

**DIRECTORIO**

- José Guadalupe Osuna Millán  
Gobernador del Estado de Baja California
- José Oscar Vega Marín  
Secretario de Educación y Bienestar Social  
Presidente del COCYT-BC
- Esther Vaca Jiménez  
Secretaria Técnica COCYT-BC
- José Francisco Blake Mora  
Secretario General de Gobierno
- Manuel Fco. G. Aguilar Bojórquez  
Secretario de Planeación y Finanzas
- José Gabriel Posada Gallego  
Secretario de Desarrollo Económico
- Carlos Armando Reynoso Nuño  
Secretario de Desarrollo Social
- Antonio Rodríguez Hernández  
Secretario de Fomento Agropecuario
- José Gpe. Bustamante Moreno  
Secretario de Salud
- Jorge A. Sánchez Gómez  
Representante del Sector Social y Productivo
- José Jorge Rujana Hernández  
Representante del Sector Social y Productivo
- José Carlos Jiménez Payán  
Representante del Sector Social y Productivo
- Alejandro Mungaray Lagarda  
Investigador UABC
- Guillermo Torres Moya  
Investigador UABC
- Salvador Chiú Tamayo  
Investigador CETYS

**Toda correspondencia enviar a:**  
Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado  
de Baja California. Calzada Anáhuac  
No. 427, Colonia Ex Ejido Zacatecas,  
Mexicali, B.C., México, C.P. 21060.  
Tel. y Fax: (686) 559-88-27  
o al (686) 559-88-33

**Correo electrónico:**  
espíritu\_científico\_en\_accion@yahoo.com.mx  
investigacionbc@gmail.com  
educ\_superiorbc@yahoo.com.mx

# CONTENIDO

<b>Mensaje</b> .....	1
José Guadalupe Osuna Millán Gobernador del Estado de Baja California	
<b>Presentación</b> .....	2
José Oscar Vega Marín Secretario de Educación y Bienestar Social y Presidente del Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Baja California	
<b>Congreso Nacional</b> .....	3
Ciencia y Tecnología: Innovación en el Siglo XXI.....	
<b>Artículos / Ponencias</b> .....	
* Gastón Bachelard y “La formación del espíritu científico”.....	10
* Tecnologías de refrigeración y aire acondicionado sustentables.....	16
* Educación Superior y sustentabilidad en el desarrollo de Baja California.....	21
* El desarrollo sustentable actual: una reconsideración desde la educación ambiental.....	27
* La ciencia regional y el consumo sustentable de energía.....	34
* Hacia una Agenda 21 de la Cultura .....	40
* Concentración de Gas Radón en el suelo y su relación con la ocurrencia de terremotos y efectos en la salud en Mexicali .....	55
* Características de la microempresa marginada: El caso de la ciudad de Mexicali.....	34
<b>Ganadores del Premio Estatal de Ciencia y Tecnología 2007</b> .....	62
<b>Ganadores del Séptimo Concurso Estatal de Ciencia y Tecnología 2007</b> .....	62
<b>Normas editoriales</b> .....	77



Versión digital en la página  
[www.educacionbc.edu.mx](http://www.educacionbc.edu.mx)

**"Espíritu Científico en Acción: Por una cultura científica y de innovación en Baja California"**  
Año 3, Número 6, 2007  
**ISSN-1870-3984**  
**Latindex**

**Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Baja California COCYT-BC**  
Espíritu Científico en Acción es una publicación periódica de divulgación, difusión y comunicación del Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Baja California, Calzada Anáhuac No. 427, Colonia Ex Ejido Zacatecas, Mexicali B.C., México. Con ISSN-1870-3984 otorgado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor. El presente volumen corresponde al periodo julio-diciembre de 2007. El contenido del texto es responsabilidad de los autores. Las opiniones contenidas en los discursos y artículos de la presente edición, no reflejan necesariamente las del Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Baja California. Se autoriza la reproducción parcial o total de los artículos siempre que se mencione la fuente.

## MENSAJE



La importancia del enlace entre los procesos de Investigación- Desarrollo tecnológico-Innovación, es reconocida actualmente, con mayor claridad que en el pasado, como factor decisivo para la transformación económica y social de las naciones, importancia no sólo considerada por los países industrializados, sino también por aquellos en vías de desarrollo, como el nuestro.

La participación de las personas en este enlace se produce en cada una de las fases del proceso, desde que se conciben las ideas, hasta que se realizan los trabajos para poner en valor sus resultados. Asimismo, esa participación se produce también en planos diferentes: en el plano estrictamente individual como protagonista, en el plano de pertenencia a un equipo de trabajo o a una organización y, también, en el plano de sujeto social integrado en una sociedad, con una cultura y valores determinados.

De ahí que resulte indispensable para el ejercicio gubernamental el favorecer la coparticipación de los actores sociales, tanto instituciones educativas y centros de investigación, como empresas, enlazados precisamente por personas competentes para la interrelación y capaces de explorar vías inéditas para encontrar alternativas de solución a problemas específicos. Obviamente estos elementos no deben aparecer como eslabones aislados sino interactuando intensamente unos con los otros.

Si queremos un mejor futuro para nuestras familias, necesitamos dar un impulso renovado a la competitividad que requiere nuestro Estado, incentivando la creación y el crecimiento de empresas más productivas y con una fuerza laboral mejor calificada.

Sólo lograremos crecer con calidad si asumimos el reto de, además de adoptar nuevas tecnologías, promover la innovación. Esa será la clave para lograr el progreso que merecen los bajacalifornianos.

**JOSÉ GUADALUPE OSUNA MILLÁN**  
GOBERNADOR DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA



Ciencia y tecnología son temas que requieren de apoyo y estímulo por parte del gobierno y de la iniciativa privada para promover condiciones favorables para quienes las estudian y desarrollan, con el propósito de que sus productos y aplicaciones generen resultados que repercutan en el bienestar de la comunidad.

Para llevar a cabo lo anterior, a partir de 2002 se definieron y establecieron las bases normativas, administrativas y financieras para fomentar la actividad científica y tecnológica en el Estado.

Así, durante el lapso de cinco años se ha logrado incentivar la investigación y estimular a quienes la llevan a cabo a través del financiamiento que otorga el Fondo Mixto CONACYT-BC, y con la entrega del Premio Estatal de Ciencia y Tecnología.

Un producto surgido del apoyo antes citado es esta revista, "Espíritu Científico en acción", que difunde el quehacer científico de Baja California para que la comunidad se entere de temas que ocupan el interés de académicos y especialistas.

Esta revista se ha integrado al Sistema Regional de Información en Línea para Revistas de América Latina y el Caribe, España y Portugal (Latindex), lo que significa que los autores regionales de ponencias e investigaciones tendrán la posibilidad de dar a conocer sus documentos en contextos más amplios.

En este número se integran ponencias e investigaciones que abordan diversas actividades humanas, algunas de las cuales, por sus efectos, perfilan ya el advenimiento de situaciones problemáticas en caso de no adoptar nuevos o modernos enfoques que las mitiguen o desvanezcan.

Otras se enfocan a asuntos de carácter económico-vital, en donde se vinculan alumnos de servicio social y microempresarios con el ánimo de retroalimentarse y ofrecer, los primeros, un conocimiento más puntual de una actividad que crece tanto en nuestro Estado como en el País.

A través de la ciencia, diferentes actividades humanas encuentran un camino para explicarse a sí mismas, para sistematizarse y para buscar su transformación o evolución, siempre con el objetivo puesto en la mejora del desarrollo humano, que es el principio de la mejora social.

Con las bases establecidas al inicio de la presente administración, se allana el camino para que la ciencia y la tecnología continúen fortaleciéndose como motores impulsores del desarrollo bajacaliforniano.

#### JOSÉ ÓSCAR VEGA MARÍN

Secretario de Educación y Bienestar Social  
Presidente del Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Baja California

## CONGRESO NACIONAL

# CIENCIA Y TECNOLOGÍA: LA INNOVACIÓN EN EL SIGLO XXI



El Congreso: "Ciencia y Tecnología: la Innovación en el siglo XXI" se realizó los días 5, 6 y 7 de junio de 2007 en las instalaciones del Centro Cultural Tijuana, este gran evento constituyó un espacio para el análisis sistemático de las perspectivas que el futuro nos plantea como país y como región, en cada una de las dimensiones susceptibles de visualizarse (económica, política, social y cultural) a fin de asumir positivamente su construcción y asegurar el progreso, la justicia, la equidad y la sustentabilidad.

El objetivo del Congreso fue analizar las condiciones que caracterizan el quehacer científico y tecnológico tanto a nivel nacional como internacional, asociados a la capacidad de innovación que generan así como los desafíos que enfrentaremos en el futuro mediato dadas las nuevas condiciones que la globalización está planteando a las estructuras sociales, productivas y normativas.

Fue fundamental el contar con puntos de vista diversos que delimiten esquemas de consenso alternativos que permitan constituir soluciones multidimensionales apoyadas en una visión científica.

#### EL CONGRESO ESTUVO DIRIGIDO A:

- Académicos e investigadores de instituciones de educación superior y centros de investigación públicos y privados.
- Funcionarios de los poderes Ejecutivo y Legislativo.
- Empresarios implicados en el desarrollo de actividades científicas y/o tecnológicas.
- Estudiantes de licenciatura y postgrado en cualquiera de las áreas del conocimiento.
- *Personas interesadas en el tema.*

#### ACTIVIDADES REALIZADAS DURANTE EL CONGRESO

El martes 5 de junio se inauguró el Congreso con la presencia del Lic. Eugenio Elorduy Walther gobernador del Estado de Baja California, el Maestro Juan Carlos Romero Hicks director General del CONACYT, el Lic. Oscar Ortega Vélez secretario de Educación y presidente del Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología, el Dr. Héctor Nolasco Soria, en representación de la REDNACECYT y el Dr. Gabriel Estrella Valenzuela, rector de la Universidad Autónoma de Baja California. Además se contó con la representación del Congreso de Baja California y de la Secretaría de Desarrollo Económico. La inauguración fue muy emotiva ya que las palabras versaron acerca del desarrollo científico y tecnológico de nuestro Estado que lo posiciona como una oportunidad para las inversiones nacionales e internacionales por las características en desarrollo de formación de recursos humanos que lo llevan a tener una cultura de la innovación bien definida. Durante los tres días del evento asistieron

**Junio**  
**5.6.7.2007**  
CECUT, Centro Cultural Tijuana

alrededor de 400 personas entre académicos e investigadores del estado y del país, estudiantes de Educación Superior, empresarios, rectores y directores de instituciones de educación superior en el Estado, jóvenes ganadores de los Premios Estatales de Ciencia y Tecnología 2007 de todos los niveles educativos además las actividades del Congreso se transmitieron vía web conference los tres días del evento.

**PREMIO ESTATAL**

**CIENCIA Y TECNOLOGÍA 2007**

El Congreso sirvió de marco para la entrega del Premio Estatal de Ciencia y Tecnología que en este 2007 lo obtuvo el grupo HyDRa (Hydrodynamic Radial Polishing-Sistema de Pulido Hidrodinámico de Alta Tecnología), de Ensenada, propuestos por la UNAM, Instituto de Astronomía, Observatorio Astronómico Nacional, en el Campo VI: Ciencias de la Ingeniería y Tecnología. Este grupo está integrado por: el Dr. Esteban Luna Aguilar, el Dr. Luis Salas Casales, el Dr. Juan M. Núñez Alfonso y el Tec. Jorge Valdéz Hernández. Se hicieron merecedores a este galardón por la originalidad en el desarrollo de proyectos así como por la constitución de un equipo de trabajo sobresaliente y la generación de conocimientos y tecnologías reconocidas nacional e internacionalmente.

**CONFERENCIAS MAGISTRALES**

La primera Conferencia Magistral se tituló "La investigación universitaria en el Siglo XXI" impartida por el Dr. Salvador Malo Álvarez, del Instituto Mexicano para la Competitividad, donde brindó un panorama de la investigación en las instituciones de educación superior en el país y el mundo. El Maestro Juan Carlos Romero Hicks, director General del Consejo Nacional de Ciencia y

Tecnología impartió la Conferencia Magistral "Nuevas políticas en materia de ciencia y tecnología", exponiendo los diferentes apoyos, programas y fondos con los que cuenta el CONACYT para el fortalecimiento a la actividad científica y tecnológica en el país.

El Dr. Sergio Fuentes Moyado, director del Centro de Ciencias de la Materia Condensada de la UNAM participó con la Conferencia: "Iniciativa nacional en nanotecnología" donde de una forma concreta expuso algunas consideraciones básicas de la nanotecnología y su aplicación en distintos campos y de cómo el país puede aprovechar los desarrollos tecnológicos y la formación de recursos humanos con los que cuenta para apostarle a esta rama de la ciencia.

Por parte de la Universidad Nacional Autónoma de México, el Dr. Clemente Ruiz Durán brindó la Conferencia Magistral "Potencial de innovación de las entidades federativas: el reto hacia el futuro" su plática vislumbró los retos que enfrentan las entidades federativas en su desarrollo, identificando las capacidades y oportunidades que tienen. La última Conferencia Magistral se denominó: "La contribución de la ciencia y la tecnología en el desarrollo



económico", sustentada por el Dr. Alejandro Díaz Bautista, Investigador del Colegio de la Frontera Norte A.C.

**PANEL**  
**"Ciencia, desarrollo e innovación en Baja California"**

El Panel "Ciencia, desarrollo e innovación en Baja California" estuvo integrado por el Dr. Jorge Bustamante Fernández investigador del Colegio de la Frontera Norte y Premio Estatal de Ciencia y Tecnología 2003, el Dr. Leonel S. Cota Araiza investigador del Centro de Ciencias de la Materia Condensada y Premio Estatal de Ciencia y Tecnología 2005, el Dr. Saúl Álvarez Borrego, investigador del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada y ganador del Premio Estatal de Ciencia y Tecnología 2005, el Dr. Luis Salas Casales investigador del Instituto de Astronomía de la UNAM en Ensenada y quien es el líder del Grupo HyDRa, ganadores del Premio Estatal de Ciencia y Tecnología 2007; además del Maestro Horman Millán Sánchez, de SONY, Baja California y Premio Nacional de Tecnología en el 2006.



