

TECNOCULTURA

Investigación - Ciencia - Tecnología - Cultura

Año 2, N° 4, mayo-agosto 2003

**Sustentabilidad y
Desarrollo Sustentable
Origen, evolución y
diferencias conceptuales**

**La aplicación de enzimas
en la industria**

**Entrevista con el
Dr. Adolfo Guzmán Arenas
(Pionero de la Inteligencia Artificial en México)**



TECNO RED

www.arts-history.mx
Artes e Historia de México

Página dedicada a temas culturales, cine, teatro, arquitectura, danza, antropología e historia, editoriales y revistas, etcetera.



www.elsevier.com
Revistas electrónicas
Agricultural Water Management;
<http://198.65.171.40/eawm.asp>

Applied Catalysis - A;
<http://198.65.171.40/eacata.asp>

Applied Catalysis - B;
[HTTP://198.65.171.40/eacatb.asp](http://198.65.171.40/eacatb.asp)

Artificial Intelligence;
<http://198.65.171.40/eai.asp>



E D I T R I A L

La creciente preocupación sobre el futuro y la sustentabilidad del mundo, ha generado diferentes acciones encaminadas a la elaboración de estrategias que coadyuven a preservar los recursos naturales con los que se cuenta.

El Desarrollo Sustentable tiene como finalidad mejorar la calidad de vida de los habitantes del planeta, evitando el consumo excesivo de los recursos naturales. Para ello, se deben establecer acciones que beneficien el crecimiento y desarrollo sin perjudicar a las generaciones futuras.

En el marco de la globalización, han sido pocos los países que han alcanzado niveles elevados en su modo de vida, algunos de ellos lo obtuvieron mediante la explotación indiscriminada de los recursos naturales: energéticos, agua, suelos y zonas boscosas, lo que, en consecuencia, trajo consigo la contaminación del medio ambiente.

Por ello, es menester que las Instituciones de Educación Superior promuevan una cultura de sustentabilidad en el uso de los recursos naturales y generen investigaciones que coadyuven a disminuir los problemas originados por el crecimiento de la industria y el consumo excesivo de la población.

En este sentido, el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, desarrolla sus esfuerzos a través de los Laboratorios de Catálisis Enzimática, para la recuperación de suelos contaminados y métodos menos agresivos en los procesos industriales. Al respecto, en este número se dan a conocer dos importantes investigaciones en dicha área: "Biorremediación como alternativa para la restauración de suelos contaminados con hidrocarburos" y "La aplicación de las enzimas en la industria".

En el TESE también se cuenta con un proyecto ecológico encaminado a generar una cultura ambiental entre la comunidad interna, para fortalecer los programas y acciones establecidos en el propio Tecnológico, siendo una de las contribuciones el artículo aquí publicado acerca de los "Residuos Sólidos", en el cual se explican los problemas ocasionados por los diferentes tipos de contaminantes y las medidas que se han tomado para evitar el impacto ecológico.

Al ser una institución multidisciplinaria e interinstitucional, se presentan además las opiniones que, en entrevista para este medio de difusión, nos concedió el doctor Adolfo Guzmán Arenas, pionero de la Inteligencia Artificial en México.

Por último, en la sección Promotores de la ciencia y la tecnología, se hace un reconocimiento al Dr. José Sarukán Kermez, por su ingreso como miembro extranjero a la Royal Society del Reino Unido.



DIRECTORIO

LIC. ARTURO MONTIEL ROJAS
Gobernador Constitucional
del Estado de México

ING. AGUSTÍN GASCA PLIEGO
Secretario de Educación, Cultura y Bienestar
Social del Estado de México

M. EN C. CARLOS LEÓN HINOJOSA
Subsecretario de Educación
Media Superior y Superior

AUTORIDADES DEL TESE

M. EN A. URIEL GALICIA HERNÁNDEZ
Director General

DR. VÍCTOR MANUEL LÓPEZ LOPEZ
Director Académico

C. P. ANÍBAL PACHECO GÓMEZ
Director de Administración y Finanzas

M. EN C. MARIO QUEZADA ARAGONEZ
Director de Vinculación y Extensión

LIC. JAVIER VILLEGAS ALTAMIRANO
Abogado General

ING. PONCIANO VALERO DOMÍNGUEZ
Jefe de la Unidad de Planeación

C.P. JOSÉ LUIS MORENO HERNÁNDEZ
Contralor Interno

CONSEJO EDITORIAL

DR. ADOLFO GUZMÁN ARENAS

DR. JUAN JOSÉ SALDAÑA

DR. FELICIANO SÁNCHEZ SINENCIO

DR. MANUEL MÉNDEZ NONELL

DR. CARLOS ORNELAS

Contenido

La aplicación de las enzimas en la industria

M. en C. Aurora Martínez Trujillo



4

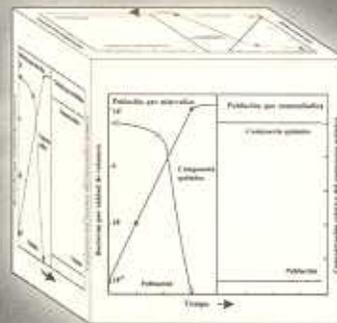
Dr. Adolfo Guzmán Arenas Entrevista



18

Biodegradación de compuestos químicos que afectan al ambiente

Martin Alexander



35



Foto portada: Anibal Pacheco Gómez
Cecilia Saldana, Palenque, Chiapas

Tecnocultura, revista de divulgación del conocimiento científico, tecnológico y humanístico del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, es una publicación cuatrimestral. El número corresponde a mayo-agosto de 2003, y se terminó de imprimir en octubre de 2003. El tiraje es de 1000 ejemplares. **Editor responsable:** Lic. María Isabel Arroyo Pérez. **Corrección de estilo:** Lic. Rafael Ortiz Hernández. **Diseño y formación:** D.G. Marcos Meléndez Hernández. Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, Av. Tecnológico s/n esq. Av. Hank González, Col. Valle de Anáhuac C.P. 55210, Ecatepec, Estado de México. Tel. 5710 45 60. Fax Ext. 300. Correo electrónico: tecnocultura@tese.edu.mx. Número de certificado de licitud de título y Reserva al título de derechos de autor en trámite. Imprenta: Creatividad Gráfica, Secc.10 Mz.1, L. 11, Col. Río de Luz, Ecatepec, Estado de México. Se autoriza la reproducción total o parcial del material publicado en *Tecnocultura*, siempre y cuando cite la fuente. Los artículos son responsabilidad de los autores. Número de autorización del Comité Editorial de la Administración Pública Estatal A: 205/4/024/03-2.

<http://tecnocultura.tese.edu.mx>

**Biorremediación como
alternativa para
la restauración de suelos
con hidrocarburos**
Dra. Ma. del Rosario Peralta Pérez



11

**Residuos
Sólidos**
Biol. Ma. del Carmen Luna Vargas



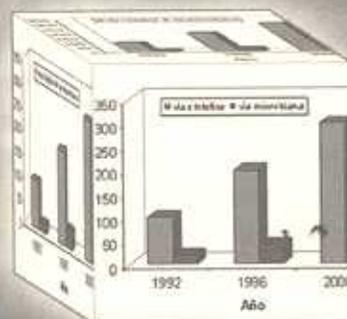
14

**Sustentabilidad y
Desarrollo Sustentable
Origen, evolución y
diferencias conceptuales**
Dr. Víctor Manuel López López



22

**Importancia de los
pigmentos carotenoides
y su aplicación en la
industria**
Dra. Alma Rosa Domínguez Bocanegra

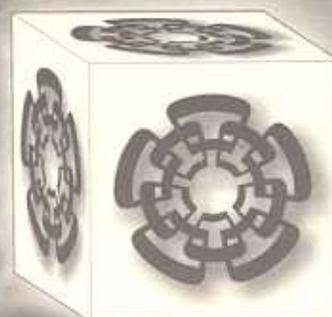


30

Tecnored



**First Announcemental/call-for-abstracts
CINVESTAV**



38

La aplicación de las enzimas en la industria

M. en C. Aurora Martínez Trujillo*

Las enzimas son proteínas, cuya función es catalizar las reacciones biológicas. Están presentes en todas las células vivientes, en donde desarrollan una función primordial, ya que controlan los procesos metabólicos. Consisten en largas cadenas de aminoácidos unidos entre sí por enlaces peptídicos; toman parte en la ruptura de materiales contenidos en los alimentos, convirtiéndolos en materias más simples. Estas sustancias son capaces de convertir los nutrientes en energía, en nuevas células y hasta en productos, algunos de los cuales tienen un elevado potencial para su explotación comercial. Otras se encuentran en el tracto digestivo, donde se encargan de romper las proteínas en aminoácidos, las grasas en ácidos grasos y glicerol, y el almidón en azúcares simples, facilitando así la digestión de todos los alimentos que ingerimos. Por ser catalizadores, su presencia puede acelerar una reacción o proceso sin tomar parte en él. Dichos procesos serían realmente lentos o prácticamente imposibles si no estuviera una enzima presente en ellos. Después de completarse la reacción, la enzima es liberada nuevamente, lista para comenzar otra reacción. En principio, su función debería ser eterna, pero en la naturaleza muy pocas cosas lo son; por lo tanto, la mayoría de los catalizadores tienen una estabilidad limitada, y después de cierto tiempo pierden su actividad, quedando imposibilitadas para volver a tomar parte en los procesos que catalizan.

En comparación con los catalizadores inorgánicos, como los ácidos, las bases, los metales y los óxidos metálicos, las enzimas son muy específicas, ya que pueden actuar sobre sustratos particulares. En algunos casos su acción se limita a enlaces específicos en los compuestos sobre los que actúan. La o las moléculas sobre las que actúa una enzima se conocen como sustratos, los cuales son convertidos en uno o más productos. Una parte de la larga molécula de la enzima, conocida como sitio activo, se ligará reversiblemente al sustrato y ahí catalizará el cambio específico necesario para convertir el sustrato en un producto. Para cada tipo de reacción que sucede dentro de una célula existe una enzima diferente. En general, las enzimas se han clasificado en seis categorías, de acuerdo a la reacción que catalizan: oxidoreductoras, transferasas, hidrolasas, ligasas, isomerasas y liasas. (Prescot, *et al.*, 2002). Como lo muestra la figura 1, las enzimas pueden

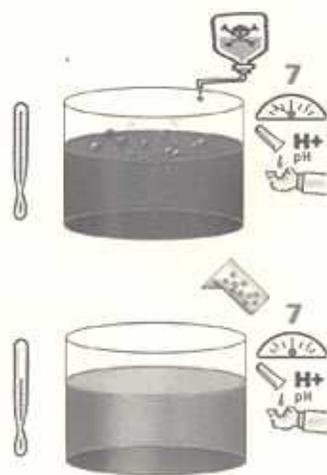


Figura 1. Las enzimas trabajan a condiciones medias.

Todos hemos oído hablar de las enzimas, aunque para muchos no es sencillo entender qué son o para qué sirven. Sin embargo, todos estamos aquí gracias a la acción de las enzimas, y su aplicación es constante en nuestra vida cotidiana.

*Profesora e investigadora del Laboratorio de Catálisis enzimática del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec
auro_mt@yahoo.com

trabajar a presión atmosférica y en condiciones medias con respecto a la temperatura y acidez (pH); la mayoría funcionan a temperaturas de 30° a 70° C y en valores de pH cercanos al punto neutro (pH 7). Actualmente se conocen enzimas capaces de trabajar en altas temperaturas o pH extremos, obtenidas a partir de microorganismos extremófilos (Zamost, *et al.*, 1991; Longo y Combes, 1999).

