente reservados a los grandes centros y universidades en la capital de la República.

¡Enhorabuena por la creación del ICTP-Chiapas !.

Jesús Manzanares Martínez, P. Castro Garay y Efraín Urrutia Bañuelos.

Departamento de Investigación en Física, Universidad de Sonora. Elí Santos Rodríguez Centro de Física y Matemáticas Básicas y Aplicadas (CEFyMAP), Universidad Autónoma de Chiapas

Para mayor información:

- 1) <http://www.ictp.it>
- 2) http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1979/salam-speech.html



JORNADAS PARA CONMEMORAR “100 AÑOS DE SUPERCONDUCTIVIDAD”

La Universidad de Sonora, a través de las Divisiones de Ciencias Exactas y Naturales y de Ingeniería, con sus respectivos Departamentos de las áreas de física e ingeniería, se unieron a la celebración mundial del centenario del descubrimiento de la superconductividad, uno de los fenómenos físicos más impresionantes de la naturaleza que ha hecho evidente la ciencia contemporánea. Para conmemorar que, en abril de 1911, se inició la historia de la superconductividad en un laboratorio ubicado en la ciudad de Leiden, en los Países Bajos, la UNISON convocó a las jornadas “100 Años de Superconductividad”. Kamerlingh Onnes, mientras desarrollaba las técnicas criogénicas para licuar el helio, logró enfriar muestras de metales hasta temperaturas de algunos kelvin por encima del cero absoluto (correspondiente a menos doscientos setenta y tres grados celsius). Lo que Onnes observó fue extraordinario: la resistencia eléctrica del mercurio cayó drásticamente a cero al alcanzar los 4.2 kelvin. En la actualidad, la ciencia nos brinda nuevos y sorprendentes descubrimientos y aplicaciones de este estado de la materia: materiales cerámicos que se hacen superconductores a temperaturas arriba de 150 kelvin, por ejemplo.

Del 24 de febrero al 12 de mayo de este año, en el marco de estas jornadas conmemorativas se realizaron diversas actividades, entre las que destacan 9 conferencias, una mesa redonda, un curso-taller, demostraciones físicas, experimentos, exposiciones, y programas de radio y televisión. Se contó con la colaboración de importantes investigadores de prestigio nacional e internacional tanto de la Universidad de Sonora, la Universidad Nacional Autónoma de México y el Instituto Politécnico Nacional, entre los que destacan: Dr. Eduardo Verdín López., Dr. Eliel Carvajal Quiroz,; Dr. Carlos Figueroa Navarro, Dr. Raúl Pérez-Enríquez, Dr. Roberto Jiménez O., Dr. Oracio

Navarro Chávez, Dr. Roberto Escudero Derat, Dr. Raúl Riera Aroche, Dr. Manuel Pérez Tello. Los temas que se abordaron fueron: Breve Historia de la Superconductividad, Impacto Social de la Superconductividad, Fundamentos del Efecto Meissner, Teorías Fenomenológicas de la Superconductividad, Contexto Histórico del Descubrimiento de la Superconductividad, Materiales a bajas temperaturas e Impacto Social de la Superconductividad, entre otros. La coordinación del evento estuvo a cargo de: Eduardo Verdín, Raúl Pérez, Emiliano Salinas, Carlos Figueroa y Rafael Pacheco R.

Con estos eventos, la Universidad de Sonora se sumó a la comunidad científica internacional que celebró el primer centenario del descubrimiento de este nuevo estado de la materia. Si desea conocer el contenido del evento puede consultar la página web de la Universidad de Sonora: www.uson.mx.



BREVARIOS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

MOMENTOS (MOMENTA) DE FÍSICA

Emiliano Salinas Covarrubias, esalinas@fisica.uson.mx
Departamento de Física, Universidad de Sonora

A menudo en la Física, y en la ciencia en general, se utilizan términos que en nuestro idioma tienen un significado diferente, por ejemplo, se usa la palabra momento, que en el idioma español tiene una connotación de un pequeño intervalo de tiempo, no cuantificable que puede ser de fracciones de segundo, de algunos segundos, de algunos minutos, etcétera.

Esa palabra se ha adaptado de la palabra momentum (con su plural momenta) que a su vez proviene del latín movere que significa mover. Así que tiene que ver con el movimiento, respecto de algún sistema de referencia, de los cuerpos o partículas a nivel astronómico, a nivel de nuestro medioambiente o a nivel microscópico.