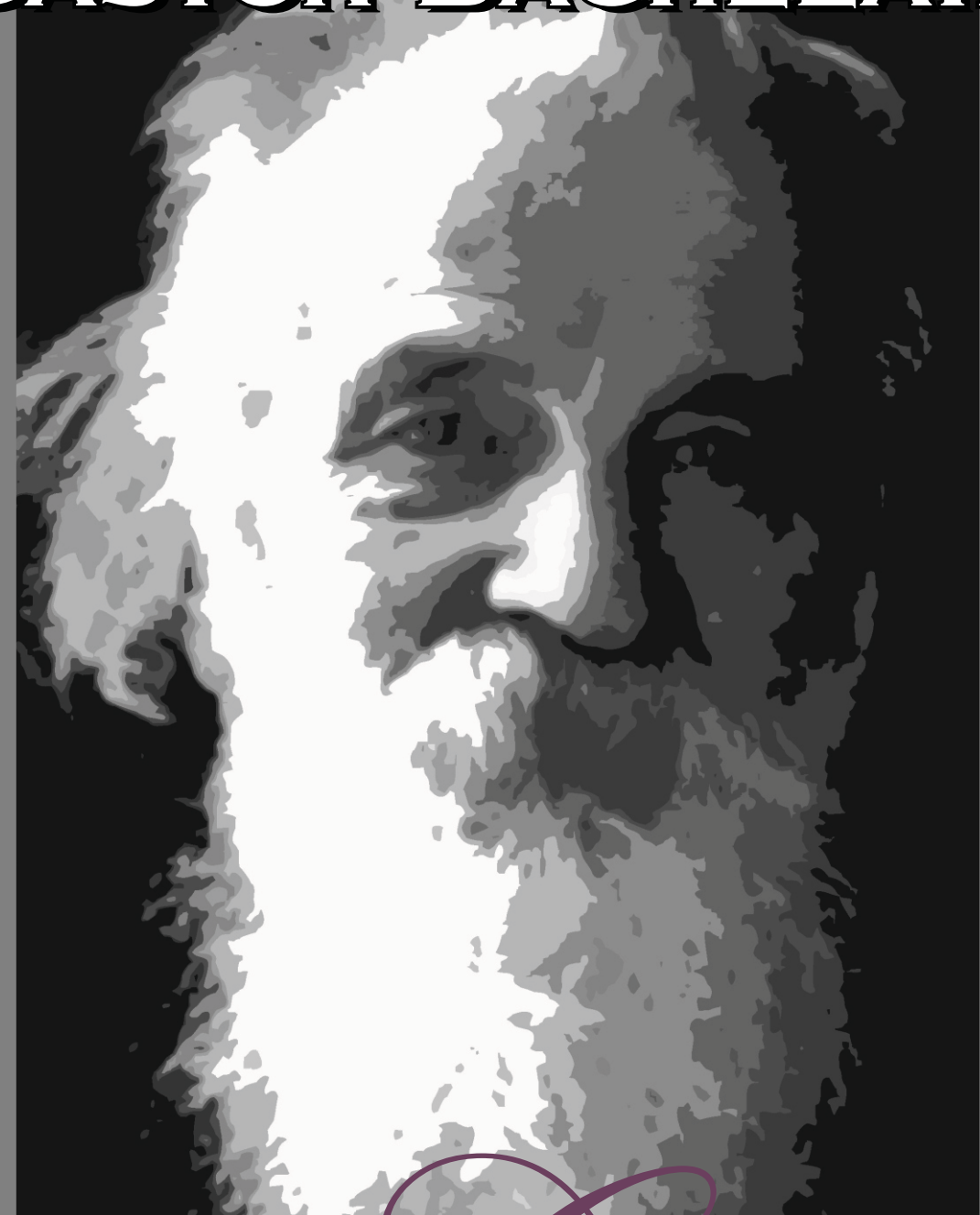
El Panel ofreció un panorama de distintos puntos de vista del estado de la ciencia y tecnología en Baja California además del tránsito hacia una cultura de innovación conjuntando academia y sector productivo.

**EVENTO CULTURAL**

Durante el Congreso los asistentes a dicho evento asistieron a la proyección de la película IMAX "Mar profundo", esta función se realizó en el Planetario del Centro Cultural Tijuana donde los asistentes viajaron a las profundidades de los océanos conociendo su flora y fauna así como el impacto que ha tenido el hombre en estos hábitat. Tanto los Bajacalifornianos asistentes como las personas de otros estados del país tuvieron la oportunidad de visitar el "Museo de las Californias", con una visita guiada donde se pudo apreciar el pasado de nuestro estado y de las diferentes culturales que se han establecido en la entidad. El Centro Cultural Tijuana en sus múltiples galerías presentó a los asistentes las diversas manifestaciones de la cultura en exposiciones de fotografía, pintura y más.



# GASTÓN BACHELARD



Y LA FORMACIÓN DEL ESPÍRITU CIENTÍFICO

“LA CIENCIA ES LA ESTÉTICA DE LA INTELIGENCIA”

- Gastón Bachelard -

*Mei elidim guido y suento ams  
 No tiene d. que pedime con  
 por no habeme cuente, yo del  
 stambien habido hecho y lo  
 he degado por estar abruma  
 de trabajo y nois amame suin  
 Aquí continua la situac  
 lo mismo de depende de  
 esto habito en muchos a*

## GASTÓN BACHELARD (1884-1962)

Filósofo y ensayista francés. Bachelard nació en Bar-sur-Aube en el seno de una familia de vendedores de periódicos y tabaco. Al acabar los estudios secundarios trabajó en la oficina de correos de Remiremont hasta 1906 y más tarde en París entre 1907 y 1913. A pesar de trabajar 60 horas por semana en París, empezó a estudiar y se licenció en matemáticas en 1912. Su deseo de ser ingeniero se vio truncado por el estallido de la I Guerra Mundial y su alistamiento en el ejército. Después de la desmovilización, fue nombrado profesor de física y química en Bar-sur-Aube.



La teoría de la relatividad echó por tierra sus ideas sobre la física, por lo que regresó al estudio de la filosofía occidental, obteniendo una segunda licenciatura en letras en 1920. Después consiguió una cátedra tras aprobar una oposición (agrégation en Francia), y obtuvo su doctorado en 1927 (su tesis recibió un premio). En 1930 inició una típica carrera profesoral, dando clases de historia y filosofía de las ciencias primero en Dijon y luego en La Sorbone, donde permaneció hasta 1954. Recibió la Legión de Honor en 1951 y el Gran Premio Nacional de las Letras.

La energía intelectual de Gastón Bachelard se dirigió hacia dos espacios fundamentales: la racionalidad científica y la creación poética. Su obra, desplegada en más de una veintena de libros, conjugó dimensiones esenciales de la experiencia espiritual del hombre contemporáneo. Bachelard supo detectar los aspectos centrales de nuestra condición: de ahí la actualidad y el valor filosófico de sus escritos; de ahí, también, la pasión que supo depositar en todos ellos. En sus libros estos dos aspectos no están entremezclados sino que, más bien, se alternan.

En 1934, publicó *El nuevo espíritu científico* y en 1938 *La formación del espíritu científico*. La importancia epistemológica de ambos libros es todavía evidente y sigue siendo relevante para discernir los problemas científicos contemporáneos. Su idea principal es que en el futuro el conocimiento se basará en la negación del conocimiento actual.

En su libro *La formación del espíritu científico* profundiza en las consecuencias epistemológicas de la que ha sido una mutación fundamental en la ciencia del siglo XX. La física relativista de Einstein ha sustituido a la newtoniana, los esquemas mentales extraídos del mecanicismo

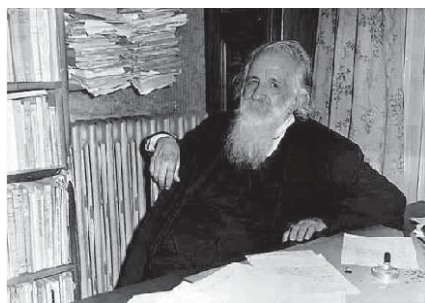
(filosóficamente formulados en la epistemología cartesiana) ya no son válidos. En este contexto, Bachelard acuña la noción de 'corte' o 'ruptura' epistemológica: los avances en la ciencia no sólo requieren una acumulación, requieren una ruptura con los hábitos mentales del pasado. Los avances se producen, pues, venciendo resistencias y prejuicios, aquellos que pertenecen al cuadro conceptual y a las imágenes dominantes en la configuración epistemológica que ha de superarse. Esta noción se corresponde aproximadamente a lo que dirá luego Kuhn sobre los cambios de paradigma.

Bachelard consideraba que la ciencia progresaba a través de la superación de obstáculos epistemológicos. En este sentido, se conoce "en contra de conocimiento anterior, destruyendo conocimientos mal adquiridos o superando aquello que, en el espíritu mismo, obstaculiza la espiritualización". Algunos de los obstáculos que deberá superar la ciencia son, entre otros, la opinión y la observación básica, que deben sustituirse por el ejercicio de la razón y la experimentación.

Según Bachelard, la ciencia no puede producir verdad. Lo que debe hacer es buscar mejores maneras de preguntar. Él usa para ejemplificar el caso una metáfora: "el conocimiento de lo real es una luz que siempre proyecta alguna sombra". Cada superación de algún obstáculo epistemológico conlleva necesariamente otro obstáculo más complejo.

Sus análisis sobre lo imaginario están recogidos en libros que tienen que ver con su psicoanálisis de los elementos: Psicoanálisis del fuego (1938), El agua y los sueños (1942), El aire y los sueños (1943) La tierra y la ensoñación de la voluntad (1948). Estas obras muestran una gran influencia de Carl Gustav Jung, sobre todo de sus ideas sobre la energía espiritual y la oposición ánima/persona. Bachelard dedicó los últimos años de su vida a una búsqueda más poética: La poética del espacio (1957) y La poética de la ensoñación (1960). [<http://www.epdlp.com/bachelard.html>]

En resumen, hay que ver a Bachelard como una de las contribuciones más profundas y originales a la filosofía del siglo XX, particularmente en la situación de la filosofía europea de entreguerras cuando entra en escena una nueva consideración de los aspectos inconscientes, de las variables míticas, de la referencia al imaginario. Todo eso supone una pequeña revolución en los ámbitos de la simbología, de la estética. Pero el mérito añadido de Bachelard es el de haber relacionado este ámbito con el de la filosofía de la ciencia, rompiendo una barrera que parecía insalvable.



... "el conocimiento de lo real es una luz que siempre proyecta alguna sombra"

**SUS OBRAS**

- El nuevo espíritu científico (1934)
- La formación del espíritu científico (1938)
- Psicoanálisis del fuego (1938)
- Lautréamont (1939)
- El agua y los sueños (1942)
- El aire y los sueños (1943)
- La tierra y los ensueños de la voluntad (1948)
- La tierra y las ensoñaciones del reposo (1948)
- La dialéctica de la duración (1950)
- El materialismo racional (1953)
- La poética del espacio (1957)
- La poética de la ensoñación (1960)
- El derecho de soñar (1970)
- Fragmentos de una poética del fuego (1988)
- La intuición del instante

**BIBLIOGRAFÍA**

"Aproximación onírica a Bachelard: De la Poética de la ensoñación la Poética del espacio" Carlos Alberto Villegas Uribe  
<http://www.ucm.es/info/especulo/numero29/bachelard.html>

"Bachelard: del cientifismo a la imaginación de la materia" (en Jaime D. Parra (Coord.), La simbología. Grandes figuras de la Ciencia de los Símbolos, Barcelona: Montesinos, 2001, pp. 121-129)  
<http://www.inicia.es/de/aribas/bache.html>

El poder de la palabra (página electrónica) Bachelard  
<http://www.epdlp.com/escritor.php?id=1428>

Temakel (página electrónica)  
<http://www.temakel.com/textobachelard.htm>

Wikipedia, Enciclopedia libre  
[http://gl.wikipedia.org/wiki/Gaston\\_Bachelard](http://gl.wikipedia.org/wiki/Gaston_Bachelard)

G. Bachelard: Dialéctica de lo de dentro y de lo de fuera. Capítulo IX de La Poética del espacio, Ed. Fondo de Cultura Económica,  
<http://homepage.mac.com/eeskenazi/bachelard1.htm>

# TECNOLOGÍAS DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO SUSTENTABLES

Nicolás Velázquez Limón  
 Gabriel A. Razo Herrera  
 Universidad Autónoma de Baja California,  
[nicolasvelazquez@iing.mx](mailto:nicolasvelazquez@iing.mx)

**INTRODUCCIÓN**

La conservación de productos perecederos y el acondicionamiento térmico de espacios es una necesidad fundamental para el desarrollo de cualquier sociedad. Si se logra desarrollar nuevos sistemas que cubran estas necesidades sin dañar el medio ambiente, con una inversión inicial razonable y con bajo costo de operación y mantenimiento, el beneficio para la sociedad sería muy importante, tanto en su calidad de vida como en su economía.

La climatización en el sector residencial, comercial e industrial representa una clara oportunidad para la implementación de la energía solar térmica, puesto que los beneficios ambientales, económicos y energéticos son enormes. Hasta la fecha, el aprovechamiento de la energía solar térmica para enfriamiento en dichos sectores no ha sido desarrollado por una combinación de razones tecnológicas y económicas que han venido restringiendo su desarrollo, más sin embargo, todas estas barreras pueden ser superadas. Las nuevas tecnologías desarrolladas, tanto en los sistemas de captación solar como en los sistemas térmicos de enfriamiento, han abierto nuevas perspectivas en este campo del conocimiento. Actualmente existen sistemas energéticos solares tecnológicamente desarrollados para satisfacer las necesidades de refrigeración y aire acondicionado, con los cuales se puede contribuir a un desarrollo sustentable, pero surgen las preguntas lógicas: ¿Se obtendrán ahorros económicos en la factura energética con la instalación de estos sistemas? ¿Qué

sistema de enfriamiento termo-solar es técnica y económicamente más viable? ¿Podrán tener en el corto plazo la infraestructura requerida y competir con los sistemas convencionales de enfriamiento? ¿En un futuro próximo se tendrá una mayor presencia en el mercado? Si no impulsamos estas nuevas tecnologías ¿que pasará con los problemas ambientales provocados por las tecnologías de enfriamiento convencionales? ¿Qué tipo de

incentivos fiscales o subsidios se podrían otorgar para que la tecnología de enfriamiento solar logre su consolidación comercial?

Hay muchas preguntas y pocas respuestas, pero el principal reto que se tiene es hacer que los sistemas de enfriamiento solar bajen de precio, logrando esto y con el constante incremento de los energéticos convencionales, podremos remplazar paulatinamente una de las

tecnologías que más efectos secundarios tiene sobre el ambiente, por una tecnología limpia y sostenible.

**ANTECEDENTES**

El enfriamiento termosolar aparece como resultado del desarrollo tecnológico iniciado en el campo de la refrigeración hace más de 150 años. El enfriamiento producido por absorción de vapor y la vaporización de un líquido lo produjo por primera vez Faraday en 1824, utilizando amoníaco líquido y cloruro de plata en un pequeño equipo intermitente, pero fue el francés Ferdinand Carré quien inventó el sistema de refrige-



Tecnología de enfriamiento evaporativo con desecante sólido.

ración por absorción de operación continua y lo patentó en los Estados Unidos de América en 1860, (Pilatosky et al., 1993). Doce años después de la invención de Carré, se presentó la primera máquina de enfriamiento operada con energía solar, de la cual se tienen registros, fue desarrollada en París por Alber Pifre en 1872, dicha unidad se utilizó para producir una pequeña cantidad de hielo.

Aunque en los años subsiguientes se introdujeron numerosas mejoras en los sistemas de enfriamiento por absorción, no fue sino hasta 1913 cuando el alemán Edmund Altenkirch sentó los principios de la termodinámica de las mezclas binarias para absorción, cuyas bases teóricas dieron inicio al desarrollo de una nueva generación de ciclos de absorción, y es cuando empiezan aparecer los primeros listados de posibles mezclas de trabajo para estos ciclos. En 1976, alrededor de 500 sistemas de aire acondicionado operados con energía solar térmica fueron instalados en Estados Unidos de América, la mayoría de ellos fueron sistemas de absorción usando bromuro de litio-agua como mezcla de trabajo y acoplados a un arreglo de colectores solares de placa plana, (Pridasawas y Nemariam, 2003).

Existen muchos ciclos avanzados que se basan en los principios desarrollados por Altenkich (1913), como el ciclo GAX (Phillips, 1990), Regenerativo GAX (R GAX) (Dao Kim, 1978), multi GAX (M GAX) (Staicovici, 1995), poli ramificado Regenerativo GAX (Staicovici, 1995), Intercambio de Vapor GAX (VX GAX) (Rane, 1994), entre otros. Varios de estos ciclos han sido estudiados operando con energía solar o en forma híbrida con los combustibles fósiles (Velázquez, 2002).