Los procesos enzimáticos se caracterizan por consumir poca energía, por lo que no se requiere de equipos especiales; algunos son resistentes al calor, la presión y la corrosión. Debido a su eficiencia, su capacidad de acción específica, las condiciones medias a las que trabajan y su elevada biodegradabilidad, las enzimas tienen un amplio uso en diversas aplicaciones industriales (Bajpai, 1997).

En la práctica industrial, la mayoría de las enzimas se utilizan una sola vez y se desechan cuando han efectuado su trabajo.

Su aplicación en la industria textil



Figura 2. Las enzimas mejoran la apariencia de la tela.

Las enzimas han encontrado en los últimos tiempos diversos usos en la industria textil, principalmente en los acabados de telas y prendas. Las telas hechas de algodón o mezclas de algodón y fibras sintéticas se refuerzan con un adhesivo, a fin de prevenir la ruptura o deformación de los hilos. Con este propósito se utiliza el almidón o los derivados de éste: gelatina, goma vegetal, polivinil alcohol y celulosa soluble, así como sus derivados: la metil y la carboximetilcelulosa. Durante el procesamiento de la tela, que consiste en el teñido, blanqueo e impresión, el adhesivo debe ser removido para obtener texturas uniformes. Este procedimiento puede llevarse a cabo mediante el uso de ácidos, agentes oxidantes o bases; sin embargo, estos procesos implican el riesgo de dañar las fibras. El descubrimiento del mecanismo de acción de ciertas enzimas ha permitido reemplazar casi completamente estos métodos, ya que éstas son altamente efectivas en la remoción de dichos compuestos, y extremadamente nobles con las telas y la maquinaria, además de no causar contaminación ambiental, como lo hacían los antiguos procesos utilizados en la industria textil (Sreenath, *et al.*, 1996).

El biopulido

Es un tratamiento enzimático para el algodón y otras fibras naturales basadas en la celulosa. Dicho tratamiento le da a la tela una apariencia más lisa y brillante. Se utiliza para remover las pequeñas hebras de las fibras, que sobresalen de la superficie de la tela, conocidas como "pelusa". Estas "pelusas" o pelotitas pueden presentar un serio problema de calidad, debido a que confieren a la tela una apariencia poco atractiva para el consumidor. Después del biopulido la tela muestra menor tendencia a formar "pelusas". Un beneficio adicional obtenido con el tratamiento enzimático es un mejor manejo de la tela y una brillantez superior en el color de la misma (Cavaco-Paulo y Almeida, 1996).

Deslavado de mezclilla

La mezclilla goza de una posición única en el mundo de la moda. Los *jeans*, después de fabricarse, son lavados con piedras pómez para conferirles la apariencia de gastados. El lavado tradicional involucra el uso de una lavadora especial y piedras pómez. A pesar de los excelentes resultados obtenidos con ese proceso, se causan en la tela severas pérdidas en cuanto a su resistencia a la tensión, además de dañar los accesorios de las prendas y causar el desgaste excesivo de la maquinaria. Para resolver estos problemas se utiliza la celulasa, una enzima que trabaja directamente en la pérdida de color en el proceso denominado "biolavado", el cual ha traído consigo una gama de posibi-

lidades para el terminado de la mezclilla al incrementar la variedad de deslavados. Con una enzima es posible desgastar la mezclilla a un mayor grado sin el riesgo de dañar la prenda (Figura 3), además de incrementar la productividad, ya que las máquinas para este proceso pueden deslavar una mayor cantidad de prendas, evitando además su desgaste (Ponce y Pérez, 2002).

Las enzimas en la panadería

El horneado del pan es una de las técnicas de procesamiento de comida más comunes en todo el mundo. El componente básico de todo tipo de pan es la harina, a la cual se le adiciona sal, agua y levaduras. A veces se añaden otros ingredientes como azúcar, grasas y saborizantes. Los principales componentes de la harina y su relativa abundancia son el 82% de almidón, 12% de proteína y el 3% de fibra. La harina de trigo tiene enzimas naturales que modifican al almidón y a la fracción de fibra que contiene la harina cuando se le adiciona agua para hacer la masa. En forma similar, la adición de levaduras también le proporciona enzimas que ayudan en la fermentación de la maltosa y otros azúcares durante el proceso de horneado para producir CO_2 , lo cual provoca que el pan se esponje (Figura 4).

Con todo lo anterior, la masa deja de ser un material difícil de digerir (Potter, 1978). En grandes operaciones de fabricación de pan, la calidad de la harina de trigo varía dependiendo de algunos factores, como la época del año, las inconsistencias en el molino o los lentos cambios en el trigo durante su almacenamiento. Con la finalidad de ofrecer productos consistentes para el consumidor, y tener a la vez procesos más eficientes, se están utilizando las enzimas como suplementos en el proceso de elaboración del pan. Dentro de las enzimas con mayor uso en la industria de la panificación destacan a las xilanasas, α -amilasas, proteasas, glucosa-oxidasas y lipasas. Estas enzimas se adicionan al moler la harina seca, y al igual que hacen las enzimas del trigo, se activan cuando se adiciona el agua para elaborar la masa. Estos suplementos permiten su adecuado manejo y un control de las características del pan terminado como son: el sabor, el volumen, la textura de la migaja y las propiedades de anti endurecimiento. Estas enzimas están reemplazando gradualmente a otros mejoradores químicos de la harina. Durante la formación de la masa, una porción del almidón se degrada gracias a la acción de la β -amilasa endógena del trigo. Esta reacción puede mejorarse al agregar α -amilasa, la que a su vez puede ayudar a prolongar la frescura del pan. Por otro lado, enzimas como la glucosa oxidasa pueden reemplazar a los oxidantes químicos, tales como los bromatos o el ácido ascórbico, usados para fortificar al gluten, obteniéndose así, una masa más fuerte y con mayor elasticidad (Oxenbol, 1994).

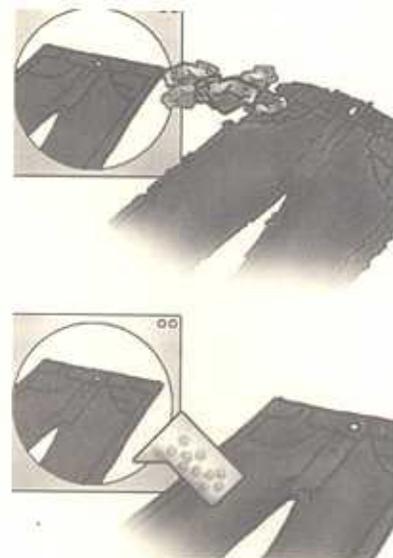


Figura 3. Las enzimas deslavan la mezclilla y eficientan el proceso.

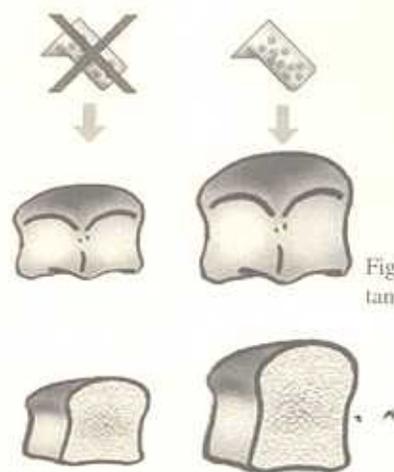


Figura 4. Las enzimas aumentan el volumen del pan.

El uso de las enzimas en la industria cervecera

La fermentación de la cerveza involucra esencialmente la producción de alcohol por la acción de levaduras presentes en los cereales, como la cebada, el maíz, sorgo, lúpulo y arroz. Las levaduras son capaces de convertir azúcares simples en alcohol y CO_2 ; sin embargo, la mayoría de los azúcares presentes en los materiales constituyentes de las plantas son en forma de polisacáridos, que no pueden ser utilizados fácilmente. Tradicionalmente, estos nutrientes se degradan por el proceso denominado malteo, en donde se permite que la cebada germine parcialmente y, mientras tanto, se liberan las enzimas endógenas que degradan al almidón y a las proteínas, hasta convertirlas en azúcares simples y aminoácidos que pueden ser utilizados por las levaduras.



Figura 5. Las enzimas tienen diversas aplicaciones como detergentes.

El proceso de malteo es una forma relativamente cara de fabricar enzimas y no siempre es fácil de controlar. Las enzimas industriales, tales como las amilasas, glucanasas y proteasas pueden adicionarse a la cebada antes del malteado para obtener los mismos azúcares simples y aminoácidos que en el malteo, pero de un modo más controlado. Dichas enzimas juegan además un papel muy importante como mejoradoras de la filtración, ya que a menudo se presentan problemas durante esta etapa del proceso, debido a la elevada viscosidad de los líquidos a filtrar, provocada por el exceso de azúcar. Ante esto, se utilizan xilanasas o glucanasas, que ayudan para prevenir la saturación de las membranas de filtración y a eficientar los procesos (Priest y Campbell, 1995).

Las enzimas como detergentes

Las enzimas se han utilizado en la industria de los detergentes desde mediados de los 60, incorporadas a los "detergentes biológicos", polvos líquidos y tabletas, siendo probablemente la aplicación más conocida para las enzimas industriales. La principal actividad enzimática en los detergentes biológicos es la proteasa, que actúa sobre las cadenas orgánicas de materias como el pasto, la sangre, el huevo y el sudor humano. Sin embargo, se ha vuelto común en los años recientes incluir un cóctel de actividades enzimáticas, como las lipasas y amilasas. Recientemente se han desarrollado polvos potenciadores del color y antiburbujeantes que contienen celulasas. Se piensa que el modo de acción de dichas enzimas es en la remoción de las fibrillas de celulosa desprendidas del tejido, que causan un apagado progresivo del color a medida que la suciedad es atrapada en la superficie de la tela.

El uso de enzimas en detergentes para lavavajillas automáticas se está volviendo también muy popular. Las actividades enzimáticas típicas son la proteasa y la amilasa, que son usadas para remover las partículas de comida. Estos nuevos productos son más benévolos con el medio ambiente, ya que contienen menos agentes blanqueadores y menos fosfatos (Figura 5).

La producción de vinos

La fabricación del vino involucra principalmente la fermentación del jugo de uva. La extracción del jugo es, sin embargo, el proceso más complicado en las frutas, comparado con otros como la extracción de los sabores o colores, como sucede en el caso del vino tinto. Las uvas utilizadas para la fabricación del vino se colectan antes de que hayan madurado. La fruta no madura contiene grandes cantidades de protopectina insoluble, que puede absorber grandes cantidades de jugo durante el prensado y también puede dar soluciones muy viscosas que son difíciles de procesar. La adición de pectinasas durante el molido puede hidrolizar las pectinas, con lo cual se incrementa el

rendimiento del jugo, además de ayudar en su clarificación y prevenir que éste se gelifique. Algunas uvas contienen además grandes cantidades de arabinosilanas que pueden tratarse con xilanasas, las cuales se adicionan al proceso. Otro problema específico en la fabricación del vino es la infección frecuente de las uvas por los hongos *Botrytis cinerea*, los cuales producen β -glucanas, que estorban durante la clarificación del vino, tapando los dispositivos utilizados para la filtración. La adición de β -glucanasas puede solucionar este problema (Figura 6). Otro uso especial de las enzimas en la fabricación del vino, incluye la adición de proteasas para mejorar la esta-

bilidad del color en los vinos rojo al reducir el enlace de los taninos polimerizados a las proteínas, y el uso de glicosidas para hidrolizar los terpenil glicósidos, incrementando el aroma o buqué del vino.