Diferentes aplicaciones

Enseguida se enlistan una serie de aplicaciones de la palabra momento así como sus correspondientes significados.

Momento lineal. El producto de la masa de un cuerpo multiplicada por su velocidad da su momento lineal llamado también cantidad de movimiento. El cambio en la cantidad de movimiento en un intervalo de tiempo será igual al impulso de la fuerza neta actuando sobre el cuerpo en el intervalo dado. Newton, de hecho, planteó su segunda ley como: la fuerza resultante que actúa sobre un cuerpo es igual a la rapidez de cambio de su cantidad de movimiento. Una ley fundamental de la física, es la conservación del momento lineal en sistemas aislados, es decir, en sistemas en que la fuerza externa neta aplicada sobre ellos es cero.



Momento angular. Cuando un objeto gira alrededor de un centro de giro, por ejemplo la luna alrededor de la tierra o una piedra amarrada a una cuerda girando alrededor de la mano que la sostiene, o un electrón alrededor del núcleo del átomo, tiene un momento llamado momento angular orbital y es igual al producto de su momento lineal multiplicado por el radio de giro (si el vector velocidad es perpendicular al radio de giro); así como un sólido girando alrededor de un eje tendrá un momento angular rotacional, que será igual al momento de inercia multiplicado por su velocidad angular. Para un electrón, de acuerdo a la física cuántica el momento angular orbital está cuantizado, es decir, sólo puede tener ciertos valores.

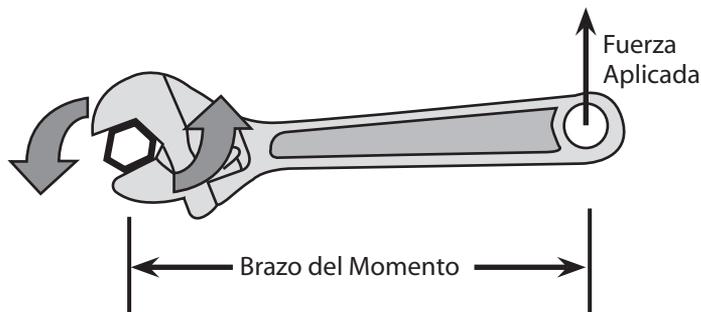
Momento de inercia. Definiendo la inercia como la resistencia de los cuerpos a cambiar su estado de reposo o de movimiento en que se encuentran o lo que es lo mismo, para acelerarse; para el caso de un cuerpo girando su inercia dependerá además de su masa, también del eje respecto del cual gire. El momento de inercia depende de la distribución de la masa respecto a un eje de rotación dado.

Momento de torsión. Este momento mide la efectividad de una fuerza para causar rotación, o de otra manera, para producir un cambio en un movimiento rotacional se requiere una fuerza cuyo efecto dependerá del punto de aplicación respecto del centro de giro. El producto del módulo (magnitud) de la fuerza multiplicado por el brazo de palanca o de momento (distancia de la línea de acción de la fuerza al centro de giro), es el momento de la fuerza, el cual cuantifica la acción de la fuerza para hacer girar al cuerpo. También se conoce como momento de una fuerza, torque o torca.

Momento magnético. Se genera cuando una carga eléctrica se mueve en un círculo. Para una espira donde circula una corriente eléctrica, el momento magnético es igual al producto de la corriente por el área de la espira. Para un átomo es debido al movimiento del electrón alrededor del núcleo del átomo y es proporcional al momento angular orbital.