Así como en los sistemas de absorción, también se han tendido avances en los sistemas de adsorción, enfriamiento por desecante, efecto compresión, entre otras tecnologías alternativas.

Los últimos avances de la tecnología de enfriamiento termo-solar han sido enfocados principalmente en el desarrollo de nuevos ciclos, nuevos fluidos de trabajo, equipo de transferencia de masa y calor más eficiente y compacto, una mayor integración energética interna, sistemas de control automático más sofisticados y baratos y nuevos materiales de construcción.

### PROBLEMÁTICA ENERGÉTICA Y AMBIENTAL

Aunque la utilización de los equipos de climatización eléctricos es muy cómoda y aparentemente limpia, su uso masivo ha provocado la aparición de dos grandes problemas: uno ambiental y el otro de infraestructura para la generación y distribución de la energía eléctrica.

Desde el punto de vista ambiental, las emisiones de los fluidos refrigerantes empleados en los equipos de climatización (CFC), han sido consideradas como las causantes del deterioro de la capa de ozono de nuestro planeta. Además, dichas emisiones también favorecen el efecto invernadero y en cierta medida, el incremento de la temperatura media global del planeta.

El fuerte aumento experimentado en la demanda de aire acondicionado durante los últimos años, ha provocado un incremento considerable en el consumo eléctrico tanto en el horario base como en horas punta. La mayor parte de los equipos de climatización actualmente comercializados son accionados mediante energía eléctrica, lo que provoca alteraciones de la curva de demanda. En Mexicali, B.C., el consumo de dicha energía llega a ser hasta tres veces más alto en verano que en invierno, por causa del acondicionamiento térmico de espacios y lo más preocupante es que cada año crece en una forma desproporcionada. El gobierno ha introducido un conjunto de medidas financieras con el fin de disminuir la demanda eléctrica y ho-



Unidades de enfriamiento por absorción.

mogeneizar la curva horaria, pero dichas medidas, hasta la fecha, no han dado los resultados esperados. El problema es tal que en algunos países la red eléctrica se encuentra prácticamente colapsada, a causa de que el crecimiento de la demanda es mayor en verano que en invierno. El dramático incremento en el precio de la energía eléctrica, seguido por la alta y creciente demanda de refrigeración y aire acondicionado, aunado al fuerte impacto ambiental provocado tanto por las plantas de generación eléctrica como por la tecnología de enfriamiento por compresión mecánica de vapor, hace prioritaria la búsqueda de nuevas alternativas sustentables para la generación eléctrica y producción de frío. Se requiere desarrollar y evaluar el potencial de las diferentes tecnologías de enfriamiento ambientalmente sostenibles, con miras de promover las tecnologías que protejan el ambiente.

### ARQUITECTURA ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE

El diseño de una arquitectura energéticamente eficiente y apropiada a condiciones climáticas y sociales es un requisito previo a cualquier implementación de tecnologías de enfriamiento sustentables, ya que para utilizar unidades de menor capacidad y tener una menor inversión inicial, aunado a un menor costo de operación, es necesario que con la aplicación de criterios bioclimáticos se

disminuya al máximo los requerimientos de enfriamiento de la edificación. De esta manera, con la integración de las tecnologías de acondicionamiento térmico pasivo en las edificaciones, se mejorará sus condiciones térmicas y se disminuirá el uso de los recursos energéticos, reduciendo el impacto ambiental de los edificios y evitando que la dependencia de las instalaciones de acondicionamiento artificial se vuelva cada vez más indispensable. La implementación de nuevas tecnologías pasivas indica un potencial importante de reducción del consumo de energía en edificios. Sin embargo, el beneficio potencial de mayor importancia económica es la minimización de la capacidad requerida de refrigeración y la reducción proporcional de la inversión en las instalaciones de aire acondicionado en edificios, con lo cual se beneficiará la rentabilidad de los proyectos de enfriamiento solar.

### TECNOLOGÍAS DE ENFRIAMIENTO TERMOSOLAR EMERGENTES

Las tecnologías de enfriamiento solar ambientalmente sostenibles aprovechan que el sol es una fuente de energía limpia, inagotable y gratuita. La transformación de energía solar en energía térmica o eléctrica puede realizarse en el propio lugar de consumo, sin tener que sufrir transportes ni depender de infraestructuras propiedad de terceros.

*El enfriamiento producido por absorción de vapor y la vaporización de un líquido lo produjo por primera vez Faraday en 1824.*

La producción de enfriamiento solar se puede realizar utilizando energía solar térmica o electricidad solar para accionar una máquina de refrigeración o climatización. Hay seis tipos básicos de tecnologías de enfriamiento solar:

- 1) Enfriamiento por absorción: Se utiliza la energía solar térmica para vaporizar o liberar el refrigerante de la solución absorbente.
- 2) Enfriamiento por adsorción: Se utiliza la energía solar térmica para regenerar el lecho sólido, con la adición de calor se vaporiza o libera el refrigerante del adsorbente.
- 3) Enfriamiento por desecante: Se utiliza la energía solar térmica para regenerar (secar) el desecante sólido o líquido.
- 4) Enfriamiento por efecto compresión: Se utiliza la energía solar térmica para calentar el fluido de trabajo y evaporar el refrigerante.
- 5) Enfriamiento por compresión de vapor: Se utiliza energía solar térmica para activar un motor de calor de un ciclo Rankine.
- 6) Enfriadores evaporativos, acondicionadores de aire y bombas de calor que se pueden accionar por los sistemas solares fotovoltaicos.



### SISTEMAS DE CAPTACIÓN SOLAR

La función de las tecnologías de colectores solares térmicos es absorber la radiación solar incidente sobre el colector y transferir dicha energía a un fluido que circula a través del mismo. Existe una gran variedad de colectores solares y normalmente son clasificados según el grado de concentración de la energía solar captada o por el nivel de temperatura del fluido calo-portador que producen (baja, media o alta temperatura).

Para los colectores térmicos suele definirse el grado de concentración solar, en base a las características geométricas:

$$C = \frac{A_c}{A_r}$$

Donde:

$C$ : Índice de concentración.

$A_c$ : Área de captación solar del colector.

$A_r$ : Área de recepción o absorción del colector.

Otra forma de definir la concentración es con la relación entre la intensidad del sol y la que se hace incidir sobre el receptor/absorbente. De acuerdo a lo anterior, se puede hacer una clasificación de los colectores solares térmicos en dos grandes grupos:

Colectores solares planos

$(C = 1)$

Colectores solares de concentración

$(C > 1)$

Dentro del primer grupo se tiene:

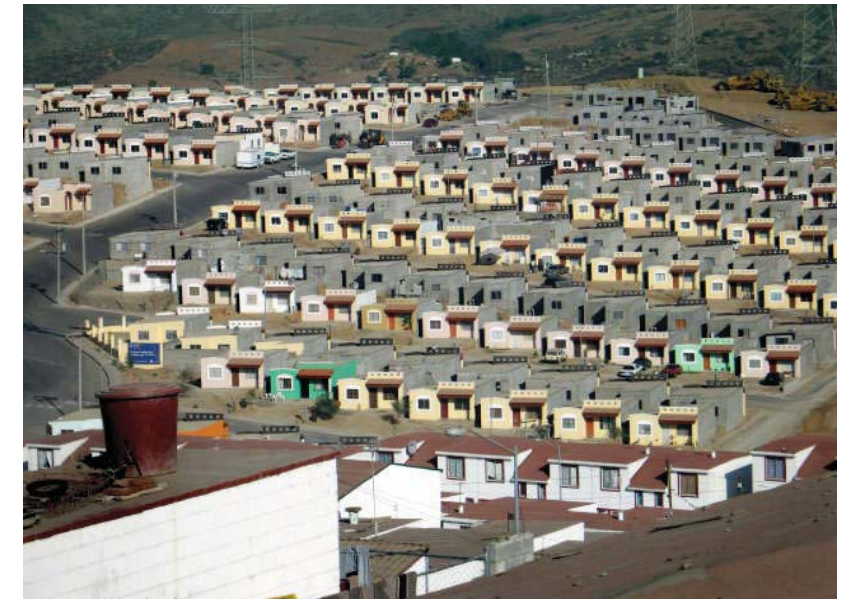
- Colectores de placa plana (con una o dos cubiertas).
- Colectores de placa plana con aislamiento térmico transparente (TIM).
- Colectores de tubos evacuados (con gas de baja conductividad o alto aislamiento de vacío).
- Colectores con tubos de calor (con o sin vacío).

Por el lado de los colectores solares con concentración se tienen, entre otros menos comunes:

- Colectores parabólicos compuestos (estacionarios o con seguidor solar).
- Colectores de cilindro parabólico (foco lineal).
- Colectores de disco parabólico (foco puntual).
- Colectores fresnel (reflector o refractor).
- Colectores de torre central.

Un captador solar de placa plana está formado por una superficie encarada al sol, que absorbe sus rayos y convierte la radiación solar en calor, posteriormente transfiere la energía a un líquido calo-portador que puede ser de bajo punto de congelamiento y alto punto de ebullición, según sea la aplicación. La bomba de la estación del circuito solar facilita el transporte de calor del colector al acumulador solar. Normalmente las curvas anuales de oferta de la irradiación solar no coinciden con las de la demanda de calor. Por eso se instalan depósitos solares que acumulan el calor para los períodos de la demanda térmica, en nuestro caso se almacena para cubrir la demanda de la unidad de enfriamiento por las noches y en los períodos del día que se tengan nublados.

En general, los colectores de placa plana tienen pérdidas de calor importantes, dado que si bien el vidrio no deja escapar el calor en forma de radiación infrarroja, éste aumenta su temperatura por efecto del aire caliente por convección, transmitiendo el calor al exterior por conducción y convección cuando la temperatura de los alrededores es más baja. Por lo anterior, se han introducido una serie de mejoras tendientes a aumentar la eficiencia térmica de los colectores, dando origen a nuevos colectores solares, tal es el caso de los colectores de placa plana con aislamiento térmico transparente (TIM), que con el simple hecho de poner un



panal que bloquee la convección natural entre la placa absorbente y la cubierta, han logrado mayores eficiencias y temperaturas más altas del fluido calo-portador. Con el mismo fin de aumentar la eficiencia y obtener mayores temperaturas, fueron desarrollados los colectores de tubos evacuados, los cuales pueden contar con un alto aislamiento de vacío ( $10^{-3}$  mbar) o con gas de baja conductividad como el Xenón. Con colectores de placa plana con superficie absorbente selectiva y dos cubiertas podemos lograr temperaturas hasta  $90^\circ\text{C}$ , con una eficiencia entre 30 y 45%, con los TIM y tubos evacuados superamos los  $150^\circ\text{C}$ . Con estas tecnologías podemos satisfacer fácilmente las necesidades térmicas de los sistemas de enfriamiento por adsorción, enfriamiento por desecante y las unidades por absorción de simple y doble efecto.

En los colectores solares con concentración se utilizan espejos que concentran la radiación solar, por lo general sobre un foco determinado a través de una línea denominada eje focal, donde se ubica el receptor, por el cual se hace circular el fluido calo-portador. La concentración va-

**La transformación de energía solar en energía térmica o eléctrica puede realizarse en el propio lugar de consumo, sin tener que sufrir transportes ni depender de infraestructuras propiedad de terceros.**

ría según sean las características constructivas, desde valores muy pequeños del orden de 2 con sistemas concentradores muy simples, hasta valores de 1500 o más, con sistemas automáticos de seguimiento sofisticados de gran precisión (servomecanismos).

Los colectores parabólicos compuestos (CPC) representan una de las mejores opciones para el enfriamiento termo-solar, ya que pueden ser estacionarios, coleccionar radiación difusa y directa, son fáciles de construir y de bajo precio. En forma estacionaria se pueden obtener temperaturas entre 60 y 230 °C, con concentraciones entre 2 y 5. Los CPC con seguimiento solar pueden alcanzar temperaturas hasta 280 °C con concentraciones alrededor de 15. Los colectores de concentración lineal como los que utilizan un canal parabólico en forma de espejo y un tubo ubicado en el foco de la parábola, por el cual circula el fluido a calentar, por lo regular su concentración varía de 15 a 40 y la temperatura que suele alcanzar el fluido se sitúa entre los 60 y 300 °C, dependiendo de la configuración del sistema de canal parabólico. Estos dos últimos colectores de concentración satisfacen muy bien las necesidades energéticas de los sistemas de enfriamiento termo-solar avanzados, como lo son los ciclos de absorción tipo GAX, ciclos bromuro de litio-agua de triple efecto, entre otros que demandan altas temperaturas para su operación.

Las características principales de los colectores solares térmicos más importantes se resumen en la tabla 1.

#### Sistemas térmicos de enfriamiento

Existe una amplia gama de tecnologías de enfriamiento que son activadas térmicamente y algunas de las más importantes se muestran a continuación:

- Sistemas térmicos de enfriamiento por absorción (con una gran variedad de tipos y diferentes fluidos de trabajo).

- Sistemas térmicos de enfriamiento por absorción-difusión.
- Sistemas térmicos de enfriamiento por adsorción (con y sin reacción química).
- Sistemas de enfriamiento termoquímicos.
- Sistemas de enfriamiento evaporativo con desecante (sólido y líquido).
- Sistemas de eyecto compresión.
- Sistema de enfriamiento Ranking

De entre las tecnologías de enfriamiento con activación térmica destacan los sistemas de enfriamiento por absorción, por ser ampliamente conocidos, tener una madurez tecnológica, ser utilizados en todo tipo de aplicaciones y en los diferentes sectores (industrial, comercial y residencial), por estar disponible comercialmente en toda la gama de potencias, por poder utilizar diferentes fuentes térmicas de activación, por su fiabilidad y flexibilidad de funcionamiento y, además, por utilizar refrigerantes naturales es una tecnología amigable con el ambiente.

Los sistemas de absorción se basan en la propiedad que poseen ciertos disolventes de absorber grandes cantidades de un vapor determinado y de restituir dicho vapor cuando se calienta la solución formada en la absorción. Por ejemplo, a 0 °C el agua absorbe alrededor 1000 veces su volumen de amoníaco y sobre 700 veces a 15 °C. El agua restituye casi la totalidad de este gas si se calienta la solución a 100 °C. Haciendo uso de dichas propiedades, se puede reemplazar el compresor eléctrico de un sistema de compresión mecánica (SCM) por una máquina termomecánica, que consiste en un circuito de solución (refrigerante-absorbente) compuesto por un absorbedor, un generador y una bomba de solución.

En las máquinas de enfriamiento termo-solar por absorción, la solución de agua-amoníaco es calentada por la energía solar en el generador, donde el amoníaco

se evapora, separándose del agua. Dicho vapor pasa al condensador, donde se enfría gracias al paso de un flujo de aire producido por un ventilador externo y se condensa saliendo en estado líquido. El líquido de amoníaco resultante pasa por una válvula de expansión donde al bajar su presión provoca que baje su temperatura y esté listo para entrar al evaporador, donde recibe calor y se evapora; el calor que recibe puede ser del agua procedente de un circuito externo o del espacio a acondicionar. Posteriormente, el vapor de amoníaco es conducido al absorbedor, donde se encuentra con el agua que queda tras la separación en el generador.