Las enzimas en el procesamiento de alimentos

Los procesos en los que se utilizan enzimas durante el procesamiento de alimentos son muy numerosos para describirlos con detalle. Las enzimas pueden emplearse para modificar las materias primas y los aditivos en el procesamiento o en los estados de cocción. Las funciones de las enzimas en este campo incluyen: potenciamiento del sabor y aroma y la remoción de sabores indeseables, mejorando la digestibilidad y modificando la textura y apariencia del producto final. La principal actividad enzimática utilizada en el procesamiento de alimentos es la proteasa; sin embargo, tienen buen uso las aplicaciones que incluyen lipasas y actividades degradativas de carbohidratos (Ray, 1996).

Su uso en el procesamiento de jugos de frutas

Las enzimas se utilizan en el procesamiento de frutas no cítricas para maximizar la producción del jugo clarificado. Generalmente, las frutas y fresas contienen pectinas y otros polisacáridos tales como el almidón y las arabinosilanas; las pectinas mantienen las células de las frutas juntas como una "goma", lo cual provoca una liberación pobre del jugo durante el pulpeo, y la presencia de pectinas solubles en el jugo subsecuente causa la turbidez del mismo. La adición de enzimas degradadoras de pectina en la fase de pulpeo incrementa el rendimiento del jugo y ayuda a su clarificación, y son particularmente importantes en la producción de jugos concentrados de frutas, ya que las pectinas pueden formar geles muy viscosos que obstaculizan la filtración y la concentración de altos niveles de sólidos disueltos.

La arabinosilana y el almidón, presentes en el jugo de manzana, pueden disminuir los rendimientos de filtración, por lo que deben eliminarse mediante la adición de xilanasas y α -amilasas. Las celulasas tienen la característica de desempeñar un papel importante durante la extracción de jugos a partir de las fresas, donde el rendimiento del jugo junto con la extracción del color y los componentes del sabor, pueden ser difíciles.

En el procesamiento de las frutas cítricas las enzimas ayudan a maximizar la producción de jugos turbios, contribuyen a resolver los problemas de la extracción del jugo de la pulpa de frutas cítricas y a reducir su viscosidad durante la concentración. Sin embargo, los jugos cítricos son muy

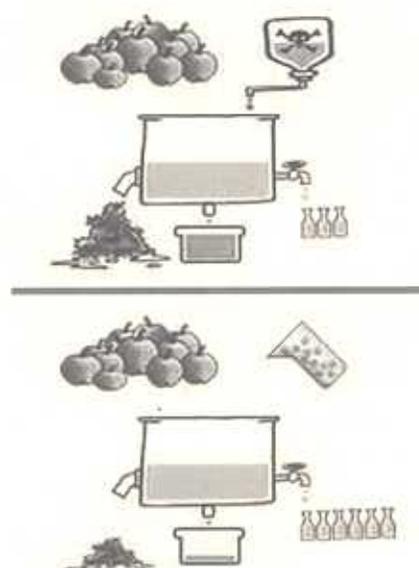


Figura 6. Las enzimas mejoran el proceso de filtración en la elaboración del vino y jugos.

turbios, y su sabor y color dependen de la etapa de prensado de las frutas. La estabilidad de la turbidez se controla con una cuidadosa manipulación de la pectina en el jugo (Sreenath y Santhanam, 1992).

Dentro de la industria farmacéutica y de diagnóstico, las enzimas tienen un destacado papel, ya que cubren un sin fin de aplicaciones, las cuales incluyen a las enzimas directamente como productos farmacéuticos, utilizados en el tratamiento de los desórdenes genéticos causados por la deficiencia específica de cierta enzima en la extracción de compuestos medicinales importantes como la heparina, la manufactura de fármacos químicos donde las enzimas se aplican para la interconversión de intermediarios químicos o para la remoción de componentes quirales, y en la biocatálisis combinacional.

La investigación y desarrollo, especialmente en el campo de la biología molecular, se ha desarrollado rápidamente en los últimos años, ya que casi todos los procesos de manipulación de ácidos nucleicos se desarrollan con enzimas como las endonucleasas de restricción y las DNA polimerasas. Los procedimientos de diagnóstico se valen frecuentemente de enzimas como la luciferasa y la glucosa oxidasa (Montes-Horecasitas y Magaña-Plaza, 2002).

La industria de la pulpa y el papel

La materia prima para todo tipo de papel es la madera. El proceso de pulpeo involucra la separación de las fibras de celulosa de la lignina y otros componentes y puede desarrollarse por procesos químicos y mecánicos. El pulpeo mecánico da un alto rendimiento de la pulpa pero es de pobre calidad, ya que los componentes de la lignina no se solubilizan lo suficiente. Dichas pulpas mecánicas se utilizan principalmente en la fabricación de periódicos. El principal método de pulpeo mecánico es el proceso del papel kraft, en el cual la madera se trata con químicos hasta disolver por completo a la lignina. La pulpa de kraft resultante es de un color ligeramente oscuro, debido a la presencia de lignina disuelta y debe someterse a un blanqueo sustancial antes de ser utilizable para la manufactura del papel.

Los compuestos clorados son los principales agentes blanqueadores, y los fabricantes de papel están bajo presión continua para reducir las cantidades de éstos, por resultar contaminantes y mutágenos potenciales. El tratamiento enzimático de las pulpas de papel kraft es capaz de remover los enlaces de hemicelulosa de la superficie de las fibras, reduciendo así los requerimientos de compuestos clorados para el blanqueo. El desteñido enzimático del papel de desecho se utiliza con mayor frecuencia; se piensa que la adición de la hemicelulasa remueve las proyecciones de la superficie del papel, las cuales son las responsables del atrapamiento de la tinta, haciendo así el desteñido más sencillo. Otras aplicaciones de las enzimas en la manufactura de la pulpa y el papel incluyen el control de la pelusa, la modificación del almidón en los papeles cubiertos y la modificación de la fibra de celulosa para producir papeles con tejido y textura más suave (Viikari, *et al.*, 1994).

El aprovechamiento del almidón

Una considerable cantidad de los edulcorantes usados en todo el mundo se derivan del almidón, por lo que su tratamiento enzimático se ha vuelto más popular que la hidrólisis ácida. Dicho proceso resulta en una gran variedad de jarabes azucarados usados en las industrias de alimentos y bebidas; se identifican tres fases en la modificación del almidón: inicialmente, las amilasas liberan a la maltodextrina por el proceso de licuefacción, obteniéndose así dextrinas y oligosacáridos, que son hidrolizados a su vez por enzimas



Figura 7. Las enzimas tienen una gran aplicación en la elaboración de jarabes de alta fructosa.

como las pululanasa y las glucoamilasas, durante el proceso conocido como sacarificación.

La sacarificación completa convierte todas las dextrinas limitantes en glucosa, maltosa e isomaltosa. Los jarabes resultantes son moderadamente dulces y requieren una modificación posterior, el tratamiento de éstos convierte una larga porción de glucosa en fructosa, que es más dulce que la primera (Figura 7). Este proceso de isomerización se desarrolla usualmente con la glucoisomerasa inmovilizada, y resulta en jarabes con aproximadamente el 50% de fructosa y 50% de glucosa. Tales productos se conocen como jarabes de alta fructosa y en la actualidad están reemplazando a los azúcares en la manufactura de alimentos y bebidas (Anthonsen, T., 2001).

Comentarios finales

La gran variedad de aplicaciones que tienen las enzimas a nivel industrial, hace necesario que se desarrollen nuevos procesos para producirlas y que se estudien a fondo los métodos hasta hoy desarrollados. Si bien el presente artículo no abarcó en su totalidad los usos de las enzimas en la industria, se intenta dar un panorama muy general de la importancia de las mismas.

En el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, nuestro grupo de investigación ha comenzado a estudiar la producción de xilanasas y celulasas de dos hongos filamentosos: *Aspergillus niger* y *Phanerochaete chrysosporium*. Hasta el momento se conocen los mejores inductores de la actividad en estos hongos, las cinéticas de producción de las enzimas con esos inductores (Martínez-Trujillo, *et al.*, 2002), y se ha comenzado a trabajar con la metodología para optimizar la producción de dichas enzimas utilizando técnicas estadísticas. ☺

Bibliografía

- Anthonsen, T., 2001, "Synthesis of chemicals using enzymes", en: **Basic Biotechnology**, Ratledge y Kristiansen editors, 2a. Edición, Cambridge University Press.
- Bajpai, P., 1997, **Microbial Xylanolytic enzyme system; properties and applications**, Adv. In. Appl. Microbiol, 43, 141-194.
- Cavaco-Paulo, A. y Almeida, L., 1996, **Cellulase activities and finishing effects**, *Textile Chemist and Colorist*, Vol. 28, No. 6, 28-32.
- Martínez-Trujillo, M.A.; Castañeda Gutiérrez, G.E. y Peralta-Pérez, M.R. "Producción de xilanasas y celulasas a partir de sustratos lignocelulósicos utilizando *Phanerochaete chrysosporium* A594", en **Memorias del III Encuentro Internacional de Biotecnología UPIBI 2002**, realizado en la ciudad de Querétaro, del 6 al 9 de noviembre del 2002.
- Montes-Horecasitas, C. y Magaña-Plaza, I., 2002, "Enzimas con aplicación industrial", en **Avance y Perspectiva**, Vol. 21, 279-282.
- Longo, M. A. y Combes, D., 1999, "Thermostability of modifies enzymes: a details study", **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, 74: 25-32.
- Oxenbol, K., 1994, "Aspergillus enzymes and industrial uses", en **The Genus Aspergillus**, Edit. por Keith A. Powel, et al., Plenum Press, New York.
- Ponce, N. T. y Pérez A. O., 2002, "Celulasas y Xilanasas en la industria", en **Avance y Perspectiva**, Vol. 21, 273-277.
- Potter, N. N., **La ciencia de los alimentos**, Avi publishing company, Inc. 1978.
- Prescott, L. M.; Harley, J. P. & Klein, D. A., **Microbiology**, Mc Graw Hill, fifth ed. 2002.
- Priest, F. G. y Campbell, I., 1995, **Brewing microbiology**, 2ª ed., New York: Chapman & Hill.
- Ray, B., 1996, **Fundamental of food microbiology**, CRC Press, Inc.
- Sreenath, H. K.; Shah, A. B.; Yang, V. W.; Gharia, M. M. y Jeffries, T. W. 1996, "Enzymatic Polishing of jute/cotton blended fabrics", **Journal of Fermentation and Bioengineering**, Vol. 81, No. 1, 18-20.
- Sreenath, H. K. y Santhanam, S. S., 1992, "The use of commercial enzymes in white grape juice clarification", **Journal of Fermentation and Bioengineering**, 73:3, 241-243.
- Viikari, L., Kantelinen, A., Sundquist, J. y Linko, M., 1994, "Xylanases in bleaching: from an idea to the industry", **FEMS Microbiology Reviews**, 13: 335-350.
- Zamost, B. L.; Nielsen, H. K. y Starnes, R. L., 1991, **Thermostable enzymes for industrial applications**, J. Ind. Microbiol, 8, 71-81.