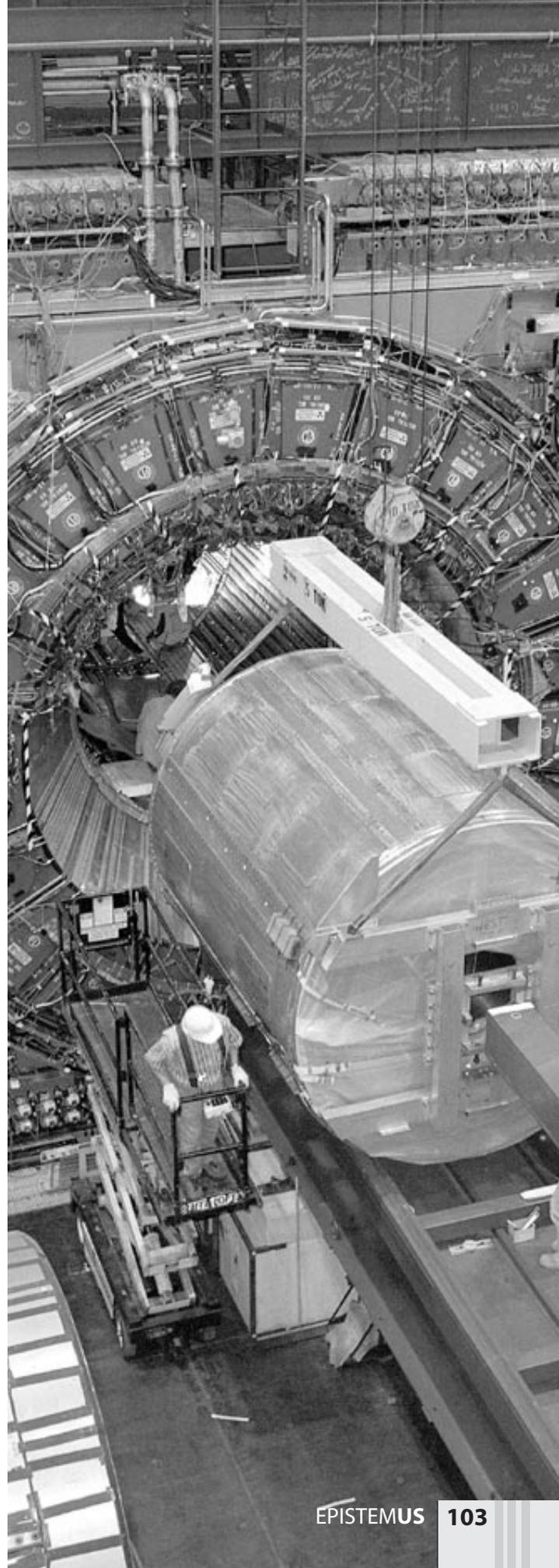
Momento dipolar magnético. Un dipolo magnético se forma cuando hay cargas en movimiento circular, y por lo tanto se produce un momento magnético. Cuando es colocado en un campo magnético uniforme no experimenta fuerza alguna, pero sí un par neto dado por el producto vectorial del momento dipolar magnético y el campo magnético.

Momento de espín. Surge debido a la rotación de las partículas subatómicas alrededor de su propio eje, en su descripción clásica.



Momento dipolar eléctrico. Un dipolo eléctrico es un arreglo de dos cargas iguales pero de diferente signo, separadas una distancia fija. Al producto de la carga por el vector que va desde la carga negativa a la positiva se le llama el momento del dipolo eléctrico. Un dipolo eléctrico colocado en un campo eléctrico sufre un momento de torsión dado por el producto vectorial de los vectores momento dipolar y campo eléctrico.

Hay que decir finalmente, que en el universo el momento lineal, el momento angular y la energía se conservan.