En este momento tiene lugar la absorción, proceso que da nombre al ciclo de trabajo de esta aplicación: el vapor de amoníaco es absorbido por el agua en la solución líquida procedente del generador, para a continuación iniciar de nuevo el ciclo en el generador.

Una línea en la investigación de ciclos de absorción avanzados que inclusive se tienen disponibles comercialmente, es la de los ciclos de múltiple efecto (comercialmente existen hasta de triple efecto). Si en un ciclo de absorción básico se divide el generador en dos partes a diferentes presiones y el vapor generado en la primera sección (alta presión) se utiliza para calentar la segunda sección (baja presión) del generador, se tiene como resultado un ciclo de doble efecto. Aplicando este principio se puede obtener un ciclo de doble, triple y múltiple efecto. Conforme se adicionan efectos, el equipo es más eficiente térmicamente, pero económicamente va dejando de ser factible.

Existen muchos sistemas de absorción avanzados, de hecho, con tantas opciones, es necesario establecer criterios de comparación y selección, lo cual dependerá del sector del mercado al que se quiera atender. Los nuevos ciclos de en-

friamiento por absorción se caracterizan por los métodos de recuperación de calor o integración energética interna, con lo cual mejoran el rendimiento: recuperación de calor de condensación, recuperación de calor de absorción, recuperación de calor de condensación/absorción, aumento de calor de evaporación, entre otros. Los sistemas de enfriamiento por adsorción basan su funcionamiento en la propiedad que poseen ciertos sólidos de alta área superficial y porosidad de adsorber grandes cantidades de un vapor determinado y de restituir dicho vapor cuando se calientan.

El refrigerante en forma de vapor es adsorbido sobre la superficie (principalmente por la superficie interna) de un gránulo, perla o cristal de material adsorbente. El material adsorbido es retenido físicamente sin demasiada fuerza y puede ser liberado (desorbido) de modo relativamente fácil ya sea por calor o al vacío. El proceso de adsorción es debido a las fuerzas de Van der Waals entre los átomos o moléculas del refrigerante y la superficie del adsorbente.

Las unidades de enfriamiento por adsorción pueden trabajar con uno o dos lechos de adsorbente, siendo las más aceptadas éstas últimas por dar un servicio que aparenta ser continuo, dada la rapidez con que se cambian en forma automática los lechos de adsorbente del modo de adsorción a desorción. Uno de los ciclos de adsorción más aceptado y que inclusive se tiene disponible comercialmente está compuesto por dos lechos de adsorbente, un condensador, una válvula de expansión y un evaporador donde obtenemos el efecto frigorífico. El enfriamiento requerido tanto en el condensador como en el lecho que realiza la adsorción se obtiene por medio de agua proveniente de una torre de enfriamiento. La operación consiste en iniciar con un lecho saturado de refrigerante, al cual se le aplica calor solar para liberar dicho refrigerante, pasando



éste al condensador donde se le retira calor latente y sale en forma líquida, posteriormente se pasa por la válvula de expansión donde baja su presión y temperatura, luego, ya con baja temperatura, entra al evaporador donde recibe calor del área o fluido a enfriar; el refrigerante, al recibir el calor, se evapora, y finalmente entra al otro lecho de adsorbente donde es atrapado/adsorbido. Esto continúa hasta que el lecho que es calentado se agota o ya no tiene refrigerante; al mismo tiempo el lecho receptor termina saturado y se realiza el cambio de líneas para que ahora se caliente el lecho que contiene el refrigerante y lo adsorba el agotado, de esta forma se continúa produciendo el efecto frigorífico como si fuera un proceso continuo. Los pares de trabajo más comunes son Zeolita 13x/H<sub>2</sub>O para temperaturas arriba de 0 °C y carbón activado 35/metanol para temperaturas por debajo de 0 °C. Otros menos comunes son amoniaco/SrCl<sub>2</sub>, agua/silica gel o aire/silica gel en los ciclos abiertos (Stegou-Sagia et al., 1997).

Estos sistemas se caracterizan por tener un COP muy bajo (de 0.4 a 0.6) y operar con baja temperatura (60 a 100 °C), por lo cual se pueden usar colectores más baratos, pero la unidad de enfriamiento es todavía cara.

Los sistemas de enfriamiento evaporativo con desecante (sólido y líquido) para aire acondicionado, son un ciclo abierto que se basa en un proceso de deshumidificación-intercambio de calor-humidificación. Dichos sistemas toman aire del exterior o del edificio, lo deshumidifican con un desecante sólido o líquido, luego lo enfrían retirándole calor sensible en un intercambiador de calor aire-aire, posteriormente el aire se pone en contacto íntimo con agua para obtener el efecto de enfriamiento evaporativo y finalmente el aire frío y más húmedo se introduce en el espacio a acondicionar térmicamente. El desecante sólido es

regenerado con energía solar, utilizando aire caliente proveniente de los colectores calentadores solares o indirectamente calentado por un fluido calo-portador. Este ciclo abierto tiene muchas variantes, pero el enfriamiento por desecación con desecante líquido es, según reconocen algunos investigadores, el procedimiento más adecuado para el aire acondicionado con energía solar o con calor de baja temperatura, ya que es higiénica al limpiar y desinfectar el aire por contacto con el desecante y el costo del sistema fabricado en serie será equivalente o inferior a la compresión e inferior a la absorción.

### REVISIÓN Y ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS

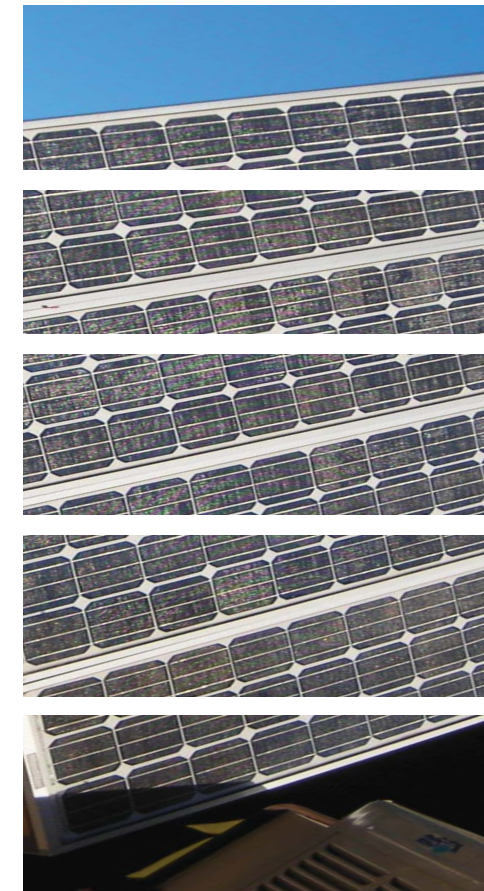
La energía solar puede ser usada en los ciclos de enfriamiento principalmente para tres propósitos

- 1) para proveer aire acondicionado [temperaturas de 20 a 7 °C]
- 2) para conservar medicamentos y productos alimenticios perecederos [temperaturas de 7 a -10 °C]
- 3) para procesos de congelamiento industrial [temperaturas menores a -10 °C].

El acondicionamiento térmico de espacios puede ser obtenido por cinco clases de sistemas activados térmicamente: sistemas de absorción, adsorción, enfriamiento evaporativo con desecante, efecto compresión y Rankine. En este tipo de aplicaciones todas las unidades de enfriamiento trabajan con buena eficiencia y capacidad. Para los requerimientos de refrigeración de productos perecederos se pueden utilizar los sistemas de absorción, adsorción y termoquímicos. Dado que conforme se demanda una aplicación con más baja temperatura, las eficiencias de las unidades disminuyen; estos sistemas tendrán una menor eficiencia que si se utilizaran en aire acondicionado. Para

caliente para cuando no se dispone del recurso solar, unidades enfriadas con agua o aire, diferentes estrategias de control, diferente intervalo de temperaturas de operación, diferentes colectores solares, calentador auxiliar en serie o en paralelo, sistema convencional como respaldo, entre otras.

El rendimiento del sistema de enfriamiento solar se obtiene multiplicando la eficiencia del subsistema de captación solar (SCS) por la eficiencia del ciclo de enfriamiento. En términos generales y de acuerdo a la información de los fabricantes, la eficiencia de los SCS de tubos evacuados varía de 50 a 70% en el intervalo de temperaturas de interés, mientras que la de concentradores parabólicos compuestos (CPC) varía de 30 a 55%. Por otra parte, los ciclos de absorción GAX enfriados por aire tienen un COP de 0.86 y las unidades enfriada por agua de alrededor de 1.0. Ahora, si se considera que se utiliza un SCS de CPC como fuente de energía del ciclo de absorción GAX, dará como resultado una eficiencia global entre un 0.26 y un 0.55 máximo. En el caso de tubos evacuados (modelo DP6-2800), es un poco mayor, pero tiene serias desventajas económicas, ya que tiene un costo de 1.6 veces más que el CPC (modelo SETSOL-2001). Si en lugar del ciclo GAX utilizamos un ciclo de triple efecto LiBr/H<sub>2</sub>O con COP que va de 1.4 a 1.6 y con un SCS de CPC, se tiene que la eficiencia del sistema de enfriamiento termo-solar puede variar de 0.42 a 0.88. Por otro lado, la eficiencia real de los sistemas convencionales de compresión mecánica de vapor (SCM), considerando los proce-



aplicaciones que necesitan temperaturas por debajo de -10 °C se pueden utilizar sistemas de enfriamiento de agua por absorción, adsorción y termoquímicos. El agua enfriada contiene un cierto porcentaje de etilenglicol para abatir su punto de congelación.

Dentro de estas clases de enfriadores termo-solares se pueden tener muchas variantes: uso de ciclos continuos o intermitentes, sistemas donde se integra el colector solar como parte del ciclo de enfriamiento, almacenar fluido frío o

sos previos de generación y transmisión eléctrica varía de 1.0 a 1.8 (Jeffrey et al., 2000), por lo que los sistemas convencionales de enfriamiento todavía son más eficientes que los sistemas de enfriamiento termo-solar, sin embargo, los SCM tienen altos costos de operación y mantenimiento. Se debe tener presente que la eficiencia de los colectores solares disminuye cuando la temperatura de operación incrementa, mientras que la eficiencia de la unidad de enfriamiento incrementa con el aumento de la temperatura de operación, por lo que se debe buscar las condiciones de operación que proporcionen la máxima eficiencia del sistema de enfriamiento solar en conjunto.

En la tabla 2 se hace un resumen comparativo de los diferentes sistemas de enfriamiento solar y se pueden apreciar las diferentes características de las tecnologías existentes.

Dado que se han desarrollado una gran variedad tanto de colectores solares térmicos como de unidades térmicas de enfriamiento y se han probado varias combinaciones entre ellos, es necesario realizar estudios técnico-económicos que nos permitan conocer la verdadera potencialidad de cada tecnología y determinar si realmente pueden competir en el mercado, tomando en cuenta que cada país tiene condiciones distintas, y lo que en un país puede ser factible, en otro puede no serlo, dada la disponibilidad del recurso solar, clima, costo de los energéticos, etc. La tecnología de enfriamiento termo-solar se caracteriza por la alta inversión inicial y su bajo costo de operación

y mantenimiento, es por eso que para disminuir los tiempos de recuperación de la inversión se recomienda un sistema solar integrado que nos proporcione enfriamiento (refrigeración y aire acondicionado), calefacción (suelo radiante) y agua caliente, con lo cual se remplazará el SCM, calefactor eléctrico y el calentador de agua de fuego directo, con esto se obtendrá un menor costo de operación al consumir menos energía eléctrica y gas, teniendo un mayor aprovechamiento del sistema al utilizarlo durante todo el año. Además se debe buscar complementar la energía solar con las energías convencionales (sistemas híbridos) para obtener sistemas de colección solar y almacenamiento de energía más pequeños y más baratos. Todo lo anterior se debe hacer mientras bajan de precio los equipos solares, una vez que se tenga la economía de escala o unidades más baratas, debemos buscar que los mismos sean 100% solares.

### CONCLUSIONES

La climatización en el sector residencial, comercial e industrial representa una clara oportunidad para la implementación de la energía solar térmica, puesto que los beneficios ambientales, económicos y energéticos son enormes.

Las nuevas tecnologías desarrolladas, tanto en los sistemas de captación solar como en los sistemas térmicos de enfriamiento, permiten considerar nuevas posibilidades en el desarrollo de este prometedor y potencial mercado para la energía solar térmica. Dichas tecnologías han evolucionado en forma independiente, por lo que es necesario hacer investigación integrando ambos desarrollos, buscando sistemas que tengan un mayor potencial comercial. De las opciones de enfriamiento termo-solar que tenemos sobresalen en forma muy interesante los sistemas de absorción, adsorción y enfriamiento evaporativo con desecante y dado su potencial se espera que se consoliden en el corto plazo. Del análisis comparativo entre los sistemas de enfriamiento termo-solares y los sistemas de compresión mecánica, podemos mencionar que hay situaciones en las cuales, indiscutiblemente, la mejor opción son los sistemas de absorción, pero en la mayoría de los casos todavía falta (principalmente) reducir el costo del equipo para poder competir abiertamente en el mercado sin necesidad de incentivos.