PROMOTORES DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA



Dr. José Sarukhán Kermez
Miembro extranjero de la Royal Society del
Reino Unido 2003

- Nació en la ciudad de México en 1940.
- Maestro en Ciencias en la Gran Bretaña.
- Doctor por la Universidad de Gales.
- Reconocido por sus aplicaciones pioneras de métodos demográficos a poblaciones de plantas, especialmente a la de árboles tropicales.
- Impulsor del desarrollo científico y la formación de recursos humanos en México.
- Asesor de organismos nacionales e internacionales, reconocido por diversas sociedades botánicas de México y Estados Unidos.
- Distinguido con Honoris Causa, tanto en México como en el extranjero.
- Como presidente de la Academia de la Investigación Científica, impulsó la creación del Sistema Nacional de Investigadores.
- Miembro de El Colegio Nacional.
- En la UNAM, además de haber sido rector durante dos periodos, fue iniciador de Fundación UNAM para el apoyo institucional, coordinador de la Investigación Científica y director del Instituto de Ecología.
- Desarrolló un posgrado en Restauración Ecológica.
- Actualmente impulsa el desarrollo científico desde la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

Biorremediación como alternativa para la restauración de suelos contaminados con hidrocarburos

Dra. Ma. del Rosario Peralta Pérez*



El suelo y su importancia

El suelo se refiere a la superficie "suelta" de la Tierra, distinguiéndolo de la roca sólida. Es un sistema complejo formado por partículas sólidas orgánicas e inorgánicas, aire, agua y microorganismos. Estos elementos denominados fases, interaccionan entre sí, llevando a cabo una gran cantidad de reacciones químicas, las cuales son catalizadas por los microorganismos. En términos agrícolas, el concepto de suelo es más práctico y se refiere al medio donde crecen los cultivos.

La mayor importancia del suelo radica en su papel como superficie de contacto, donde se intercala lo vivo y lo muerto. Es aquí donde las plantas, usando la energía solar, combinan el dióxido de carbono de la atmósfera con los nutrientes y agua del suelo para formar tejidos vivos; es así que el 99% de nuestro alimento se produce en la tierra. Dado que las plantas que crecen en la tierra dependen del suelo a fin de obtener agua y nutrientes, los suelos deben ser suficientemente porosos a fin de propiciar un ambiente adecuado para el desarrollo de las raíces y además deben contener cantidades suficientes de los elementos indispensables para su desarrollo, como son: carbono, hidrógeno y oxígeno, que conjuntamente constituyen el 90%, y en menor medida: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre.

Se observa que la utilización del suelo por las plantas es compleja, si a ello se agrega que los requerimientos de las plantas son diversos, puede verse la imposibilidad de que un suelo determinado sea productivo para el crecimiento de todas las plantas; entendiendo por productividad del suelo a la capacidad del

*Profesora e investigadora en el Laboratorio de Catálisis Enzimática del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. alfare@prodigy.net.mx

mismo para producir una planta determinada bajo un sistema específico de manejo. Los especialistas en suelos precisan la clasificación de la productividad midiendo los rendimientos de cierto cultivo por un tiempo determinado; la productividad es un concepto económico y no una propiedad de éste. Por otra parte, la fertilidad del suelo se define como la cualidad que le permite a un suelo proporcionar los compuestos y cantidades adecuados para el crecimiento de plantas específicas, cuando las demás condiciones son favorables. Para que un suelo sea productivo, debe ser fértil.

Contaminación de los suelos

Algunas actividades industriales y agrícolas desarrolladas por los seres humanos, han traído como consecuencia graves problemas de contaminación a los suelos. El uso de insecticidas, maquinaria agrícola o las actividades industriales en general, provocan la contaminación con mezclas complejas de sustancias que tienden a acumularse en la matriz del suelo, provocando la pérdida en la fertilidad del mismo y la acumulación de sustancias tóxicas para los animales o seres humanos.



Generalmente la contaminación de los suelos tiene lugar por mezclas de moléculas especiales sintetizadas por el hombre, tal es el caso de algunos insecticidas, lo cual dificulta su degradación; de hecho algunos expertos han estimado que actualmente más de 10 mil moléculas distintas son usadas comercialmente para fines diversos (Alexander, 1981).

El problema de la contaminación en suelos no está bien cuantificado en nuestro país, pero las cifras en los Estados Unidos revelan que anualmente se producen alrede-

dor de 100 millones de toneladas de contaminantes que llegan a los suelos y el costo de limpieza total se ha estimado en 1.7 billones de dólares. Como un ejemplo de esto, Estados Unidos estimó en los años 80 que la cantidad de pozos petroleros abandonados era de 2.3 millones, y se desconoce aún la cantidad de fugas que existen en los ductos, todo ello trae como consecuencia graves problemas de contaminación inicialmente en suelos y, en casos más graves, los contaminantes son arrastrados hacia depósitos de agua dulce e incluso pueden llegar al mar.

Alternativas para la recuperación de suelos contaminados

Como puede observarse, los problemas de contaminación en suelos son severos, por lo cual se han ideado diferentes tratamientos para contrarrestar el problema. Una alternativa frecuente es la incineración, aunque en realidad no se está solucionando el problema, sólo se torna en contaminantes del aire.

Una alternativa novedosa es la *biorremediación*, que se define como el uso de microorganismos o par-



tes de éstos para eliminar sustancias tóxicas en un sitio determinado. Los organismos más utilizados han sido bacterias aeróbicas y anaerobias, la completa biorremediación de los suelos implica la conversión de los contaminantes en CO₂ y H₂O (Cacciatore y McNeil, 1995).

La biorremediación es una alternativa interesante, debido a que en la naturaleza la completa degradación de las moléculas, a la cual se le denomina "mineralización", siempre ocurre principalmente por la actividad microbiana; pocos mecanismos abióticos en la naturaleza convierten totalmente los compuestos orgánicos complejos (Schwarzenbach, 1993). Durante un proceso de biorremediación se favorece el desarrollo de los microorganismos capaces de degradar el contaminante de interés, esto trae como consecuencia el beneficio de ser un proceso sumamente económico y fácil de aplicar.

La biorremediación puede ser llevada a cabo *in-situ*, es decir, en el lugar, o *ex-situ*, para lo cual el material contaminado debe ser retirado de donde esté. En general, es preferible realizar la biorremediación *in-situ*, de este modo se evita la excavación de la zona y la transportación del material, resultando entonces un proceso más barato. Ambos procesos han sido estudiados y caracterizados extensamente a través de pruebas de laboratorio y de campo, resultando ser, en ambos casos, procesos exitosos, siempre y cuando se realice un estudio previo para conocer las condiciones de los suelos (estudios de tratabilidad) ya que la temperatura, pH, contenido de oxígeno y biodisponibilidad del contaminante, influyen considerablemente en el desarrollo de los microorganismos que llevan a cabo la biorremediación de los suelos.

La amplia gama de microorganismos empleados en los procesos de biorremediación incluyen levaduras, algas,

bacterias y hongos, aunque los mejor caracterizados son las bacterias.

Algunas aportaciones del TESE para la recuperación de suelos

De los microorganismos empleados para la biorremediación del suelo, los hongos son aquellos que pueden adaptarse mejor a condiciones de humedad menores de 60%; por ello resultan ser candidatos ideales, además de que son capaces de crecer y colonizar eficazmente la compleja matriz del suelo.

Actualmente, el Laboratorio de Catálisis Enzimática del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, cuenta con tres cepas de hongos filamentosos capaces de degradar compuestos contaminantes: *Cunninghamella equinulata*, *Phanerochaete chrysosporium* y *Aspergillus niger*.

Se han realizado pruebas que demuestran que las tres cepas son capaces de biodegradar, a niveles razonables, moléculas modelo como el fenantreno, tanto en cultivos líquidos como en sistemas modelo de suelos contaminados. Cabe destacar que estas cepas son habitantes típicos de los suelos, por lo que es posible su aplicación directa a suelos contaminados; además existen trabajos que apoyan esta hipótesis (Aust, 1990); la aplicación directa a suelos no debe dificultarse si las condiciones del resto de los nutrientes (nitrógeno, fósforo y azufre) son adecuadas.

A futuro se pretende realizar pruebas de biodegradación con otro tipo de moléculas y mezclas de ellas, además de emplear cepas bacterianas en combinación con los hongos, a fin de mejorar aún más los niveles de degradación. ☺

Bibliografía

- Alexander, M. (1981), "Biodegradation of chemicals of environmental concern", *Science*, 11: 132-138.
- Aust, S. D. (1990), "Degradation of environmental pollutants by *Phanerochaete chrysosporium*", *Microb. Ecol.*, 20: 197-209.
- Cacciatore, D. A. y McNeil, M.A. (1995), "Principles of soil bioremediation", *BioCycle*, 61-63.
- Cepeda-Dovala, J. M. (1991), *Química de suelos*, México, Ed. Trillas, 2ª edición.
- Foth, H. D. (1985), *Fundamentos de la ciencia del suelo*, Ed. C.E.C.S.A.
- Schwarzenbach, R. P.; Gschwend, P. M. y Imboden, D.M. (1993), *Environmental organic chemistry*, Ed. John Wiley&Sons.

Residuos Sólidos

Biól. Ma. del Carmen Luna Vargas*

Desde que la vida surgió en el planeta Tierra, se desarrollan procesos biológicos tendientes a aprovechar toda la materia que compone a los seres vivos. Se puede decir que los desechos orgánicos son de vida efímera, puesto que son sometidos a fenómenos de metabolismo o degradación física, química o biológica que los desagregan y transforman en insumos reutilizados nuevamente por otros organismos iguales o distintos a los que los generaron. Sin embargo, el balance o equilibrio alcanzado en los ecosistemas a través de los procesos señalados, también es susceptible de romperse.

En la perspectiva meramente científica, los siguientes factores pueden desencadenar que los residuos o desechos liberados en el ambiente de manera natural, afecten a éste o a los seres que en él se desenvuelven.

La composición química de dichos residuos se determina por:

- La cantidad generada y liberada por cada uno de ellos;
- La disponibilidad de sus componentes tóxicos;
- La persistencia y capacidad de bioacumulación;
- Su capacidad de fermentación y generación consecuente de gases y líquidos o suspensiones (lixiviados) capaces de infiltrarse en los suelos, y de alterar la neutralidad, acidez o alcalinidad de un medio ambiental, dependiendo de su potencial hidrógeno o pH; así como el poder interferir con la oxigenación y paso de rayos solares en los cuerpos de agua superficiales, como los residuos aceitosos;
- Su capacidad de agravar el fenómeno conocido como eutrofización o crecimiento desmedido de algunas plantas acuáticas y otros organismos por exceso de alimento, y
- La emisión de gases, que como el metano, ocasionan el efecto de invernadero.

A lo antes citado, puede agregarse la vulnerabilidad del entorno, tanto a nivel local como regional, pues existen

zonas, poblaciones y ecosistemas más frágiles que otros, con mayor susceptibilidad al daño ocasionado por la disposición inadecuada de los residuos.

Así, por ejemplo, en varias regiones del mundo las glaciaciones o derretimiento de los cascos polares arrastraron diversos componentes de los suelos que actúan como amortiguadores protectores, provocando su vulnerabilidad a los efectos adversos que ocasiona el vertimiento de materiales o residuos. Este tipo de situaciones que dañan los ecosistemas se han regulado mediante disposiciones legales.

En otros lugares del planeta, donde se cuenta con grandes ríos que desembocan al mar y que tienen gran capacidad de carga de dilución, el vertimiento de residuos salinos no crea necesariamente problemas, por lo que no se regulan de manera rigurosa. Sin embargo, en otros países como México las cuencas hidrológicas se han deteriorado por dichas prácticas y, con ello, los suelos agrícolas irrigados con tales aguas han perdido su productividad.

*Jefa del Proyecto ecológico del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.

Estos dos ejemplos, muestran que si no se conoce el contexto en que se han desarrollado las legislaciones en materia de residuos, así como en otras sustancias, se corre el riesgo de copiar alguna que resulte excesivamente restrictiva e injustificadamente costosa de aplicar, o bien, adoptar otras que no ofrecen suficiente protección en nuestras circunstancias.