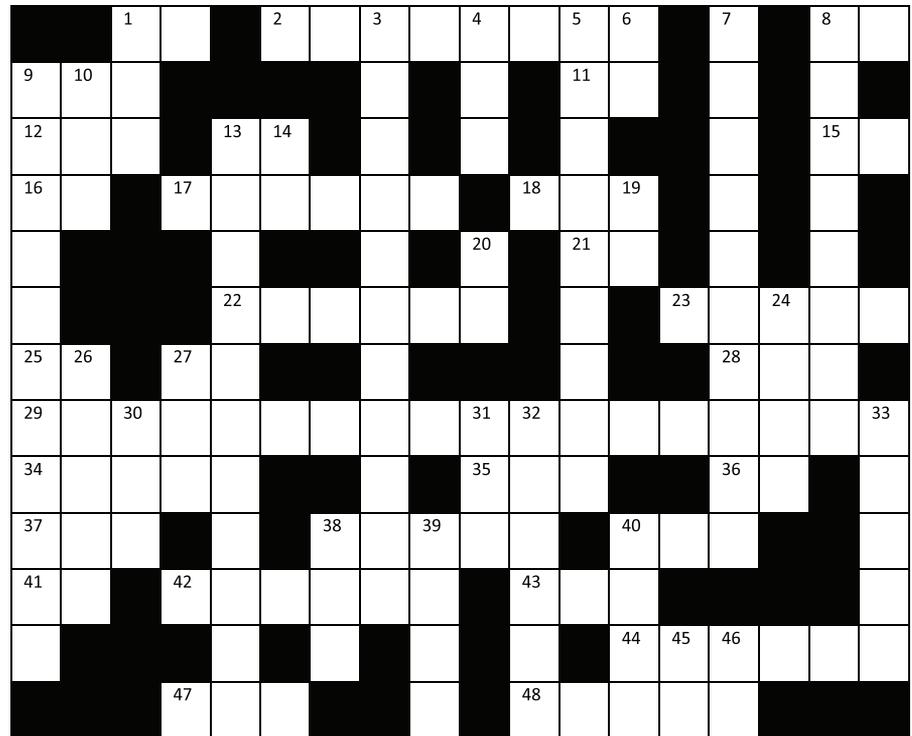
CIENTIGRAMA

Demuestra y afianza tu cultura científica y tecnológica aceptando el reto de resolver el siguiente crucigrama. Solución abajo en esta página.

EMILIANO SALINAS COVARRUBIAS
Departamento de Física
esalinas@fisica.uson.mx

HORIZONTALES

- 1) Símbolo químico del samario.
- 2) Material inorgánico no metálico que se forma por acción del calor, como el superconductor óxido de itrio, bario y cobre (Y Ba₂Cu₃O_{7-x}).
- 8) Símbolo químico del europio.
- 9) Reflexión de una onda sonora.
- 11) Dominio de internet de nivel superior geográfico para Rusia.
- 12) Nombre común del cloruro de sodio.
- 13) Símbolo químico del tantalio.
- 15) Símbolo químico de Torio
- 16) Símbolo químico del talio
- 17) Físico inglés (William Thompson) que desarrolló la escala de temperaturas absoluta.
- 18) Cantidad de sustancia de un sistema que contiene tantas unidades elementales como átomos de carbono existen en 12 gramos de carbono-12.
- 21) Símbolo químico del silicio.
- 22) Planeta enano del sistema solar.
- 23) Generador que provee señales eléctricas con ascenso lento, lineal y controlado y con descenso vertical rápido llamado también diente de sierra.
- 25) Instituto Heisenberg, iniciales
- 27) Guillaume Edouard, (iniciales), premio nobel de física (1920), por su trabajo sobre anomalías de aleaciones acero-níquel.
- 28) Colegio de Ingenieros en Informática, iniciales.
- 29) Propiedad relacionada con la resistencia eléctrica de algunos materiales a bajas temperaturas.
- 34) Inventor serbio que desarrolló los sistemas de potencia con corriente alterna.
- 35) Microprocesador de sexta generación de Intel, con dos núcleos de ejecución.
- 36) Orbital atómico (iniciales)
- 37) Instituto de Ciencias e Ingeniería, iniciales.
- 38) Pasa del estado gaseoso o sólido al estado líquido.
- 40) Átomo que ha perdido o ganado algunos electrones
- 41) Símbolo químico del cobalto.
- 42) Estrella que emite radiaciones periódicamente.
- 43) Norma oficial mexicana (iniciales).
- 44) Tipo de galaxia poco frecuente, en forma de anillo.
- 47) Uno de los tres estados de agregación de la materia.
- 48) Segundo apellido del descubridor de la superconductividad, premio nobel de física en 1913.



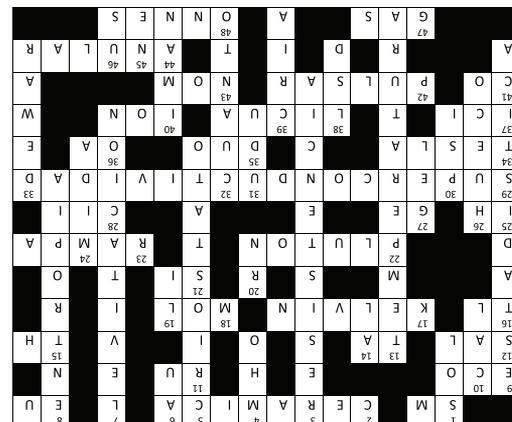
- 13) Medida de la energía cinética promedio de las moléculas de una sustancia.
- 14) Símbolo químico del aluminio.
- 19) Símbolo químico del litio.
- 20) Símbolo químico del radón
- 24) Imperativo de medir una magnitud física.
- 26) Ausencia de un electrón en la banda de valencias de un semiconductor.
- 27) Suspensión coloidal de aspecto sólido formada a partir de sales.
- 30) Unidad de presión del sistema inglés (en desuso)
- 31) Instrumento de percusión nigeriano.
- 32) Cantidad fija de energía emitida o absor-

- bida por la materia.
- 33) Descubrió el proceso para producir oxígeno líquido. Inventó un recipiente aislado para estudiar los gases a bajas temperaturas.
- 38) Acrónimo de Dietidamida de Ácido Lisérgico.
- 39) Reactor nuclear que produce más combustible del que consume.
- 40) Tiene la propiedad de atraer materiales ferromagnéticos.
- 45) Símbolo químico del neón.
- 46) Dominio de internet de nivel superior geográfico para los Estados Unidos.