### BIBLIOGRAFÍA

- Altenkirch, E.** (1913), "Reversible absorptionsmaschinen", *Zeitschrift für die gesamte Kälte-Industrie*, XX. Jahrgang, Heft 1: pp. 1-9, Heft 6: pp. 114-119.
- Dao Kim** (1990), "Advanced Regenerative Absorption Refrigeration Cycles", US Patent 4, 921 515.
- Jeffrey, M. G. and Kim, Ch. N.**, (2000), "High-efficiency solar cooling", *Solar Energy*, Vol. 68, No. 1, pp. 23-31
- Pilatowsky, I. F., Best, R. W., Gutiérrez, F. M., Hernández, J. I. G.**, (1993), "Métodos de Producción de Frio", UNAM.
- Pridasawas, W. y Nemariam, T.**, (2003), *Notas del curso Solar Cooling*, Technical University of Denmark. 27 Junio.
- Rane, M. V. and Erickson, D. C.** (1994), "Advanced Absorption Cycle: Vapor Exchange GAX", *Proceedings, International Heat Pump Conference*, New Orleans, Jan.
- Staicovici, M.D.** (1995), "Polybranched Regenerative GAX Cooling Cycles", *Int. J. Refrig.*, Vol. 18, No. 5, pp 318-328.
- Velázquez, N. L.**, (2002), "Estudio de sistemas de absorción avanzados operados con gas natural y energía solar", Tesis doctoral. CIE-UNAM

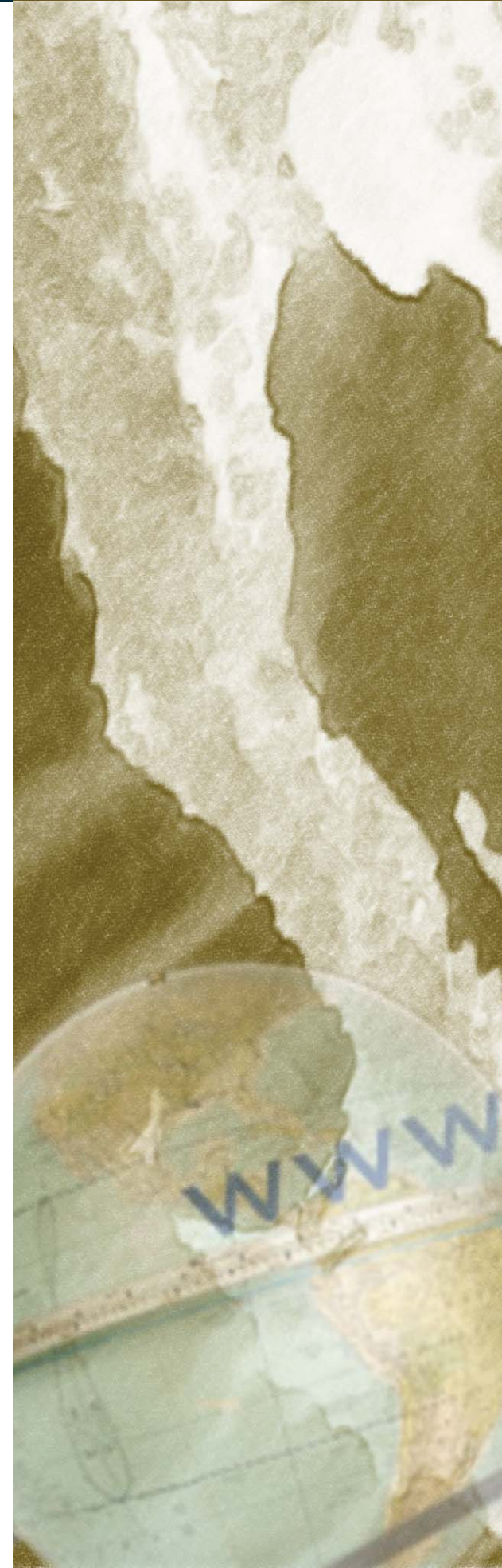
**TABLA 1. PRINCIPALES TIPOS DE COLECTORES SOLARES TÉRMICOS**

		TIPOS DE COLECTORES		RELACIÓN DE CONCENTRACIÓN PARA INSOLACIÓN DIRECTA "C"	INTERVALO DE TEMPERATURA OBTENIDA T(°C)	APLICACIONES		
		NOMBRE	DIAGRAMA ESQUEMÁTICO					
ESTACIONARIO		Estanque solar no convectivo		Absorbedor de placa	$C \leq 1$	$27 < T < 87$	Generación de energía y procesos de calentamiento	
		Absorbedor de placa plana			$C \leq 1$	$27 < T < 90$	Calentamiento de agua/aire, enfriamiento solar, etc.	
		Absorbedor invertido, reflector parabólico compuesto			$1 \leq C < 3$	$47 < T < 157$	Calentamiento de agua y de procesos, cocinas solares.	
		Tubos evacuados			$C \leq 1$	$47 < T < 187$	Calentamiento de agua y enfriamiento solar activo	
		Reflector parabólico compuesto			$1 \leq C < 5$	$67 < T < 237$	Calentamiento de procesos y generación de vapor	
SEGUIDOR SOLAR	Un eje		Absorbedor tubular	$5 \leq C \leq 15$	$67 < T < 287$			
				Reflector parabólico		$15 < C < 40$		$67 < T < 287$
				Refractor Fresnel		$10 < C < 40$		$67 < T < 267$
				Refractor cilíndrico		$10 < C < 50$	$67 < T < 267$	
SEGUIDOR SOLAR	Dos ejes		Absorbedor puntual	Reflector de plato parabólico		$100 < C < 1000$	$67 < T < 927$	Generación de electricidad
				Reflector de plato esférico		$100 < C < 300$	$67 < T < 727$	
				Campo heliostatos		$100 < C < 1500$	$127 < T < 2727$	
								Descontaminación
							Procesamiento de materiales	

**TABLA 2. RESUMEN COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO SOLAR MÁS IMPORTANTES**

TÉCNICA DE ENFRIAMIENTO	RENDIMIENTO COP = $Q_{EV}/Q_{GR}$	TEMPERATURA DE OPERACIÓN (°C)	FLUIDO DE TRABAJO	COLECTORES SOLARES (recomendados)	APLICACIÓN	OBSERVACIONES
<b>ABSORCIÓN</b> (sistemas continuos):						
• Simple efecto	0.6 a 0.8	80 a 110	LiBr-H <sub>2</sub> O	PP, TE, CPC, CP	Enfriamiento de agua A/A	Unidades enfriadas con agua. El evaporador no puede trabajar a temperaturas menores de 4°C.
• Doble efecto	1.0 a 1.2	130 a 160	LiBr-H <sub>2</sub> O	TE, CPC, CP, CF	A/A	
• Triple efecto	1.4 a 1.6	170 a 220	LiBr-H <sub>2</sub> O	CPC, CP, CF	A/A	
• Simple efecto	0.5 a 0.6	90 a 120	NH <sub>3</sub> -H <sub>2</sub> O	TE, CPC, CP, CF	R y A/A	Unidades enfriadas con aire o agua. Requieren rectificador y el evaporador trabaja a bajas temperaturas.
• Cielos GAX	0.8 a 1.0	170 a 220	NH <sub>3</sub> -H <sub>2</sub> O	CPC, CP, CF	R y A/A	
• Cielo Ramificado GAX (Existen varios ciclos de este tipo)	1.0 a 1.7	170 a 220	NH <sub>3</sub> -H <sub>2</sub> O	CPC, CP, CF	R y A/A	
<b>ADSORCIÓN</b> (sistemas intermitentes):						
• Ciclo con alternancia de dos lechos adsorbentes	0.4 a 0.6	60 a 100 (regeneración)	Silica gel-H <sub>2</sub> O Carbon-Metanol	TE, CPC, CP, CF	Enfriamiento de agua A/A	Estas unidades pueden utilizar colectores baratos por su baja temperatura de operación, pero aún son caras y de baja eficiencia.
• Lecho sólido con reacción química	0.1 a 0.2	80 a 300 (regeneración)	NH <sub>3</sub> -SrCl <sub>2</sub> BaCl <sub>2</sub> -NH <sub>3</sub>	TE, CPC, CP, CF	R y A/A	
<b>ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO CON DESECANTE:</b>						
• Desecante sólido	0.5 a >1.0	40 a 100	Silica gel-H <sub>2</sub> O	PP, TE, CPC, CF	A/A	Utilizan el proceso de deshumidificación de aire y enfriamiento evaporativo. Usa energía eléctrica FV y térmica solar.
• Desecante líquido	>1.0	45 a 70 (regeneración)	Cloruro de calcio-agua	PP, TE, CPC, CF	A/A	
<b>EYECTO COMPRESIÓN:</b>						
• Ciclo de eyecto refrigeración	0.3 a 0.8	80 a 150	Agua, butano, R141b, etc.	PP, TE, CPC, CF	A/A	Es fácil de diseñar e instalar. Tiene bajo costo de operación e instalación.
<b>SISTEMA RANKINE:</b>						
• Ciclo de enfriamiento Rankine	0.3 a 0.5	>120	Agua, R114, Tolueno.	PP, TE, CPC, CF	R y A/A	Es el acoplamiento del ciclo Rankine solar con el ciclo de compresión mecánica de vapor.
<b>SISTEMAS DE ACTIVACIÓN ELÉCTRICA:</b>						
• Compresión mecánica de vapor	3 a 5	Energía por 1 W de efecto de enfriam. 12 a 50 W	R134a, R290, etc.	-	R y A/A	Estas unidades operan con energía eléctrica que es obtenida de un proceso previo, por lo que hay que considerar la eficiencia de dicho proceso al compararlo.
• Termoelectrónicos	0.5	Unos pocos W	-	-	R y A/A	
• Stirling	3	3 a 17 W	He, H <sub>2</sub> , N <sub>2</sub>	-	R y A/A	

**Colectores Solares=** PP: Placa plana, TE: Tubos evacuados, CF: Concentradores Fresnel, CPC: Concentradores parabólicos compuestos y CP: Cilindro parabólico. A/A: Aire acondicionado y R: Refrigeración.



**CONDICIONES MUNDIALES DEL DESARROLLO**

Uno de los mayores retos de la humanidad es proveer, con los recursos limitados y deteriorados del planeta, una vida de calidad creciente a una población global que se reproduce exponencialmente (Dirección General de Institutos Tecnológicos; 2002: 21). Efectivamente, a mediados del siglo XVII la población global se estimaba alrededor de 500 millones de seres humanos, para mediados del siglo XIX era de más de 1000 millones de habitantes y tomó sólo cien años para que la población mundial se duplicara nuevamente; a la mitad del siglo XX se registraba una población de 2,406 millones de seres humanos, y en el presente se estima una población de 6,200 millones de personas, con una estimación para el año 2025 de 7,500 millones y para el 2050 de 9,000 millones de personas en el mundo. Aunado a lo anterior, el panorama se complica al considerar que una cuarta parte de la humanidad sobrevive en la pobreza absoluta con el equivalente a un dólar diario y otra cuarta parte en pobreza extrema con el equivalente a dos dólares diarios.

El crecimiento demográfico de la humanidad y los diversos proyectos de vida plantean el reto de impulsar un desarrollo sustentable con respeto y protección de los recursos naturales; así, esta visión exige el compromiso con la preservación del medio ambiente, lo que presupone el desarrollo en el conocimiento de la naturaleza y utilización respetuosa del capital natural del planeta. Otra variable que incide con sus oportunidades y riesgos es la globalización, que influye decisivamente en formas diversas (y en direcciones en ocasiones encontradas), en la

**EDUCACIÓN SUPERIOR Y SUSTENTABILIDAD EN EL DESARROLLO DE BAJA CALIFORNIA**

*Dra. Marina del Pilar Olmeda García  
Universidad Autónoma de Baja California  
marina\_o@uabc.mx*



cultura, la política y la educación. El vertiginoso avance de las tecnologías de la comunicación electrónica ha facilitado que la globalización se manifieste en la integración de las economías de todo el planeta. Desde este enfoque, se explica: el sentido de las variaciones de mercados y flujos financieros; la transferencia de información, conocimiento y tecnología; el poder de influencia de los medios de comunicación, las migraciones de grandes grupos de población; los inesperados virajes de la historia, y naturalmente, los nuevos retos de la educación.

### LA EDUCACIÓN SUPERIOR EN MÉXICO

Si bien, en México la Universidad surge en el siglo XVI como una de las primeras instituciones de esta naturaleza en Latinoamérica, es hasta mediados del siglo XX que va perdiendo el carácter elitista al facilitar el acceso a sectores que hasta entonces no lo tenían.

En la década de los sesentas la demanda de educación media superior y superior fue haciéndose cada vez mayor. A manera de ejemplo, la matrícula en licenciatura en las instituciones de educación superior del país tuvo un aumento del 865 por ciento de 1960 a 1970 (Taborga Torrico, 1993). En los sesentas, como respuesta a la demanda, se crea el Colegio de Bachilleres y la Universidad Autónoma Metropolitana; crece el sistema de Institutos Tecnológicos y surgen algunas universidades públicas estatales como la Universidad Autónoma de Baja California Sur. Para 1974, la UNAM atendía 127,000 alumnos en bachillerato, 126,300 en licenciatura y 6,100 en postgrado,

mientras que en el Distrito Federal se concentraba el 53.2 por ciento de la matrícula en educación superior (ANUIES-SEP, 1994).

En los ochentas se identifica un mayor acercamiento al equilibrio entre demanda y oferta educativa, particularmente en algunas regiones del país. Así, a mediados de esta década el énfasis de las políticas educativas se centró mayormente en el mejoramiento de la calidad educativa. La supuesta estabilización de la matrícula, después de la explosión en la década de los setenta, se identificó como una oportunidad para mejorar la calidad, lo que se constituyó en el objetivo central en los programas nacionales de la educación superior (Mendoza Rojas, 1995). La ampliación de la cobertura no formó parte de las estrategias aplicadas en la administración pública (1988-1994). Dos fueron los criterios orientadores del accionar gubernamental: excelencia y pertinencia (Programa de Modernización Educativa 1988-1994). En el programa educativo 1995-2000 se agrega un tercer criterio: cobertura eficiente (Olmeda Marina del Pilar; 1998).

En el presente, se reconoce que en el siglo XXI el conocimiento constituye el valor agregado fundamental en todos los procesos productivos y que la educación cumple un papel estratégico en ello. Así, el valor del conocimiento y de la información para la sociedad contemporánea acentúa la responsabilidad de las instituciones de educación superior; por lo que hoy, no sólo se debe recrear el conocimiento del pasado y del actual, sino crear el conocimiento del futuro que deseamos. La sociedad mexicana, en el contexto de la sociedad mundial, se encuentra inmersa en un proceso de cambio

*La actividad de investigación científica, así como el desarrollo tecnológico innovador se plantea como una actividad estratégica que puede coadyuvar a la sustentabilidad en el desarrollo del estado.*



acelerado que exige transformaciones profundas en la organización y en la manera de hacer el trabajo por los universitarios. Las instituciones de educación superior están comprometidas no sólo a participar en este cambio, sino a ser promotoras y orientadoras del mismo, como es el relacionado con la sustentabilidad, mediante el planteamiento de paradigmas novedosos, creatividad, calidad y nuevas formas en el cumplimiento de las funciones sustantivas.

### III. EDUCACIÓN SUPERIOR PARA LA SUSTENTABILIDAD EN EL DESARROLLO DE BAJA CALIFORNIA

#### 3.1 Desarrollo Educativo de Baja California

En Baja California viven ya cerca de tres millones de habitantes, en cinco municipios. Predomina la población urbana; el 91.7 por ciento se concentra en 45 localidades con población mayor de 2,500 habitantes y el 8.3 por ciento en localidades rurales pequeñas y dispersas geográficamente (Plan Estatal de Desarrollo 2002-2007).

De la población en edad de 3 a 21 años, 805,636 reciben servicios educativos, el 78 por ciento de educación básica, el nueve por ciento de media superior, el siete por ciento de superior y seis por ciento restante de otros servicios como educación inicial, especial, entre otros. La Entidad se encuentra entre los tres Estados con mayor nivel educativo en el país, la escolaridad promedio por habitante equivale a 8.7 grados, sólo el 3.5 por ciento de la población mayor de 15 años es analfabeta.

En el Estado viven 1,550,000 habitantes mayores de 15 años; el 56 por ciento ha concluido su educación básica, el 33 por ciento cursó educación media superior y el 11.5 por ciento de la población de más de 18 años ha realizado estudios superiores.

#### 3.2 EDUCACIÓN SUPERIOR

En el sistema de educación superior en Baja California participan 63,262 alumnos, atendidos por 7,661 académicos en 144 unidades educativas. Del total de alumnos, el 48 por ciento participa en carreras universitarias orientadas a las ciencias sociales y administrativas, el 38

por ciento en ingeniería o tecnología, el ocho por ciento en ciencias de la salud, el tres por ciento en educación y humanidades, el dos por ciento en ciencias naturales y exactas, y el uno por ciento en ciencias agropecuarias. En posgrado, 41 por ciento se orienta a ciencias sociales y administrativas, 24 por ciento a educación y humanidades, 18 por ciento a ingeniería y tecnología, nueve por ciento a ciencias naturales y exactas, seis por ciento a ciencias de la salud y dos por ciento a ciencias agropecuarias.

La actividad de investigación científica, así como el desarrollo tecnológico innovador se plantea como una actividad estratégica que puede coadyuvar a la sustentabilidad en el desarrollo del estado. Aunque se realice investigación en instituciones de educación superior, su vinculación con los problemas específicos y/o primordiales del desarrollo estatal requieren de canales para su aplicación.