Lo anterior ha llevado a algunos autores a considerar que si bien se pueden y suelen copiar los modelos económicos de desarrollo que traen consigo una desmesurada generación de residuos, no se puede copiar la "geografía" de los mismos, pues lo que resulta bueno para algunos lugares del mundo, no tiene sentido para otros que viven en una región completamente distinta.

A los problemas relacionados con cuestiones geográficas se asocian otros que derivan de la composición y cantidad de los materiales o residuos que se vierten en el ambiente y de la distinta vulnerabilidad de las especies.



Existen, por ejemplo, residuos que contienen manganeso, cobre, cobalto o zinc, que son micro nutrientes de las plantas, pero que dependiendo de la cantidad vertida al ambiente y de su disponibilidad, pueden llegar a ocasionar efectos adversos a la salud de animales y seres humanos. Otros más, como los desechos de ingenios, fincas cafetaleras y granjas de cría de animales, resultan benéficos en poca cantidad por su alta carga orgánica; pero cuando se desechan en grandes volúmenes dañan seriamente los cuerpos de agua y los suelos.

Ambos casos, el relacionado con la geografía y el que combina aspectos de cantidad y composición de los residuos y vulnerabilidad de las especies, hacen recordar que México es un mosaico de regiones climáticas, que cuenta con una de las biodiversidades más grandes del mundo, lo cual debe tomarse en consideración para regular el manejo de los residuos que los afectan de diferente manera.

En las sociedades preindustriales, tanto por el volumen relativamente limitado de generación, como por la composición predominantemente orgánica de muchos de los residuos, su manejo estuvo limitado y aún lo está en muchas de las áreas rurales y urbanas de México, y que en el mejor de los casos, fueron llevados a un sitio distante de las comunidades para ser enterrados, dejando a la naturaleza el trabajo de degradarlos y volver a integrarlos a los ciclos de la vida. Sin embargo, no todos los residuos han terminado enterrados, sino que han sido vertidos deliberadamente en barrancas, lotes baldíos y cuerpos de agua superficiales.

Con la industrialización, incluso de las actividades agropecuarias, forestales y pesqueras, se aceleraron los procesos de producción, lo que ha propiciado dos fenómenos; por un lado, tales procesos extractivo-productivos generaron mayo-

res volúmenes de residuos y, por otro, se incitó a un consumo desmedido de los bienes producidos, junto con sus envases y embalajes, con lo cual se acrecentó la cantidad de desechos generados por los consumidores.

No menos importante fue la introducción de procesos de síntesis que llevaron a imitar a la naturaleza, generando en el laboratorio sustancias que antes se extraían de plantas y animales, para, recientemente, recurrir a las computadoras en el diseño de nuevas moléculas con propiedades deseables desde la perspectiva económica, comercial y social.

Esto último ha introducido al ambiente moléculas nuevas que los organismos vivos no saben metabolizar y que por lo tanto no son biodegradables o son de lenta degradación, por lo que tienden a acumularse donde se depositan.

La evolución de las sociedades dio lugar a una transformación de las modalidades de manejo de los residuos, debido a la demanda de nuevas tecnologías para acelerar el proceso de reducción del creciente volumen, y de neutralización o transformación de las moléculas o materiales de lenta degradación que podrían constituir algún tipo de amenaza para la salud o el ambiente. Para ello, fue necesario separar los residuos de acuerdo al lugar en donde se generaron: ámbito municipal o industrial, y por tipo: residuos orgánicos e inorgánicos.

El gran problema es que la demanda de servicios de manejo de los distintos tipos de residuos supera la capacidad de los gobiernos para brindarlos, y el presupuesto que se requiere para proporcionarlos alcanza cada día niveles incoercibles. Todo ello ha ocasionado no sólo la introducción de disposiciones legales para regular y controlarlos, sino una continua evolución de éstas y la introducción de nuevos instrumentos no regulatorios para hacer frente a estas situaciones.

Los residuos son un universo variado que difiere por las propiedades inherentes o intrínsecas de los materiales que los constituyen, forma de manejo y sobre todo, la disposición final. Una mala organización puede ocasionar problemas severos al ambiente o a la salud de la población.

Tipos de residuos

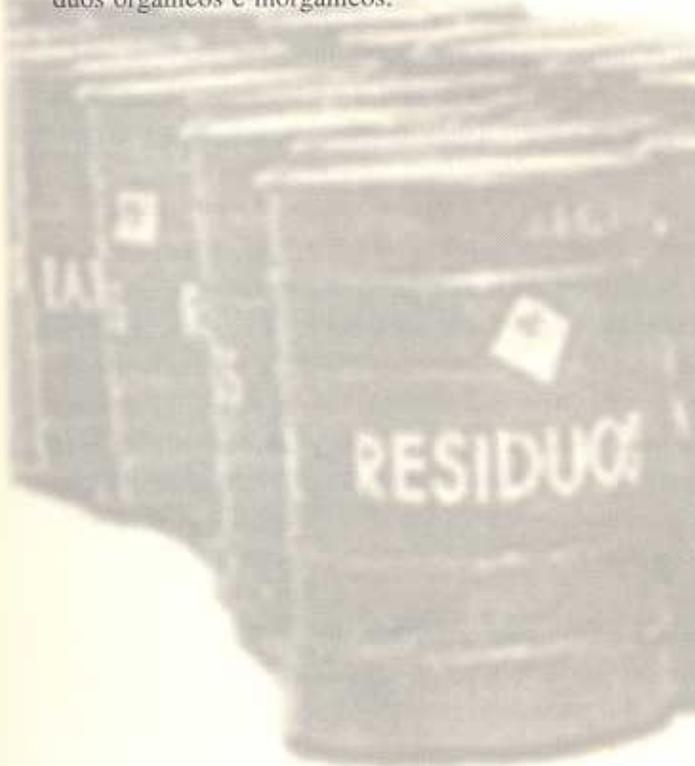
Inertes. No son capaces de reaccionar con otros materiales o residuos, por lo que a primera vista no deberían presentar problemas en cuanto a su manejo, pero cuando son generados en grandes volúmenes como es el caso de los residuos de las demoliciones, constituyen un verdadero desafío para quienes brindan los servicios de limpieza. Además, depositados en lugares inadecuados pueden ocasionar severos deterioros.

Fermentables. Como sucede con los residuos de alimentos, de jardinería, y de actividades agropecuarias, forestales o pesqueras, que por un lado tienen la ventaja de ser biodegradables y constituyen fuentes de nutrientes, o son capaces de generar gases que pueden permitir la generación de energía, pero en contraparte, de no ser controlados dichos gases pueden dar lugar a la combustión de la basura, provocando incendios; o bien, dichos residuos pueden generar lixiviados, con el consecuente riesgo de contaminación de cuerpos de agua.

Combustibles. Pueden incendiarse al entrar en contacto con una llama o fuente de calor.

Salinos. Que por esta propiedad pueden aprovecharse, pero que dispuestos en lugares inadecuados y en grandes cantidades, pueden ocasionar un grave deterioro de los medios ambientales, particularmente en suelos y también en el agua.

Corrosivos. Su manejo debe realizarse con precaución y con medidas de protección adecuadas para no sufrir le-



siones y dañar materiales; su envasado debe realizarse en contenedores que no sean atacados y deteriorados por los residuos incompatibles. Su manejo, envase, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final requieren tomar en cuenta esta propiedad.

Explosivos. Demandan condiciones apropiadas de manejo a todo lo largo de su ciclo de vida, para prevenir accidentes, y requieren de programas para responder en caso de que tales accidentes ocurran, a fin de minimizar las consecuencias de los mismos.

Tóxicos. Difieren por el tipo de afectación que puede ocasionar a la salud humana y a los organismos acuáticos y terrestres que se expongan a ellos, misma que varía en función de la forma en que tiene lugar la exposición; por ejemplo, inhalación, ingestión o absorción en las superficies de recubrimiento, y la cantidad y tiempo de exposición.

Inflamables. Tienen la propiedad de incendiarse en ciertas circunstancias, por lo que las medidas de seguridad deben evitar que se reúnan las condiciones en las que esto puede suceder, así como incluir los elementos necesarios para combatir posibles incendios durante su manejo.

Infecciosos. En su composición entran agentes u organismos patógenos o gérmenes capaces de ocasionar enfermedades contagiosas si encuentran una vía de ingreso al cuerpo de quienes los manipulen.

En cada uno de los ejemplos mencionados, se ha distinguido entre la característica de los residuos y el riesgo que, por dicha propiedad y su forma de manejo, lleguen a ocasionar problemas; lo cual indica que quien genere y administre cada tipo de residuos debe conocer estos aspectos para que se determine el manejo más conveniente, a fin de prevenir o reducir los posibles riesgos a la salud o al ambiente. Dicho de otra manera, todo residuo puede llegar a ser riesgoso dependiendo de su manejo, por lo que todos deben ser tratados de manera segura y en forma ambientalmente adecuada, principal propósito de su regulación y control.

¿Qué señala la ley?

En México existen disposiciones legales con referencia a la contaminación ambiental. En este aspecto se aplica la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al

Ambiente (LGEEPA), de la cual se derivan reglamentos y normas.

La LGEEPA señala en su artículo 110, que las emisiones de contaminantes a la atmósfera deben ser reducidas y controladas y en las Norma Oficial Mexicana NOM-031-ECOL/1993, se establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria.

Asimismo, genera desechos que están considerados como peligrosos, también se debe contemplar la norma NOM-052-ECOL/1993, la cual presenta un listado de los residuos peligrosos, establece las características de éstos y expone cuál es su concentración máxima permitida en los lixiviados, con ello se pone de manifiesto que el manejo de un residuo peligroso debe sujetarse a las normas establecidas; por tanto, los desechos que han sido clasificados como peligrosos en esta norma, deberán ser manejados de acuerdo a lo previsto en el Reglamento de la LGEEPA en materia de residuos peligrosos.

Puesto que el riesgo de las sustancias tóxicas depende de la magnitud de la exposición, y ésta es función de la cantidad de la sustancia que entra en contacto o ingresa a un organismo vivo, así como del tiempo y la frecuencia con la que éste se exponga a ella, las sustancias persistentes y bioacumulables tienen mayor posibilidad de provocar exposiciones que reúnan tales condiciones.

Por lo antes expuesto, no basta sólo con reducir la cantidad de los residuos que contienen estas sustancias para disminuir significativamente su riesgo, razón por la cual los programas más modernos de minimización incluyen iniciativas para tratar de disminuir adicionalmente la toxicidad de los residuos junto con su cantidad.

Es en este contexto que se están desarrollando iniciativas centradas en identificar los riesgos de los residuos que contienen sustancias tóxicas, persistentes y bioacumulables, así como en establecer criterios para priorizarlos y definir medidas para minimizarlos. 

Entrevista con el Dr. Adolfo Guzmán Arenas

Por Claudia I. Campos G.

"Los alumnos deben ser emprendedores, pensar en su propio negocio".

"El éxito está en la creatividad que tengas para proponer soluciones, resolver problemas y facilitar tareas".



Investigador, docente, diseñador de tecnología, asesor científico, organizador institucional y empresarial, catalogado como pionero de la inteligencia artificial, el doctor Adolfo Guzmán Arenas es uno de los pocos mexicanos que ha logrado unánime reconocimiento mundial, como lo demuestra el más reciente premio otorgado por la *Association for Computing Machinery (ACM)*, que lo designa como *Fellows del ACM* (miembro distinguido) por sus contribuciones a la comprensión de las imágenes y la similitud de formas (*shape similarity*), y por el avance del estado del arte y la educación en México, de la que ha tomado parte activa.