VERTICALES

- 1) Estrella de nuestro sistema solar.
- 3) Cociente entre la diferencia de potencial que existe en un conductor eléctrico y la corriente que circula por él.
- 4) Unidad de resistencia eléctrica en el sistema internacional de unidades.
- 5) Recipiente aislado térmicamente utilizado para mantener temperaturas muy bajas.
- 6) Símbolo químico del oro.
- 7) Suspensión en el aire de un objeto, por medio de un campo magnético.
- 8) Magnitud termodinámica que indica el grado de desorden molecular de la materia.
- 9) Ciencia que hace inferencias probabilísticas en base a datos numéricos.
- 10) Nombre común del hidróxido de calcio.

SOLUCIÓN CIENTIGRAMA



LA UNIVERSIDAD DE SONORA EN EL SISTEMA NACIONAL DE INVESTIGADORES

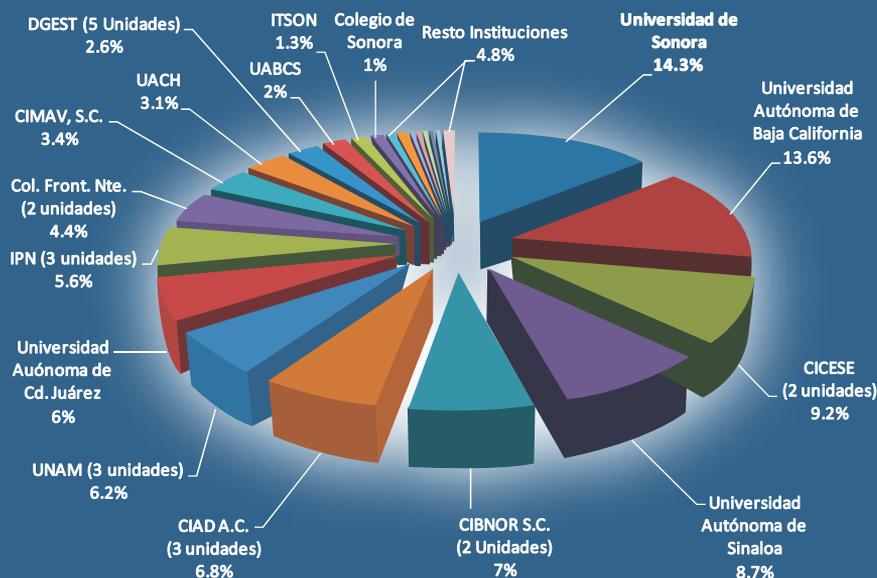


“El saber de mis hijos
hará mi grandeza”

Durante el 2010 la Universidad de Sonora logró incrementar el número de investigadores en el SNI en 16.4% en comparación con el año 2009, pasando de 195 a 227 investigadores, correspondiente a 51 investigadores en el Nivel Candidato, 140 en el Nivel I, 30 en el Nivel II y 6 en el Nivel III.

La Universidad de Sonora ocupa el primer lugar entre las 37 instituciones de la región noroeste con una participación de 14.3% (227 miembros de un total de 1589), seguida por la UABC con 13.6% (216 miembros), CICESE aparece en tercer lugar con 146 investigadores (9.2%). El cuarto lugar es para la UAS con 139 miembros (8.7%), seguido por CIBNOR, S.C. con 112 investigadores (8.7%) y CIAD, A.C. con 108 (7%). En porcentajes menores se encuentran la UNAM (3 unidades) y UACJ con 98 y 96 integrantes respectivamente, el IPN(3 unidades) y el Colegio del Frontera Norte con 5 y 4% cada una (89 y 70), CIMAV y UACH con 3% cada una (54 y 50 miembros, respectivamente) y 25 instituciones más que aportan el 11.5% restante con 184 investigadores adscritos al SNI.