### 3.3 SUSTENTABILIDAD

El desarrollo sustentable, concebido como aquel que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para resolver las suyas, supone un replanteamiento ético y político de la concepción misma del desarrollo. En el marco del desarrollo regional, como el que nos ocupa en este foro, esta idea presenta varias facetas.

La sustentabilidad de los sistemas se refiere a la capacidad de permanecer en el tiempo. A mayor permanencia, mayor sustentabilidad. La sustentabilidad involucra tres dimensiones fundamentales: la ecológica, la económica y la social. En la sustentabilidad social se encuentra la educación y en ella, la educación del nivel universitario. Guillermo Foladori (2002:634, 635) afirma que el concepto de desarrollo sustentable incluye tres dimensiones básicas: la sustentabilidad ecológica, la sustentabilidad económica y la sustentabilidad social. De las tres, la

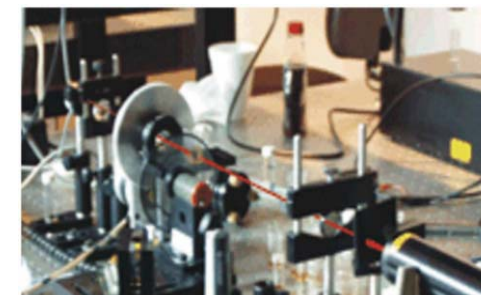
de mayor controversia es la sustentabilidad social, ya que ha sido definida con base en conceptos no siempre claros. A pesar de eso, en los últimos años el concepto de sustentabilidad social evolucionó para resaltar la importancia de la participación social y del aumento de las potencialidades y cualidades de las personas en la construcción de un futuro más justo.

### IV. A MANERA DE CONCLUSIONES

La educación superior tiene un papel central en la ciencia y la tecnología para la sustentabilidad del desarrollo en Baja California. El desarrollo alcanzado por el sistema de educación superior en el Estado de Baja California hace posible que, mediante el establecimiento de políticas públicas, se dé un salto cualitativo en el impulso a la sustentabilidad en el desarrollo del Estado, para la cual se deberá considerar el fortalecimiento de la cobertura con equidad y calidad tanto en licenciatura como en el postgrado. Es necesario el fortalecimiento de la investigación, desarrollo tecnológico y actividades creativas vinculadas al contexto regional, con apoyo de los sistemas de información, cómputo, académicos y demás infraestructura tecnológica.

La función de investigación universitaria deberá planearse, llevar un seguimiento y evaluarse mediante un proceso para la sustentabilidad en sus dimensiones ecológica, económica, social y política, a nivel tecnológico y científica. Apoyar el establecimiento de condiciones básicas de sustentabilidad, mediante el reforzamiento de los planes y programas de estudio, en sus objetivos, competencias y contenidos, con visión en lo ecológico, económico, social y político para el impulso del desarrollo de la sociedad en forma armónica en el tiempo y en el espacio.

Fortalecimiento de la vinculación universitaria hacia la sustentabilidad del desarrollo. La vinculación universitaria



deberá impulsarse hacia el interior y el exterior de las propias instituciones. Al interior de las instituciones y entre ellas, debe propiciarse la interdisciplina y multidisciplina. La vinculación universitaria hacia el exterior exige ligar las funciones universitarias a la sustentabilidad del desarrollo del Estado, mediante programas y acciones directas de investigación, desarrollo tecnológico, prácticas profesionales, servicio social y estancias académicas, entre otras.

Hay problemáticas cuyas soluciones deberán darse con la coordinación activa de todos los actores sociales: gubernamental, empresarial, organizaciones civiles y sector educativo, entre otros.

El proceso de sustentabilidad deberá promover mantener la permanencia y el equilibrio dinámico de los ecosistemas; mantener niveles adecuados de calidad y disponibilidad de bienes como el agua, el suelo, el clima y la energía; fomentar un intercambio equitativo de recursos entre los diferentes sectores sociales y redistribuir la riqueza; reducir la dependencia de recursos no renovables; descentralizar y diversificar la capacidad productiva; fortalecer la actividad económica equilibrada (producción y consumo), a nivel regional; adoptar valores que generen comportamientos armónicos con la naturaleza y los seres humanos y desarrollar estructuras democráticas en las comunidades y regiones, entre otras.

### BIBLIOGRAFÍA

- Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior y Secretaría de Educación Pública. (2006). Anuario estadístico. México: Editorial ANUIES-SEP.
- Dirección General de Institutos Tecnológicos, Plan de Desarrollo 2000-2006.
- Foladori Guillermo (2002). Avances y límites de la sustentabilidad social. Columbia University. USA. P. 634-635.
- Gobierno del Estado de Baja California. Plan Estatal de Desarrollo 2001-2007.
- Martínez, L. Cols. (1995). Masificación, calidad y cobertura en la educación superior, cuadros de una misma exposición. U2000 Crónica de la Educación Superior, (159), p.2.
- Mendoza Rojas, J. (1996) Nuevas formas de conducción y financiamiento de la educación superior en la visión de la OCDE. U2000 Crónica de la Educación Superior, (130), p.9.
- Olmeda Marina del Pilar (1998). Cobertura y calidad, el reto de la Universidad Mexicana. Tesis doctoral, Universidad Iberoamericana. México. P.3.
- Taborga, H. (1995). Análisis y opciones de la oferta educativa. México ANUIES.
- Universidad Autónoma de Baja California. Plan de Desarrollo Institucional. (2003-2006).

**DESARROLLO SUSTENTABLE ACTUAL:  
UNA RECONSIDERACIÓN DESDE LA**

# **EDUCACIÓN AMBIENTAL**

## **INTRODUCCIÓN**

Los diferentes quehaceres del ser humano cada vez más influenciados por el proceso globalizador impactan la relación entre lo social y lo ecológico. El resultado es un desequilibrio entre los fenómenos humanos y sociales y los procesos naturales. Atender la trama de los factores interrelacionados en esta crisis global exige una respuesta realista y pragmática que la educación ambiental se propone, fundamentada en el vínculo de interdependencia entre humanidad y naturaleza y en la lucha por la conciencia y la responsabilidad de desarrollar estrategias comunes y transformadoras ante la diversidad de problemáticas sociales. La reflexión de propuestas de desarrollo sustentable sensibles a los valores de democracia y justicia con inspiración ecológica, emergen en una nueva racionalidad ambiental en el discurso docente. La formación ambiental del docente requiere de una educación centrada en un saber intercultural, en trabajo interdisciplinario y en el despliegue de capacidades y participación social sustentadas en relaciones éticas, sociales y ecológicas que den lugar a un futuro sustentable.

*Enrique Mata González. Universidad Pedagógica Nacional  
María Celina Aguirre Ibarra. Universidad Autónoma de Baja California  
emata57@yahoo.com  
mariacelina@uabc.mx*

**EL ENFOQUE DE LA EDUCACIÓN AMBIENTAL**

Vivimos un mundo de constante cambio y profundas transformaciones; con una cada vez mayor influencia de los medios masivos de comunicación y de las llamadas tecnologías de la información (o sociedad del conocimiento), donde la globalización avanza e irrumpe en los más variados campos de la actividad humana y causa que las fronteras tiendan a desvanecerse ante la apuesta al libre tránsito de mercancías, todo en nombre del neoliberalismo como el mejor modelo económico para la modernización, sin ponerse a reflexionar en las consecuencias: una crisis global medioambiental que sin duda expresa la profunda confusión que impera a nivel individual, social y de relaciones humanas.

La relación entre educación y ambiente es dinámica, por la constante interacción que se presenta entre la misma sociedad y naturaleza, principio básico para poder comprender mejor lo que acontece en nuestro medio, tanto natural como social. De ahí que privilegiamos dicha relación para abordar problemáticas como la contaminación, el desarrollo, la pobreza, desempleo, etc., en esta compleja trama entre la naturaleza, el hombre y su organización social y cultural (Wilbert, 1998; 193).

La educación ambiental se ha definido desde varios puntos de vista según la problemática abordada. Sin embargo, los elementos presentes son el énfasis en el proceso interdisciplinario, fomentar en los ciudadanos la conciencia de la interculturalidad, el diálogo entre

Tendencias que se han venido desarrollando en los procesos de formación ambiental en el ámbito superior, mismas que se presentan dentro de la investigación en una forma u otra (Ibarra, 1996; 15).

En la primera tendencia se toma como base el desarrollo económico, atendiendo al provecho obtenido de los recursos naturales; procura determinar el impacto que tiene en el ámbito social y educativo, con lo que se estructuran políticas ambientales. Estas políticas son con una tendencia global y no considera modificar el modelo económico prevaleciente ni las

asumiendo y problematizando el medio ambiente desde distintas posiciones que permiten contar con una visión integral. La educación ambiental vincula la función ética, moral y socializante así como la ideológica y de reproducción sociocultural. Se recupera la relación intrínseca entre hombre-naturaleza, por ese acercamiento desde el punto de vista más natural y no tanto desde la simbolización extrema en que se ha caído. Se habla en sí de una ética y moral ambiental en el ámbito de la cultura. (Pomier, s/a, 3). Reflexionar críticamente acerca de la crisis de los valores morales y espirituales que emergen en la civilización industrial y que motivan la conducta individual y económica, puede ser un objetivo unificador entre diálogos y acciones.

No dejamos de asombrarnos ante el planteamiento de la gran responsabilidad que tenemos y de la cual no podemos escapar. Si bien vivimos en un mundo donde la tecnología hace acto de presencia, y nuestro contacto con lo natural ha disminuido, las consecuencias de no hacer cambios fundamentales en la dirección y sentido de nuestra conducta puede llegar a tener efectos irreversibles, a cambio de ponernos a trabajar juntos para producir un futuro humano sustentable. Volver a una sana relación no será fácil en estas condiciones si no restablecemos con inspiración ecológica y social la contradicción imperante entre naturaleza y sociedad.

De ahí que la educación ambiental tienda a problematizar los movimientos sociales, las políticas ambientales y todo aquello que posibilite el cambio, como un complemento estratégico al acervo teórico que resulta insuficiente por sí solo cuando las propuestas vienen desde la llamada urgente de las condiciones ambientales predominantes y su relación con los fenómenos sociales y humanos. Ambientalmente se proponen valores, formas de participación y organización política ambientalista. Estos movimientos tienen como característica ser conciencia viva que tiende a la apertura y no a la homogeneización. (Leff, 2004a; 146). Casi literalmente, esto nos conduce a vernos, sabernos y vivimos como responsables de nuestra propia evolución.



En este contexto, queremos ubicar las posibilidades de la educación ambiental, orientados por la preocupación que en la actualidad se ha generado en diferentes problemáticas en este campo, sin por ello estar abocados a buscar soluciones aisladas desde el punto de vista técnico, ecologista o instrumental, así como económicas, políticas y de relaciones humanas. Comprender la interrelación de todos estos factores como el resultado de una sucesión de causas, razones y condiciones de interdependencia puede llevarnos a revertir el impacto, al responsabilizarnos de la crisis como un problema global que nos afecta a todos. El desarrollo de un sentido de responsabilidad ante nuestra naturaleza interdependiente es la propuesta que la educación ambiental aporta al respecto. (González, 1995; 6).

valores y tradiciones espirituales interesadas, información sobre la degradación del medio ambiente (conciencia planetaria), reconocer la íntima relación entre lo natural y lo social en la construcción de ambientes creativos, desarrollar compromisos y asumirse como agentes activos participantes en lo personal y en lo colectivo, en la selección de problemas y en la toma de decisiones orientadas a una mejora en la calidad ambiental y el bienestar social (Mrazek, 1996; 20). No hay consenso en una definición que se considere más completa y acabada respecto a educación ambiental. Representa un concepto polémico y puesto a discusión en todo momento. Además, se han encontrado varias tendencias, que van desde la conservacionista y proteccionista hasta la educacionista ambientalista.

relaciones de producción. La problemática ambiental es vista desde lo técnico, proponiendo soluciones remediales desde una racionalidad donde impera sólo la lógica del mercado. La segunda tendencia, inmersa en un proceso de constante construcción, busca un modelo ambientalmente sustentable, define la problemática ambiental como fenómeno social, cultural, político, etc., Procurando elevar la calidad de vida y evitar las crisis ambientales. Cuestiona el modelo económico y critica tanto la explotación del hombre como de la misma naturaleza, propone una política ambientalista

El movimiento ambiental desarrolla estrategias de participación para el correcto aprovechamiento de recursos, se busca atender las demandas que originan la marginación, se aprovechan las otras experiencias emergentes, tanto de las instancias de poder que toman decisiones como de la población en general. En otras palabras, hablamos de un nuevo paradigma ambiental que facilita la participación de los variados sectores implicados. El gran número de personas interesadas y la aceleración de las diversas actividades humanas que se posibilitan a través de los avances en la ciencia y en la tecnología, han alcanzado el punto en el cual ahora debemos asumir que somos los 'arquitectos de nuestro propio destino'. Así que importa y cuenta lo que hagamos o dejemos de hacer en nuestro tiempo.

Lo anterior obliga a preguntarse sobre la lucha actual por los movimientos ambientalistas. La educación ambiental se encuentra empeñada en una continua búsqueda de la autonomía, busca otra manera de organizarse y procura la transformación social desde lo ambiental así como resignificar las aspiraciones de los muy diversos movimientos emergentes. Como bien lo plantea Toledo (2000) es necesario ensayar nuevas propuestas civilizatorias o formas de modernidad alternativas surgidas de la reformulación de las relaciones que familias, comunidades y regiones establecen con la naturaleza como con los mercados.

De esto se desprende una racionalidad ambiental para dar salida a las demandas sociales, por supuesto que en el fondo de esto está contar con una amplia conciencia que evite caer en la perniciosa racionalidad económica dominante. De racionalidad a racionalidad consideramos que la opción es acudir a aquella que privilegie la misma labor ambiental, destinando recursos y esfuerzos para ir poco a poco atendiendo los problemas añejos, que siguen siendo actuales y



hasta el momento, a pesar de todo, no hemos podido solucionar. Movimientos y racionalidades de este tipo son complejos por naturaleza y en contra de la tendencia por homogeneizar; ya no es posible negar la problemática ambiental y debemos considerar que tanto la naturaleza, la vida y la cultura tienen que asumirse desde la diversidad. La globalización hace acto de presencia; tenemos que buscar opciones con enfoque interdisciplinario desde la educación ambiental y por medio de la solidaridad avanzar en la desconstrucción, con la mirada puesta en la organización fundada en la autonomía de actores locales y su naturaleza, atendiendo a la diversidad cultural y las diferencias individuales.

#### SOBRE EL DESARROLLO SUSTENTABLE

Ante todo, el desarrollo sustentable es una propuesta que busca un cambio en los valores que se ostentan en los procesos productivos, la economía y la sociedad en su conjunto e incursionar en la construcción del conocimiento y elaboración de nuevas tecnologías que tengan como fin último resolver problemas ambientales. Para ello hace uso de la sensibilización en todos los sectores de la sociedad, ofreciendo un

saber ambiental desde su racionalidad con un sentido emergente al sector educativo, apoyando la formación de cuadros profesionales que hagan posible sus políticas ambientales (Leff, 2004a; 245).