En conversación con el Dr. Guzmán, se abordaron diversos temas que permiten comprender su quehacer profesional y su contribución para solucionar los problemas que afectan la vida laboral y empresarial de nuestro país.

Desde el panorama general de la computación en México, hasta la minuciosa observación y solución de problemas complejos, sentado frente a su computadora, en una pequeña oficina del edificio de Posgrado en Ingeniería, en Ciudad Universitaria, comparte sus experiencias y puntos de vista sobre el desarrollo de la computación en nuestro país:

"En México estamos al día en computación, es decir, en el mercado encontramos máquinas modernas y *software* a buen precio, todo está accesible; eso es una buena noticia, la mala noticia es que casi nada se hace en México, se importa, por lo que desde esta perspectiva, el desarrollo de *software* es muy limitado, y aunque la computación es la carrera de las ingenierías que más demanda tiene —se habla de más de cien mil alumnos estudiando a nivel licenciatura—, el desarrollo del *software* es poco".

Preocupado por la escasa participación de la industria mexicana en la producción de *software*, determina como las principales causas de dicho rezago, las siguientes situaciones:

"Este atraso se debe en primera instancia a la educación deficiente, en algunas escuelas no enseñan bien, son sitios en donde los profesores están contratados por hora y si existe la oportunidad de tener, en otro lado, una chambita más segura, pues se van. Obviamente, el trabajo se le ofrece a los mejores, pero se quedan los malos y los aprendices. También ocurre que, en ciertas instituciones, la burocracia es muy pesada y para realizar un trabajo anteponen un sin fin de explicaciones que terminan por bloquear las iniciati-

vas. Sin embargo, hay que aclarar que no todas las escuelas son malas y tampoco lo son por la misma causa. Otra circunstancia es que el alumno no está educado para ser emprendedor, no piensa en su propio negocio. La idea típica del egresado es buscarse un empleo y ahí quedarse, muy pocos tienen como proyecto el buscar actividades independientes.

“Finalmente, otro problema es el malinchismo, es decir, pensar que todo lo producido en el extranjero está bien hecho y lo elaborado en México es malo, es un factor determinante para decidir qué se compra. Asimismo, influye el hecho de que sean otros países quienes imponen las normas para la elaboración de algún producto, y no son tontos, pues ellos inventan las reglas para vender sus mercancías, pero esto no quiere decir que los demás productos sean malos, sino que no cumplen con sus parámetros”.

Convencido de la capacidad de los ingenieros para desarrollar la producción de *software* mexicano, afirma que no se necesitan muchos recursos materiales, salvo una buena computadora, para realizar un trabajo y que el secreto está en la creatividad para proponer soluciones, resolver problemas y facilitar tareas.

“Por ejemplo, si tu vas a un taller de hojalatería y preguntas cómo puedes ayudar para desempeñar ese tipo de trabajo mediante la elaboración de un *software*, la respuesta será: no sé. Tendrás que ir dos días a ver cómo trabajan, entonces observarás que llega un carro chocado y requieren cambiar ciertas piezas, mandan a un ayudante a comprarlas, quien se tarda mínimo dos horas para ver si cuentan con ellas. Con la ayuda de un *software*, en lugar de mandar a comprar la pieza, se revisa por medio de un programa la existencia de la refacción. Realmente no se necesita gran ciencia ni muchos recursos para hacerlo.

“Otro ejemplo es la realización de calzado, con un programa de computación es posible hacer un diseño para desperdiciar menos material a la hora de cortar las piezas del zapato. El asunto es que al productor de calzado no se le ocurre y al ingeniero en Computación, tampoco. Es cuestión de buscarle, la computación tiene muchas aplicaciones en la jurisprudencia, el turismo, la educación, la agricultura, la petroquímica y muchas otras”.

Considerada como un campo de acción amplio y de reciente creación, la Computación es una disciplina que requiere de un gran esfuerzo por parte de quien la estudia e investiga; por ello, la actitud del ingeniero que desee destacar en la carrera deberá ser de constante capacitación, como advierte:

“Muchos jóvenes piensan que al salir de la escuela ya no tienen por qué estudiar; si eres hijo del dueño de alguna fábrica, seguramente no habrá ningún problema si no sabes hacer algo; pero si no, deberás demostrar la capacidad



El Dr. Adolfo Guzmán Arenas es Ingeniero en Comunicaciones de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional. Obtuvo su Maestría y Doctorado en Ciencias de la Computación en el Instituto Tecnológico de Massachusetts, Estados Unidos.

para realizar cierta actividad y ello requiere de preparación y mucha práctica.

“Una desventaja del estado actual de la computación es que cambia mucho. Los avances suceden rápidamente y por lo menos cada cinco años, la mitad de lo que sabemos se vuelve inútil, aunque no lo olvidemos. Esto afirma que el ingeniero en Computación, debe continuar con su aprendizaje y actualización, además de poseer una fuerte base teórica y matemática”.

Profesor en destacadas universidades de todo el mundo, empresario e investigador de importantes compañías, dirige algunas recomendaciones a los estudiantes, docentes e instituciones educativas para que puedan lograr un mejor desarrollo profesional.

“Los estudiantes no deben ir solamente a la escuela, es decir, la Computación es una profesión que requiere de mucha práctica, y los alumnos deben egresar de la institución con la habilidad de desarrollar aplicaciones y programas, ya que es la principal actividad de la carrera. Por otro lado, considero necesario que las instituciones de educación actualicen constantemente los programas de estudio y mejoren las condiciones tanto de maestros como de alumnos. Se debe dotar a las escuelas de los recursos para que todos aprendan, porque a veces no hay las suficientes computadoras o acceso a la red. Esta situación también es responsabilidad del alumno, quien debe proveerse de sus propios recursos, si desea estudiar la computación de manera seria, debe tener los instrumentos de trabajo necesarios”.

Desde la perspectiva de Guzmán Arenas, la demanda de ingenieros en el campo laboral es amplia, sin embargo, considera que la mayor deficiencia se atribuye a la falta de una actitud emprendedora y creativa de los profesionistas para involucrarse en la solución de problemas que afectan a las empresas y/o instituciones del país. En este sentido, puntualiza que aunque en México la Ingeniería en Computación es la más popular, es correcto procurar “hacer ciencia de la Computación”, pero es más conveniente desarrollar el “Arte de la Computación”, ya que es en la práctica donde se aprende.

Asimismo, observa la necesidad de aplicar los conocimientos en proyectos útiles, hacer trabajos que sirvan

y puedan aplicarse para la solución de problemas, pues asegura:

“El grave problema de los egresados es que dedican su tiempo a crear cosas sin ninguna repercusión práctica. Creo que los estudiantes deben enfocarse al desarrollo de paquetes para autoconsumo y exportación. Pensar en innovaciones, mejoras, lo cual es posible porque el mercado en México no está saturado en este campo”.

El inventor de la primera computadora en paralelo en nuestro país, considera que para comenzar a figurar en los países que realizan avances en la computación, es necesario entender y dominar la tecnología; y agrega que, el ser reactivos, es decir, esperar a que otros inventen algo para aprenderlo, no conduce al dominio ni mucho menos al liderazgo.

Pionero de la Inteligencia Artificial y realizador de importantes contribuciones al desarrollo de la tecnología de punta en lenguajes de cómputo (*Conver* y *SSDL*), entre otras aportaciones, Adolfo Guzmán, habla entusiasmado sobre



la tecnología y su aplicación, recordando algunos conceptos útiles para el desarrollo y aplicación del *software*, como son los denominados “Agentes Computacionales”, que describe como el conjunto de programas que interactúan entre sí para lograr un fin determinado.

“Por ejemplo, si tuviera un negocio de cocina y necesitara hacer determinada cantidad de comida, prepararla no sería problema, pero si al paso del tiempo se requiere elaborar mayor cantidad, entonces mi estufa no sería suficiente para cocinarla, aunque comprara una más grande. En este caso necesito de otras y busco varias personas que me auxilien, con el fin de que si alguno no puede, haya otros que trabajen en la misma labor y esa ausencia no altere el resultado. Un agente computacional es una forma distinta de programar, aunque se debe aclarar que no todo se hace con agentes”.

Una aplicación específica de esta tecnología, es la gran Biblioteca Digital –actual proyecto del Dr. Guzmán– en donde varios programas trabajan en distintas bibliotecas del país para la consulta de libros electrónicos a los cuales se puede tener acceso en cualquier momento desde la comodidad de la casa o el trabajo.

“Una de las ventajas de este programa es que se actualiza el fichero desde el momento en que se registra un nuevo libro y éste puede consultarse inmediatamente en todos los lugares donde hay la intercomunicación. Es necesario aclarar que los programas tienen un tiempo de vida, y en este sistema, si uno de ellos se deshabilita no importa, porque la misma aplicación genera un respaldo en la computadora de las otras bibliotecas. La ventaja de este trabajo es global, porque no es igual tener acceso únicamente a los libros de una biblioteca que, cuando así lo decidas, se pueda consultar las publicaciones de muchas regiones del país y del mundo”.

Otra aplicación utilizada en el desarrollo de la Biblioteca Digital es el Lenguaje Natural, que se define como la capacidad de leer texto y la habilidad de la computadora para poder entenderlo, con ello se dota de razonamiento, inducción y generalización, a los programas para que puedan efectuar trabajos complejos.

“Por ejemplo, el buscador de cualquier máquina es capaz de localizar palabras, si le das la instrucción para buscar

Oaxaca, te encuentra en todo el contenido del archivo dicha palabra; pero no es capaz de comprender que Ixmiquilpan, por decir algo, también es Oaxaca. Con la utilización del Lenguaje Natural la computadora puede comprender el documento y saber de qué tema se trata, reconocer conceptos, no palabras; es decir, como es capaz de leer todos los libros, puedes indicarle que busque *flores*, y si en un texto encuentra la palabra *orquídea*, de inmediato lo va a tomar porque sabe que ésta es una flor”.

El doctor Guzmán explica que la Inteligencia Artificial desarrolla programas de comportamientos complejos, capaces de comprender situaciones y actuar con referencia a ellas. “Pueden aprender a multiplicar, a jugar, a no cometer los mismos errores, prevenir situaciones desastrosas, mejorar procesos y optimizar recursos, entre otros”. Añade que esta tecnología se relaciona con los Agentes Computacionales y el Lenguaje Natural, dado que las máquinas inteligentes deben estar dotadas de experiencias para que puedan decidir, proponer y resolver.

Finalmente, como muestra de su visión empresarial y de la creatividad para solucionar problemas complejos, el Dr. Adolfo Guzmán Arenas menciona brevemente uno de sus proyectos recientes, relacionado con la industria petrolera, el cual consiste en el diseño y la fabricación de una computadora capaz de medir, con tremenda exactitud, el flujo de petróleo extraído del suelo, así como de cada uno de los componentes con los que viene mezclado. Mencionó que ya existen varias máquinas como esta, el reto para él es realizar una de mejor calidad que supere lo establecido en el mercado. ☺

Consulte la página web del Dr. Adolfo Guzmán:
<http://alum.mit.edu/www/aguzman>

Este año, dentro del 2003 ACM Awards Banquet, el Dr. Guzmán fue reconocido como Fellow del ACM por sus contribuciones a la comprensión de las imágenes y la similitud de formas (*shape similarity*).

Sustentabilidad y Desarrollo Sustentable.