Dentro de las Instituciones de Educación Superior (IES) en el ámbito regional en el año 2010 se logró la incorporación de 760 investigadores al SNI, pertenecientes a 6 IES públicas: UNISON, UABC, UAS, UABCS, UACJ y UACH, lo cual representa una participación de 48% en la región noroeste de un total de 1589 miembros activos. La participación de la UNISON dentro del SNI entre las IES regionales es del 30% (227 miembros); la UABC ocupa el segundo lugar con 216 investigadores (28%) y; la UAS ocupa el tercer lugar con 139 investigadores (18%), seguidas por la UACJ y UACH con 13 y 7% (96 y 50 investigadores, respectivamente), mientras que la UABCS participa con 4% (32 investigadores).



Investigadores SNI en las instituciones de la región noroeste, 2010

De los 386 miembros (24% regional) del SNI en el estado de Sonora la Universidad de Sonora contribuye con 58.8% de los investigadores, lo que la ubica en el primer lugar de participación. El CIAD, A.C. ocupa el segundo lugar estatal con una participación de 19.4% (75 investigadores), seguido por el ITSON y el Colegio de Sonora con 5.4 y 4.1% (21 y 16 investigadores, respectivamente). En el quinto lugar se encuentra la UNAM (Instituto de Geología) con el 3.1% (12 investigadores). Además, se encuentra CESUES con 8 integrantes (2.1%), CIBNOR, S.C. con 7 (1.8%) y 9 instituciones más que aportan el 5.4% restante.

Así, la Universidad de Sonora se consolida como la mejor universidad pública en la región noroeste en el ámbito de la investigación, a partir del número creciente de investigaciones vinculadas a los sectores público y privado, el aumento de publicaciones científicas en medios con arbitraje estricto, el gran número de egresados de los programas de posgrado y los reconocimientos y apoyos recibidos por instituciones nacionales e internacionales.

Fuente: Dirección de Investigación y posgrado, de la Universidad de Sonora



Hitos de la SUPERCONDUCTIVIDAD

100 AÑOS DE SUPERCONDUCTIVIDAD

Personajes clave, año y contribución en el desarrollo teórico y experimental de la física de los superconductores. Premios Nobel que representan la gran expectativa de desarrollo tecnológico.

Carlos Figueroa N., Rafael Pacheco.



1911 Kammerlingh Onnes
Premio Nobel 1913

Resistividad = 0 en el Hg a 4.2 K
enfriado con helio líquido
en la Universidad de Leyden, Holanda



1933 Walter Meissner
Robert Ochsenfeld

Expulsión del campo magnético
del interior de un superconductor.
Diamagnetismo perfecto. Un iman
flota sobre un superconductor



1935 Fritz y Heins London

Primera explicación del efecto Meissner
y resistividad cero con base en leyes
del electromagnetismo



1935 Lev Shubnikov

Descubre las propiedades del
comportamiento magnético de los
superconductores tipo II



1950 Lev Landau
Vitaly Ginzburg
Premio Nobel 2003

Teoría de la superconductividad
desarrollada con base en transiciones de
fase de segundo orden



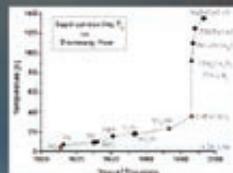
1957 John Bardeen
Leon Neil Cooper
John Robert Schrieffer
Premio Nobel 1972

Teoría Microscópica usando el
formalismo cuántico. Relaciones
Universales de la BCS



1957 Alex Abrikosov
Vitaly Ginzburg
Anthony Leggett
Premio Nobel 2003

Líneas de flujo magnético
en los superconductores tipo II
Solución exacta para el parámetro
diferenciador de tipo I y II



1957 Ivar Giaever
Premio Nobel 1973

Confirmación experimental de
las predicciones del gap de la BCS



1960 Lev Gorkov
Nikolai Bogolubov

Formulación rigurosa BCS y obtención
de ésta a partir de la teoría Ginzburg
Landau



1960 Yakov Eliashberg

Solución exacta a la BCS y
generalización de la teoría



1962 Brian David Josephson
Leo Esaki
Ivar Giaever
Premio Nobel 1973

Tunelamiento de electrones que
se aplican en los SQUIDS, dispositivos
para medir campos magnéticos



1986 Georg Bednorz
Kar. A. Müller
Premio Nobel 1987

Inicia la era de los superconductores
de alta temperatura crítica con un salto de
23 a 80 kelvin