La crisis actual que vivimos en términos ambientales ha mostrado con sobrada persistencia la ineficacia e ignorancia de este tipo de racionalidad económica. Ante lo cual se han venido desarrollando otros pensamientos como la complejidad, tratando de dar respuesta a dicha crisis y a los proyectos de orden epistemológico que tienden a la homogeneización del mundo. Los principales que la caracterizan son: 1) los límites del crecimiento y emergencia de un nuevo paradigma, 2) la parcelación del conocimiento, la aparición de la teoría de sistemas y de la complejidad y 3) la escandalosa concentración del poder en el Estado y en el Mercado. Mientras por otro lado tenemos una mayor demanda de la población por valores tales como democracia, equidad, justicia, participación y autonomía.

Ante la necesidad de revalorar la problemática ambiental como parte misma del desarrollo, aparece la propuesta metodológica de la interdisciplinariedad, para hacer posible la integración de los conocimientos y actuar conjuntamente con miras a responder a la creciente crisis



que la misma racionalidad moderna ha provocado. A pesar de estas evidencias y ante la racionalidad formal e instrumental que a toda costa busca consistentemente el control del mundo, la educación ambiental contraponen dimensiones como la complejidad, el desorden, y desequilibrio como sistemas completamente abiertos.

La producción ahora es abordada desde el campo de la interdisciplinariedad, donde la educación ambiental cumple la función de generar otros valores y conocimientos en bien de la elaboración de una nueva racionalidad ambiental. Planteamientos retomados en educación por los posgrados, han ido generando una cultura docente y estudiantil para la docencia ambiental, favoreciendo y privilegiando también la investigación, porque el mismo saber ambiental permanece abierto a la diversidad de formas de pensar, opciones teórico-conceptuales y metodológicas de distintos campos disciplinarios para su enriquecimiento.

La racionalidad económica carece precisamente de estos principios; la flexibilidad, maleabilidad y adaptación no le permiten estar a tono con constantes y variables, condiciones en que desde el punto de vista ecológico, se reconstituyen constantemente y de manera incuestionable para poder seguir con su ciclo vital los procesos que afectan la vida cotidiana de los individuos y comunidades, ya que sabemos que el discurso político privilegia el progreso y la modernización a través de la ciencia y la tecnología, según las leyes del mercado. Si esto lo trasladamos a la mirada de la educación ambiental, cobra mayor sentido hablar de otro tipo de sustentabilidad (Leff, 2004b; 114).

Este discurso es legitimado y difundido formalmente desde junio de 1992 en la Conferencia de Río de Janeiro (Brasil). La crisis que sostiene el modelo de modernidad se apoya en una razón tecnológica superpuesta a la naturaleza.



*Planteamientos retomados en educación por los posgrados, han ido generando una cultura docente y estudiantil para la docencia ambiental, favoreciendo y privilegiando también la investigación...*



La propuesta ambiental enfatiza, a diferencia, su problematización, cuestiona la producción, tiende a la desconstrucción del paradigma economicista y en contraposición construye opciones para otros futuros apoyándose en leyes naturales y con sentido social propio de la condición humana. En otras palabras, las políticas gubernamentales y determinantes económicos no pueden y no podrían hacer aquello a lo que la gente no está preparada para aceptar o no requiere de ello para hacerlo. Los políticos sólo pueden moverse cuando la gente los mueve a ellos. El movimiento de las personas está profundamente enraizado en sus propios valores y prioridades, que a su vez son el producto de sus creencias espirituales y morales profundas. (James, 1995; 13). Por eso, cuando se define el desarrollo sustentable como un proceso que satisface las necesidades actuales sin afectar el futuro, es sólo desde la simbolización de un proceso que en esencia requiere de factores tanto naturales como sociales y en especial de participación activa de todos los sectores. Pero la racionalización económica extrema que se hace, convierte al proceso en una identidad en sí misma que no admite discrepancias.

De esta manera, la ideología del desarrollo sustentable propicia una incontenible tendencia al crecimiento, negando cualquier límite, lo cual potencia el proceso económico hacia su muerte. Esta racionalidad evita toda ley natural o cultural y en el discurso maneja que la degradación socioambiental se puede solucionar desde la sustentabilidad. La racionalidad económica recurre al libre mercado para asegurar, en el ámbito simbólico, el equilibrio ecológico e igualdad social, discurso que a la fecha no se ha hecho realidad y no puede ignorarse desde el ojo crítico de la educación ambiental. No podemos seguir viendo más a la política, la economía y la tecnología como los únicos cambios que deban hacerse.

#### **LA FORMACIÓN AMBIENTAL DEL DOCENTE**

La vertiginosidad de estos procesos ha llegado a todos los niveles de las distintas instancias educativas y en especial al posgrado con ritmo muy lento. Es indispensable traducir a los currícula las propuestas al respecto desde la educación ambiental. En particular la formación ambiental se ha desarrollado limitadamente por falta de recursos, de apoyo gubernamental e interés profesional y ha tenido en especial un impacto atenuado en el ámbito de la investigación. (Leff, 2004a; 261). Algunas de estas dificultades no son fáciles de abordar desde la formación ambiental, porque la condición de objetividad y universalización de la ciencia son parte del paradigma dominante del conocimiento. La educación ambiental tiene que luchar desde la trinchera de lo subjetivo, lo singular y personal, del paradigma

emergente y la epistemología ambiental. Pugna que hasta la fecha se sigue dando y desde la educación ambiental este tipo de conocimiento y construcción de saberes atiende a las subjetividades y la construcción de un mundo diverso, como la misma diversidad que nos caracteriza como docentes.

Una de las preocupaciones del desarrollo sustentable desde la racionalidad ambiental es formar en las capacidades y reconocer los fundamentos de la ecología como principio; ambientalmente propiciar equidad social, reconocer la diversidad cultural y atender a procesos democráticos con participación en acciones transformadoras. Se hace necesario contar con la opción a la educación, la formación y capacitación ambiental que sirvan como base para la sustentabilidad ambiental. Esto abriría las puertas inicialmente a una distribución más equitativa de los conocimientos y mayor amplitud en el acceso a los saberes ambientales, con una diferenciación de racionalidades según los modos de vida y cultura de cada persona. (Cañal, 2001; 156).

Dar cabida a otras vertientes de la sustentabilidad repercutirán sobre la conformación de los contenidos ambientales con un sentido abierto y para fines de la formación ambiental con inclusividad. Esto implica una ética, una nueva perspectiva desde donde construir una racionalidad ambiental, reconocer el valor mismo de la educación ambiental y resignificar a la racionalidad económica con fines de concientización del docente. Desarrollar y ejercitar el pensamiento crítico, reflexivo, personal y autónomo, vinculando los saberes personales con los ambientales con un amplio sentido sociocultural, es la respuesta que se requiere. Dar sentido a la vida propia desde esta perspectiva contribuye al desarrollo sustentable de la existencia humana. Para ello es necesaria la transición de un ethos humano dominado

principalmente por el comercio (tekne) y el individualismo a un ethos profesional con personalidad sociomoral que se basa en valores espirituales altos y de beneficio colectivo. Un hombre abierto, consciente y receptivo que implica una nueva manera de pensar y de ser, que se ocupa de sí (epimélea) o del cuidado de sí (cura sui). (Focault, 1994; 34-37) al reconocer su naturaleza interdependiente.

### CONCLUSIONES

En medio de una crisis global medioambiental resulta necesaria la propuesta de la educación ambiental para integrar la comprensión de la interrelación de factores entre lo social y lo natural y el desarrollo de un sentido de responsabilidad ante nuestra naturaleza interdependiente, que pueda llevarnos a responder integralmente a la diversidad de problemáticas de interés global. El énfasis está puesto en la inclusión curricular de procesos interdisciplinarios e interculturales, el diálogo entre valores y tradiciones espirituales, la reflexión de los procesos naturales y la formación de conciencia social, ambiental, ecológica y planetaria a través de la crítica de políticas económicas y de diversas problemáticas sociales inhumanas a través de un modelo ambientalmente sustentable, que define la problemática ambiental como fenómeno social, cultural, político, etc., y se propone elevar la calidad de vida y existencia evitando crisis ambientales.

La educación ambiental cumple la función de generar nuevos valores y unificar conocimientos en bien de la elaboración de una nueva racionalidad ambiental. Planteamientos que retomados en educación por los posgrados, han generado una cultura docente y estudiantil para la docencia de lo ambiental. Así, ha resultado favorecida la investigación, porque el mismo saber ambiental permanece abierto a la diversidad de formas de pensar, a las múltiples opciones teórico-conceptuales



y metodológicas de distintos campos disciplinarios para su enriquecimiento mediante redes de apoyo, y a los recursos diversos para formar al docente en estas capacidades, reconociendo los fundamentos de la ecología como principio, propiciando ambientalmente la equidad social, la apertura a la diversidad cultural y la atención al desarrollo de procesos democráticos que propicien la toma de conciencia personal, social y ambiental, para que se revalore la participación responsable con acciones sustentablemente transformadoras.

### BIBLIOGRAFÍA

**Cañal, Pedro y José E. Porlan.** (2001). *Ecología y escuela*. México: Fontamara.

**Focault, Michel.** (1994). *Hermenéutica del sujeto*. Madrid: La Piqueta.

**González Guadiano, Edgar.** (1995). *Nuestros nuevos retos*. México: Red educadores.

**González Guadiano, Edgar.** (1998). *Debate conceptual y expectativas nacionales y regionales de la educación ambiental*. Revista "Calidad Ambiental". s/n México: I.T.E.S.M.

**Ibarra Rosales, Guadalupe.** (1996). *Tendencias de la educación ambiental*. Revista "Perspectivas educativas" # 18. México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

**James, George.** (1995). *Asking for the earth. Waking up to the spiritual/ecological crisis*. USA: Element.

**Leff, Enrique.** (2004a). *Saber ambiental*. México: Siglo XXI.

**Leff, Enrique.** (2004b). *Racionalidad ambiental*. México: Siglo XXI.

**Mrazek, Rick.** (1996). *Paradigmas alternativos de investigación*. México: Mrazek.

**Pomier Layargues, Phillippe.** (s/a). *Más allá de la naturaleza*. s/e, s/l.

**Toledo, Victor Manuel.** (2000). *Una "modernidad Alternativa"*. Hojarasca 42. Octubre 2000. La Habana. Reseña de su libro: *La paz en Chiapas: ecología, luchas indígenas y modernidad alternativa*. México: UNAM y Editorial Quinto Sol.

**Wilber, Ken.** (1998). *Sexo, ecología, espiritualidad. El alma de la evolución*. España: Gaia.



## CONCENTRACIÓN DE GAS RADÓN EN EL SUELO Y SU RELACIÓN CON LA OCURRENCIA DE TERREMOTOS Y EFECTOS EN LA SALUD EN MEXICALI

Octavio Lázaro Mancilla (olazaro@iing.mxl.uabc.mx), Jaime Reyes López  
Departamento de Hidrología, Geofísica e Impacto Ambiental. Instituto de Ingeniería de la UABC  
Dina L. López, Department of Geological Sciences, Ohio University

### ANTECEDENTES

#### Efectos Geológicos Estructurales y Sismológicos

El hecho de que los terremotos pueden ser precedidos o acompañados por el flujo de gases móviles profundos se remonta al estudio del terremoto de Tashkent en Asia Central, [Fursov et al. (1968)], donde encontraron que el aire proveniente de pozos sobre fallas geológicas contenía 15 veces más mercurio que el aire no localizado sobre zonas de falla. En 1975 Scripps Institute of Oceanography inició estudios para monitoreo de gases como posibles precursores de terremotos. Muestras de gases en manantiales fueron colectados en intervalos de un mes en afloramientos termales y analizados para radón disuelto, helio, nitrógeno, temperatura y conductividad. Al inicio de 1977, el metano fue también medido en cada muestra. Los datos compilados presentaron variaciones de corto plazo en la concentración del gas medido cuando ocurrían eventos sísmicos a lo largo de la Falla de San Andrés, en California (EUA). La correlación más significativa identificada fue el incremento en Radón, Helio, Nitrógeno y Metano, en 1979, justo antes del terremoto de Big Bear en California con

una magnitud de 4.8 (Craig et al., 1980). Por otro lado, Wakita et al. (1978) reportan que se detectó helio en una cantidad de 350 ppm en la Falla Matsushiro, en Japón.

En otro estudio, Wakita (1980), reportó 70 mediciones de hidrógeno en la zona de la Falla Yamasaki, en Japón. Estas mediciones, hechas entre 0.5 y 1 metro de profundidad, reportaron anomalías de hidrógeno ( $H_2$ ) de 2 a 30,000 ppm en la zona de falla, siendo los valores de fondo ambiental de 0.5 ppm fuera de la influencia de la falla. Wakita postuló que el hidrógeno fue formado por las reacciones entre el agua subterránea y las superficies de roca fresca expuesta por el movimiento de falla. Mark Shapiro de Caltech y su grupo descubrieron que el incremento del flujo de gas radón en pozos profundos a lo largo de la Falla de San Andrés aumentó la producción de burbujas en el agua justo antes del terremoto de Valle Imperial, en 1979 (Shapiro, 1981). En 1981, Shapiro y su grupo, animados por experiencias previas y utilizando dióxido de carbono, introdujeron instrumentos de medición de  $CO_2$  en la estación de Lake Hughs, California. Los datos de la estación Hughs mostraron la presencia de anomalías correlacionadas con la producción de radón y dióxido de carbono. Al parecer, el dióxido de carbono alcanzó niveles de saturación en el agua sirviendo entonces como portador para el gas radón (Shapiro, 1982).

En 1996, en un reporte sobre variaciones del flujo de hidrocarburos en infiltraciones naturales y antropogénicas publicado por Jones y Burtell, se indica que grandes volúmenes de gases escapan continuamente de la corteza terrestre a la atmósfera. En tal reporte, se menciona que las áreas de alta actividad debida al flujo de gases parecen estar relacionadas a zonas de fracturamiento tectónico profundo y a juntas o uniones acompañantes, en las cuales la mineralización está localizada. Los gases típicos profundos que están presentes en la corteza son  $CO_2$ ,  $N_2$ ,  $CH_4$ ,  $H_2$ , He, Ar, Rn, Hg,  $SO_2$ , COS y  $H_2S$ . Cabe mencionar que todas las redes de monitoreo que se encontraban instaladas para la observación del terremoto más esperado en Parkfield, California y que ocurriría en 1993 de acuerdo a las predicciones, pero que se presentó finalmente hasta el 28 de septiembre de 2004 con una magnitud  $M=6.0$ , se han descontinuado, manteniéndose sólo en operación las redes de observación de radón, hidrógeno, dióxido de carbono y temperatura en pozos profundos. También se ha incrementado la instalación de monitores continuos de gas radón e hidrógeno en el suelo cerca de los sitios de monitoreo de aguas subterráneas. En 2005, durante la Reunión Anual de la American Geophysical Union, Thomas Wiersberg presentó información derivada de las observaciones reportadas de hidrógeno y gas radón en la vecindad del Observatorio Profundo de la Falla de San Andrés y de la relación que pueden tener estos gases con los mecanismos de ruptura que producen los terremotos.