Origen, evolución y diferencias conceptuales

Dr. Víctor M. López López*

A manera de introducción

En las últimas décadas se ha extendido e intensificado el interés del público en general por la trascendencia y repercusión de los temas ecológico y ambiental y, más recientemente, por la relación que existe entre las actividades económicas que realiza la sociedad y los impactos al medio ambiente que éstas propician; así como el uso irracional de los recursos naturales, lo cual ha conducido al surgimiento de un nuevo paradigma llamado *sustentabilidad*.

La relevancia de ese interés se puede constatar observando que los términos sustentabilidad y desarrollo sustentable (que en ocasiones son utilizados erróneamente como sinónimos), son constantemente abordados por los medios de comunicación masiva, haciendo eco del discurso político y de las discusiones académicas. No hay un significado único de sustentabilidad, pues éste varía en función de las necesidades, características y prioridades de las diferentes naciones que pueblan la tierra; empero, existen coincidencias entre la mayoría de los autores relacionadas con la común preocupación por la capacidad finita de las fuentes de recursos naturales, la insuficiencia de la biosfera para asimilar los residuos que generan las actividades humanas y la necesaria equidad intra e intergeneracional (actual y futuras generaciones, respectivamente).

El concepto de sustentabilidad surgió cuando se comprendió que el desarrollo debe centrarse en los seres humanos

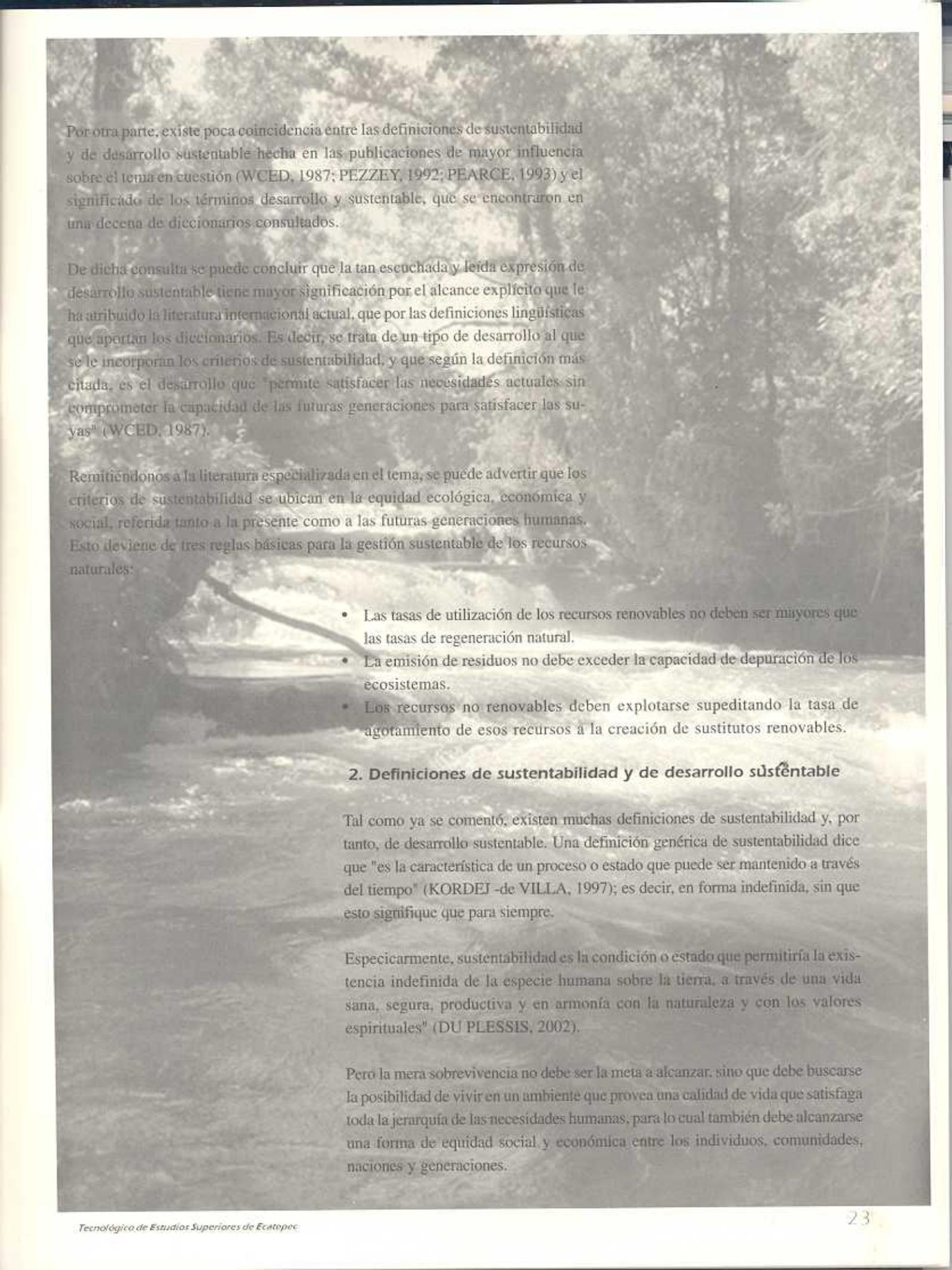
y no sólo en índices económicos, que se ha tomado prestada la tierra de nuestros hijos y de los hijos de nuestros hijos, y se les debe entregar en condiciones razonablemente utilizable. Esto ha conducido a una noción de sustentabilidad que apela a la voluntad de heredar suficientes recursos y orden natural, para asegurar a las futuras generaciones una calidad de vida, al menos, similar a la que tenemos hoy día.

En este artículo se realiza un análisis para aclarar la diferencia conceptual que existe entre los términos de sustentabilidad y de desarrollo sustentable, así como los orígenes y la evolución de dichos conceptos.

1. Precisiones y diferencias conceptuales entre sustentabilidad y desarrollo sustentable

Se argumenta que en el idioma español es más pertinente utilizar la palabra sustentable que sostenible porque aquella tiene mayor similitud con *sustainable*, que es su correspondiente en inglés, en cuyo idioma se empezó publicitar masivamente el término en cuestión; no obstante, ambas se mencionan a menudo indistintamente. En Latinoamérica se usa con mayor frecuencia el concepto sustentable; en tanto que en España, lo común es utilizar sostenible, palabra que también hace suya la prensa internacional. Para los fines del presente artículo la utilización de cualquiera de las dos palabras tendría el mismo resultado, aunque en este caso se adopta el sustantivo sustentabilidad y su adjetivo sustentable. Sin embargo, se enfatiza que ambos términos tienen el mismo significado y pueden usarse indistintamente.

*Director Académico del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.
vmlopez@tese.edu.mx / dvictor@hotmail.com



Por otra parte, existe poca coincidencia entre las definiciones de sustentabilidad y de desarrollo sustentable hecha en las publicaciones de mayor influencia sobre el tema en cuestión (WCED, 1987; PEZZEY, 1992; PEARCE, 1993) y el significado de los términos desarrollo y sustentable, que se encontraron en una decena de diccionarios consultados.

De dicha consulta se puede concluir que la tan escuchada y leída expresión de desarrollo sustentable tiene mayor significación por el alcance explícito que le ha atribuido la literatura internacional actual, que por las definiciones lingüísticas que aportan los diccionarios. Es decir, se trata de un tipo de desarrollo al que se le incorporan los criterios de sustentabilidad, y que según la definición más citada, es el desarrollo que "permite satisfacer las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas" (WCED, 1987).

Remitiéndonos a la literatura especializada en el tema, se puede advertir que los criterios de sustentabilidad se ubican en la equidad ecológica, económica y social, referida tanto a la presente como a las futuras generaciones humanas. Esto deviene de tres reglas básicas para la gestión sustentable de los recursos naturales:

- Las tasas de utilización de los recursos renovables no deben ser mayores que las tasas de regeneración natural.
- La emisión de residuos no debe exceder la capacidad de depuración de los ecosistemas.
- Los recursos no renovables deben explotarse supeditando la tasa de agotamiento de esos recursos a la creación de sustitutos renovables.

2. Definiciones de sustentabilidad y de desarrollo sustentable

Tal como ya se comentó, existen muchas definiciones de sustentabilidad y, por tanto, de desarrollo sustentable. Una definición genérica de sustentabilidad dice que "es la característica de un proceso o estado que puede ser mantenido a través del tiempo" (KORDEJ-de VILLA, 1997); es decir, en forma indefinida, sin que esto signifique que para siempre.

Específicamente, sustentabilidad es la condición o estado que permitiría la existencia indefinida de la especie humana sobre la tierra, a través de una vida sana, segura, productiva y en armonía con la naturaleza y con los valores espirituales" (DU PLESSIS, 2002).

Pero la mera sobrevivencia no debe ser la meta a alcanzar, sino que debe buscarse la posibilidad de vivir en un ambiente que provea una calidad de vida que satisfaga toda la jerarquía de las necesidades humanas, para lo cual también debe alcanzarse una forma de equidad social y económica entre los individuos, comunidades, naciones y generaciones.

Por su parte, el desarrollo sustentable no es simplemente un tipo de desarrollo que puede ser prolongado en el tiempo, sino el instrumento programático que se requiere para tratar de alcanzar el estado de sustentabilidad. No es una meta propiamente, sino un procedimiento metodológico para mantener un balance dinámico entre la demanda de equidad, una mejor calidad de vida y lo que es ecológicamente posible.

Expuesta de esta manera, la sustentabilidad es un concepto más amplio que el de desarrollo sustentable y puede ser aplicada a diferentes escalas, desde la sustentabilidad de una familia, de un proyecto o de una industria, pasando por el uso sustentable de recursos y de fuentes de materiales, hasta la sustentabilidad sectorial, regional y global.

Como antes se anotó, sustentabilidad y desarrollo sustentable pueden definirse a través de múltiples variantes; quizá la propia Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas (en inglés: *World Commission on Environment and Development*, WCED), propició esa amplitud conceptual a través del informe denominado "Nuestro Futuro Común" –del cual se hablará más adelante en este artículo–, en el que se incluyen al menos diez definiciones, aunque matizadas y provenientes del mismo tronco común conformado por la interrelación de los principios económico, social y ambiental. La apertura de ese abanico semántico también incluye aspectos y principios tales como ética, educación, cultura, y en ocasiones se le añaden salud, justicia, paz y seguridad.

Un reporte hecho para el Departamento del Medio Ambiente del Reino Unido contiene trece páginas de definiciones (PEARCE, 1993), sin llegar a concretar al menos una definición universal.

Otro trabajo, del Banco Mundial (PEZZEY, 1992), cuyo objetivo específico era analizar el concepto desde diferentes puntos de vista, contiene una gran cantidad y variedad de definiciones, y destaca 27 de las más relevantes que han sido hechas por economistas, académicos, científicos, dirigentes de alto nivel, organizaciones e incluso un Premio Nobel.

Desde el punto de vista empresarial, el *International Institute for Sustainable Development de Canadá* (IISD, 2002), sostiene que, para la iniciativa privada, sustentabilidad significa "emprender estrategias y actividades en los negocios que

resuelvan las actuales necesidades de las empresas y de sus clientes, al tiempo que protejan y mejoren los recursos humanos y naturales que serán requeridos en el futuro".

En tanto que el *World Business Council for Sustainable Development*, que es una coalición de 160 empresas transnacionales de 30 países, declara escuetamente estar comprometido en busca del desarrollo sustentable a través del crecimiento económico, el balance ecológico y el progreso social.