#### EFECTOS EN LA SALUD

Si bien, Segovia et al. (2002) mencionan que en México existe poca información acerca del riesgo que representa el radón en términos de salud, el informe del Foro: "La Salud Ambiental en la Frontera de Baja California y California" menciona que se necesitan estudios adicionales sobre la relación entre los contaminantes ambientales y las afecciones de la salud, tales como el asma y la fibrosis pulmonar (Collins y Reyna, 2002); a la fecha, además de lo anterior, tenemos reportado en la literatura sobre Mexicali y su Valle lo siguiente:

Un estudio realizado en el 2000, sobre los efectos del radón en casos de muerte por cáncer pulmonar en Mexicali; en dicho estudio se encontró que el mayor número de muertes se presentó en colonias que carecían del servicio de pavimentación y, en todos los casos, siempre ocurrían con mayor frecuencia en el género femenino; y que en los hogares de los fallecidos, las concentraciones de radón aparecían por arriba de las de los hogares en donde no hubo caso de fallecimiento por esta patología (Reyna y López, 2002). El promedio general de concentración de gas radón que se tuvo en este estudio fue de 0.94 PCi/L.

Otro estudio realizado por Ruiz (2006), se enfocó a la situación referente a la falta de pavimentación. En este estudio, los niveles de gas radón ( $^{222}Rn$ ) en 25 hogares de la ciudad de Mexicali fueron medidos para realizar un análisis comparativo con las 94 muestras de radón obtenidas en el trabajo

de Reyna y López. El estudio tuvo como objetivo saber si había correlación entre las concentraciones de radón y la ubicación de los estratos; pavimentado y no pavimentado, y determinar si estos niveles permanecían dentro de los parámetros de referencia para el gas radón que establece la Environmental Protection Agency (EPA). Las muestras se ubicaron en: un estrato representado por colonias con servicio público de pavimentación y en otro estrato en colonias sin el servicio de pavimentación. En los resultados se encontró un valor promedio de 0.792 PCi/L y de 0.7310 PCi/L de aire para los estratos no pavimentado y pavimentado, respectivamente. El promedio general fue de 0.760 PCi/L.

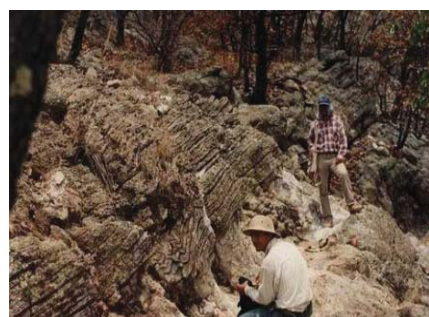
#### ESTUDIOS SOBRE LA FALLA IMPERIAL

La ciudad de Mexicali y su Valle se encuentran situados dentro del sistema de Fallas de San Andrés, sistema de fallas geológicas generado por la actividad de las placas tectónicas del Pacífico y de Norteamérica. Esta zona, que inicia desde San Francisco (EUA), cruza la ciudad de Mexicali (México) y continúa hacia el Golfo de California, está catalogada como zona de muy alto peligro sísmico, en donde la cantidad de sacudida del terreno que probablemente ocurra al menos una vez en un periodo de 50 años es del 32% de la aceleración de la



gravedad (Press, 1998). El primer registro de sismicidad del Valle de Mexicali data de 1850; de dicho año a 1930 se registraron dos temblores con epicentros probables en la Falla Imperial: uno de magnitud 6.5 en 1875, y el otro de magnitud 5.7 en 1906; en ningún caso se reportó ruptura de la Falla Imperial. Posteriormente a la instalación de la Red sísmica del Sur de California, en 1932, ocurrieron dos temblores moderadamente grandes en la Falla Imperial: el denominado "El Centro", del 18 de mayo de 1940, con magnitud 7.1 y de magnitud 6.6 en el llamado "Imperial", del 15 de octubre de 1979.

te una red sísmológica que pudiese, primero, resolver el problema de monitoreo de la actividad propia de Mexicali y su Valle, y después, ubicar adecuadamente las fallas y sus estructuras asociadas. Por tal motivo se han realizado campañas de georadar y sísmica de reflexión por el primer autor de este trabajo desde 2005, con la finalidad de ubicar las trazas de la falla y caracterizarlas.



Aunque la ciudad de Mexicali se encuentra en una zona de alto peligro sísmico, a la fecha no exis-



**JUSTIFICACIÓN**

La carencia de investigaciones asociadas al conocimiento de los niveles de concentración del gas radón y sus relaciones con estructuras geológicas, terremotos y los efectos en la salud en Mexicali justifican el presente estudio. Que tiene como objetivos principales:

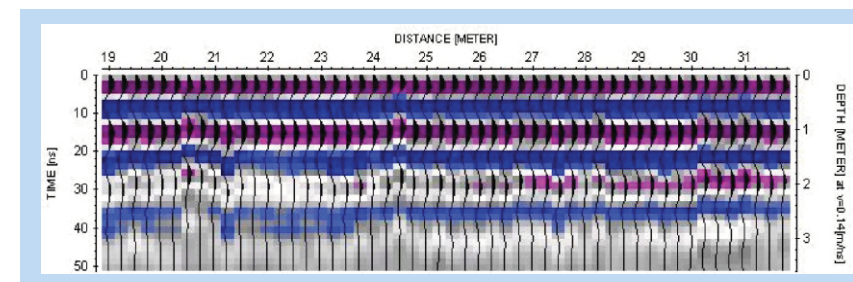
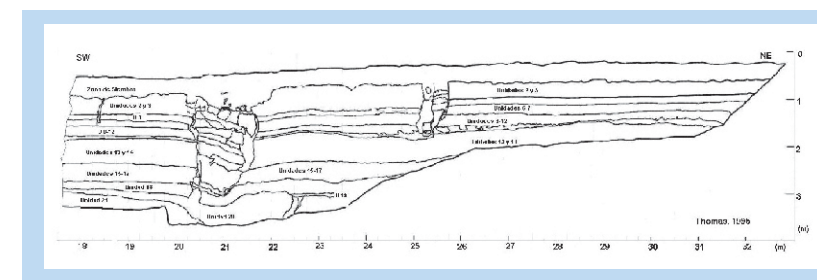
1. Ubicar las trazas de la Falla en el sitio de estudio.
2. Conocer si los valores de concentración de gas radón observados en el sitio están dentro de los valores permisibles de acuerdo a la Environmental Protection Agency (EPA).

**LOCALIZACIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO**

La presente investigación se efectuó sobre un perfil a lo largo de una brecha, sesgado a la Falla Imperial, con 930 m de longitud y 17 estaciones en la Colonia Castro, de Mexicali (Figura 1), cercana a la Frontera Internacional entre México y Estados Unidos (ver tabla 1). La estación 5 de este perfil está sobre la traza de la falla, a una distancia de 20 metros al SE del punto 20m que está sobre la misma traza de falla; este punto es el segundo del perfil de georadar perpendicular a la Falla Imperial; la estratigrafía del sitio fue obtenida por Thomas (1995) (ver Figura 2).



**Figura 1.** Sitio de Estudio, Colonia Castro. La traza de la Falla Imperial pasa por la estación 5 del perfil de radón.



**Figura 2.** Estratigrafía e imagen de georadar entre las estaciones 19 m y 32 m. La estación 5 del perfil de radón y la estación 20 m del perfil de georadar, están sobre la traza de la falla con una separación 20 m entre ambas.



**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En la tabla 1 se pueden observar los resultados de la concentración de gas radón obtenidos durante la toma de datos, mismos que se grafican en la figura 3. Lo primero que podemos observar es la presencia de tres picos por encima de los 40 (PCi/L) asociados a las estaciones 4, 12 y 15 que por este tipo de levantamiento podemos relacionar a trazas de la Falla. Los picos al nivel de 20 (PCi/L) asociados a las estaciones 6 y 9 no son muy confiables debido a la incertidumbre presente en esas observaciones y en especial en la estación 6. Sin embargo, aunque el valor de la estación 5, de 13.80 (PCi/L) no es un pico, nos presenta el valor de concentración de radón justo en la ruptura de falla, fácil de ver tanto en el perfil de radar como en la estratigrafía entre las estaciones 20 y 26 m de ambas imágenes.

Por último, y lo más importante, está relacionado a los niveles que reportan Reyna y Ruiz como bajos y que no son un riesgo para la salud, los cuales en promedio tienen 0.90 (PCi/L) para el estudio de 2000; 0.730 (PCi/L) para el estrato pavimentado y 0.760 (PCi/L) para el estrato no pavimentado en el estudio de 2006. El valor promedio en este estudio es de 22.11 (PCi/L), valor muy por encima de los 4 (PCi/L) mencionados por Reyna y López (2002) y Ruiz (2006), cuyo nivel en caso de estar en un ambiente cerrado podría ser desastroso para la salud, ya que de acuerdo a la guía para radón de la Environmental Protection Agency (EPA), de una población de 1000 personas fumadoras expuestas de por vida a estos niveles, 135 de ellas podrían desarrollar cáncer de pulmón; en caso de 1000 personas no fumadoras expuestas de por vida, 8 de ellas podrían desarrollar cáncer de pulmón.

**Tabla 1.** Estaciones y Concentración de <sup>222</sup>Rn en la Colonia Castro, Mexicali, B. C.

Localización	Latitud(UTM)	Longitud(UTM)	Concentración <sup>222</sup> Rn( PCi/L)
1	11 0653862	3 616315	6.60 ± 1.20
2	0653960	3 616327	0.60 ± 1.20
3	0653972	3 616325	37.81 ± 1.20
4	0654014	3 616330	48.21 ± 1.20
5	0654047	3 616334	13.80 ± 3.60
6	0654067	3 616336	22.80 ± 12.60
7	0654092	3 616338	10.20 ± 7.20
8	0654117	3 616334	1.80 ± 1.20
9	0654174	3 616339	18.60 ± 6.00
10	0654206	3 616342	4.20 ± 2.40
11	0654292	3 616371	7.20 ± 0.60
12	0654354	3 616376	94.83 ± 18.60
13	0654446	3 616339	9.60 ± 0.60
14	0654522	3 616392	8.0 ± 1.80
15	0654586	3 616365	62.42 ± 4.20
16	0654695	3 616447	15.00 ± 1.20
17	0654781	3 616441	18.60 ± 0.00

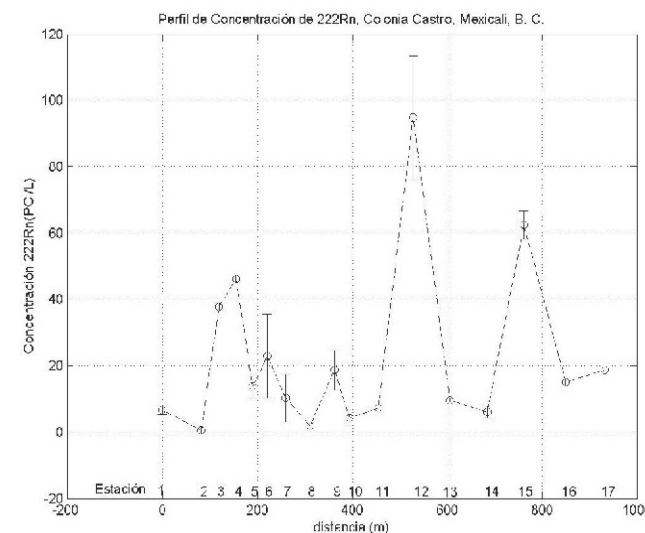
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

De los resultados obtenidos del presente estudio, concluimos que la Falla Imperial en el sitio de estudio presenta varias trazas, lo que nos lleva a pensar en la existencia de agrietamientos paralelos y no sólo en una traza de falla. Por otro lado, con relación a los efectos en la salud, consideramos que la Falla Imperial en ese lugar es un sitio peligroso para los asentamientos humanos, claro que habrá que seguir midiendo para poder observar las variaciones en la concentración del gas radón en función del tiempo. Con base en lo anterior podemos hacer las siguientes recomendaciones:

**Primera:** desde el punto de vista geológico estructural y sísmológico se hace necesario extender los estudios de radar y sísmico a ambos lados de la traza de falla para obtener imágenes del suelo de los sitios de valores máximos obtenidos por la medición de gas radón. También sería interesante hacer un estudio exhaustivo en el suelo de todo Mexicali y su Valle para determinar otros sitios donde los niveles de concentración del gas puedan ser iguales o mayores.

**Segunda:** se recomienda el monitoreo de las emisiones de gas radón en este sitio de la Falla Imperial con tecnología de pozos profundos para poder correlacionar las variaciones de flujo de este gas con la ocurrencia de terremotos.

**Tercera:** desde el punto de vista de los efectos en la salud, es necesario elaborar un mapa de emisiones de radón para Mexicali y su Valle con el fin de evitar la construcción de estructuras habitacionales en zonas donde las concentraciones resulten por encima de las permitidas.



**Figura 3.** Concentración de gas Radón, Colonia Castro, Mexicali, B.C., México.

**RECONOCIMIENTOS**

Se agradece al Departamento de Ciencias Geológicas de Ohio, University, el préstamo del equipo de monitoreo de radiación portátil PYLON AB-5.

**BIBLIOGRAFÍA**

Collins, K. y Reyna, M.A. (2002). Salud ambiental en la frontera de Baja California y California. PP(6-7). 9-10 de abril de 2002. San Diego State University, Imperial Valley Campus y Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali.

Craig, H., Chung, Y., Lupton, J.E., Damasceno, S., Poreda, R., 1980, Investigation of radon and helium as possible fluid phase precursors to earthquakes: Technical Report 13, United States Geological Survey Contract #USGS 14-08-0001-18348, 36 pages.

Fursov, V.Z., Vol'fson, and Khvalorski, A.G. 1968, Results of a study of mercury vapor in the Tashkent Earthquake Zone: Dokl Acad. Navk USSR, Vol 179, No. 5, pp. 1213-1215.

Jones, V. T. and Burtell, S.G., 1996. Hydrocarbon Flux Variations in Natural and Antropogenic seeps In: Hydrocarbon Migration and its Near- Surface Expressions; AAPG Memoir 66, p. 203-221; Eds.: D. Schumacher and M. A. Abrams.

Press, F. and Siever, R. 1998. Understanding Earth. W. H. Freeman and Company. USA. P. 477.

Reyna M.A. y López G. (2002). Estudio del efecto del radón en los casos de muerte por cáncer pulmonar en la población de Mexicali, Baja California, México. Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica. Vol. XXIII, Núm.2 pp. 68-73.

Ruiz Ortiz Noé S., 2006. Estudio Exploratorio Intradomiciliario de Contaminación por Gas Radón usando Pruebas Cortas, Tesis de Maestría en Ingeniería. Instituto de Ingeniería, UABC. Mexicali, B. C.

Segovia N, Ponciano G, Ruiz W, y Godínez L., (2002). Indoor radon and airborne particles. Geofísica internacional. ISSN 00167119. Vol.41, No.3. pp 255-259.

Shapiro, M.H., Melvin, J.D., Tombrello, T.A., Mendenhall, M.H., Larson, P. B., and Whitcomb, J. H., 1981, Relationship of the 1979 Southern California radon anomaly to a possible regional strain event: J. Geophysical Research, V. 86, 1725 pp.

Shapiro, M.H., Melvin, J.D., Tombrello, T.A., Fong-liang, Jiang, Gui-ru, Li, Mendenhall, M.H., and Rice, A., 1982, Correlated radon and CO2 variations near the San Andreas Fault: Geophysical Research Letters, V. 9, No. 5, pp. 503-506.

Thomas, A. P. 1995. Seismotectonics of the Imperial-Mexicali Valley, Northern Baja California, México. Master Science Thesis. San Diego State University

Wakita, H., 1978, Helium spots: caused by diapiric magma from the Upper Mantle: Science, V. 200, April 28, pp. 430-432.

Wakita, H., 1980, Hydrogen release: new indicator of fault activity: Science V. 210, October 10, pp. 188-190.