Al respecto, en nuestro país el Consejo Coordinador Empresarial adopta la definición de desarrollo sustentable de la WCED, y declara a través del Centro de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable (CESPEDES, 2002), que el mencionado término significa el "aprovechamiento y transformación racional de los recursos naturales y una protección generalizada del medio ambiente, (que) propicie a las generaciones futuras un nivel de vida tal, en lo económico y en lo social, que satisfaga sus necesidades básicas y les permita en forma progresiva acceder a niveles crecientes de salud, educación, bienestar y calidad de vida". Todavía se podrían citar varias definiciones más; pero en esta ocasión es preferible analizar las raíces históricas de la sustentabilidad para su mejor comprensión.

3. Evolución histórica

La esencia de la sustentabilidad no es nueva, en realidad es un antiguo precepto de la cultura humana y del comportamiento de los animales. Aun antes de la aparición del hombre sobre la tierra, los herbívoros y rapaces se alimentaban sin sobre-explotar sus territorios de los cuales dependía su vida.

En sus inicios, la humanidad incorporaba naturalmente los principios de sustentabilidad, pues el crecimiento demográfico y la capacidad tecnológica para el consumo de recursos eran muy limitados en las primeras civilizaciones.

Había actitudes claramente sustentables, como la de los indígenas de Norteamérica que bautizaron a uno de sus lagos con un nombre –nada corto– que significaba: "Nosotros pescamos en nuestro lado, ustedes pescan en el suyo y en el medio no pesca nadie". Esta franja en donde no pescaba nadie, garantizaba mantener la pesca dentro de los límites de la regeneración y el crecimiento natural, lo que propiciaba una pesca sustentable.

Pero también ocurrieron explotaciones insustentables que propiciaron consecuencias desastrosas para las siguientes generaciones, como el caso de las reservas forestales del Mediterráneo aniquiladas por los Fenicios y otros grupos que utilizaban grandes cantidades de madera para la construcción de naves. Groenlandia fue descubierta y poblada por los Vikingos, llegó a tener miles de habitantes, pero entre los años 1 400 y 1 500 la población desapareció de la isla al parecer por la sobre-explotación de los recursos naturales, los cuales no pudieron renovarse con la rapidez con que se consumieron debido al clima extremo.

Ubicados en nuestro país, una hipótesis dice que el esplendor de la civilización Maya decayó al rebasarse los límites sustentables de la selva que mantenía a la población.

A finales del siglo XIX el interés por la conservación fue convergiendo con los propósitos de la nueva ciencia del momento: la Ecología. Sin embargo, cuando se llevó a cabo la conferencia de Bretton Woods en 1944, para establecer el sistema financiero y monetario de la posguerra y, un año más tarde, cuando se dio el primer paso para fundar lo que posteriormente sería la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en la agenda política internacional no se incluyó el tema ambiental, aun cuando la preocupación relativamente reciente por el medio ambiente se derivó del daño causado por el rápido crecimiento económico ocurrido después de la segunda guerra mundial.

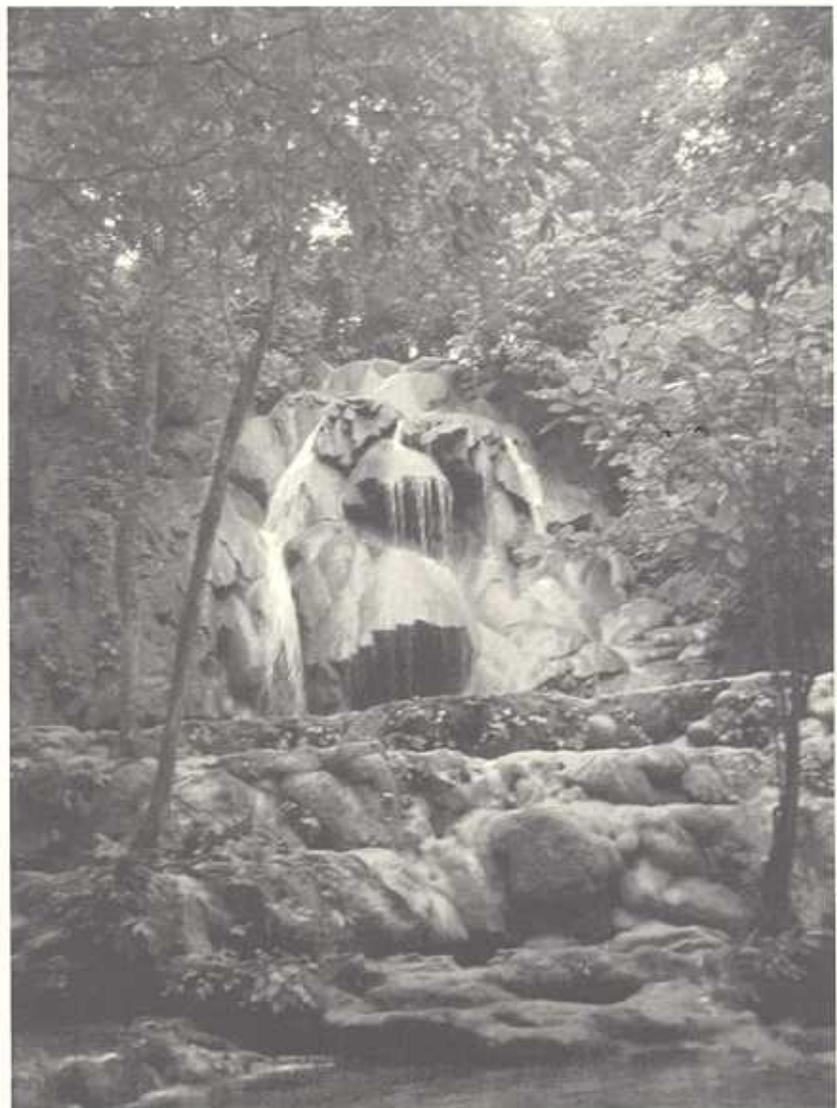
En los años sesenta del siglo recién concluido, un número considerable y cada vez más creciente de autores en las ramas de la economía y la planeación del desarrollo, trabajaron tratando de armonizar los conceptos de crecimiento económico y equilibrio ecológico, y con esa finalidad añadieron adjetivos a los términos de crecimiento y desarrollo.

4. Conferencia sobre el Ambiente Humano

Continuando con la evolución histórica de la sustentabilidad, se refiere que del 5 al 16 de junio de 1972, la comunidad mundial se reunió en Estocolmo, Suecia, para llevar a cabo la Primera Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano.

El objetivo central de la Conferencia de Estocolmo era establecer un criterio y principios comunes que ofrecieran a los pueblos del mundo, inspiración y guía para preservar y mejorar el ambiente humano.

En la sesión plenaria celebrada el último día, se dio a conocer la Declaración de la Conferencia de las Naciones Unidas Sobre el Ambiente Humano, en cuya proclama se destacaba: "Hemos llegado a un momento en la historia en que debe-



mos orientar nuestros actos en todo el mundo, atendiendo con mayor cuidado las consecuencias que puedan tener para el medio ambiente (...) la protección y mejoramiento del ambiente humano es una cuestión fundamental que afecta al bienestar de los pueblos y al desarrollo económico del mundo entero; es un deseo urgente de toda la sociedad y un deber de todos los gobiernos".

Y concluyó con el lanzamiento de la Declaración de Estocolmo, integrada por 26 principios y un programa de acción que incluía 109 recomendaciones.

Uno de los principales logros que se le acreditan a esa reunión mundial, es la creación del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Además, la reunión fue el parteaguas que inspiró a muchos grupos ambientalistas y propició la creación de secretarías (Ministerios) y agencias ambientales en países que aún no las tenían. Fue el caso de México, donde se creó la Subsecretaría del Medio Ambiente en 1972, la cual se adscribió a la Secretaría de Salubridad y Asistencia.

5. Génesis de la palabra sustentabilidad

Aunque en la Declaración de Estocolmo ya se perfilaban algunos temas relacionados con la necesidad de racionalizar el uso de los recursos naturales y los impactos adversos al ambiente, no se utilizó el término sustentabilidad.

La primera vez que se usó públicamente el concepto de sustentabilidad en su acepción similar a la actual, fue en el Reporte de Estudios Ecueménicos (WCC, 1974) de la reunión de *World Council of Churches*, efectuada en Ginebra en 1974. La iniciativa provino de un grupo de ambientalistas occidentales, como respuesta a las objeciones de países en vías de desarrollo de preservar prioritariamente el medio ambiente cuando su población confrontaba (confronta) condiciones de pobreza y de sobrevivencia.

Por su parte, que la frase y el concepto de desarrollo sustentable se conocieron hasta seis años más tarde, a través de la publicación *World Conservation Strategy*, hecha por la *International Union for the Conservation of Nature* (IUCN, 1980). En 1983 se formó la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas y adoptó la esencia del informe de

IUCN y, en 1987, esa Comisión hizo un reporte de los trabajos que le había encargado la Asamblea General, al que popularmente se ha llamado Informe Brundtland, que convirtió al desarrollo sustentable en un instrumento conceptual para tratar de compatibilizar el medio ambiente y los propósitos del desarrollo, haciendo conocidos mundialmente los términos de sustentabilidad y de desarrollo sustentable.

6. El Informe Brundtland

Tal como se acaba de comentar, a finales de 1983 la Asamblea General de las Naciones Unidas decidió crear una comisión especial independiente, que elaborara un programa global para el cambio. El secretario general de las Naciones Unidas pidió a una defensora del medio ambiente y de los derechos de la mujer, y ex Primera Ministra de Noruega, la Dra. Gro Harlem Brundtland, que formara y presidiera un grupo de trabajo para preparar el mencionado programa global, al que denominaron Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo.

Los objetivos básicos del programa solicitado eran:

- Proponer estrategias a largo plazo para alcanzar el desarrollo sustentable.
- Hacer recomendaciones para una mayor cooperación entre los países con diferentes niveles de desarrollo, para aspirar a propósitos comunes que consideraran la interrelación entre los hombres, los recursos naturales, el medio ambiente y el desarrollo.
- Analizar las vías mediante las que la comunidad internacional pudiera tratar con mayor eficacia los problemas relacionados con el medio ambiente, y
- Definir un programa de acción que incluyera objetivos y propuestas de solución a los problemas relacionados con la protección y mejoramiento del medio ambiente mundial.

Después de tres años de trabajo, la Comisión conformada por miembros de 21 países, concluyó que la transición a formas sustentables de desarrollo era posible, y en 1987 se publicó el correspondiente reporte denominado "Nuestro Futuro Común", mejor conocido como el "Informe Brundtland".

A la conclusión y análisis del Informe le sucedieron varias reuniones regionales que condujeron a la celebración de la Conferencia del Medio Ambiente y Desarrollo en Río de

Janeiro, ocasión que señaló el inicio del proceso de operativización de la idea de sustentabilidad.

7. La Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro

A veinte años de haberse llevado a cabo la Conferencia de Estocolmo sobre el Ambiente Humano, se celebró en Río de Janeiro, Brasil, la Conferencia del Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas, también conocida como la Cumbre de la Tierra (*Earth Summit*), del 3 al 14 de junio de 1992; con la asistencia de casi 30 000 personas, entre los que se encontraban más de 100 jefes de estado y de gobierno, más de 100 ministros, así como delegados y asistentes de 178 naciones.



Con el objetivo de mejorar y preservar la calidad del ambiente, se identificaron nueve grupos de problemas a abordar, inscritos en la idea del desarrollo sustentable:

- Protección a la atmósfera: cambios climáticos, deterioro de la capa de ozono y contaminación trans-fronteriza,
- Preservación de los recursos de la tierra: acciones contra la deforestación, la pérdida de suelo y la desertización,
- Conservación de la biodiversidad,
- Protección de los recursos de agua dulce,
- Conservación de los mares y océanos, así como la utilización racional de sus recursos vivos,
- Manejo ambiental de los desechos biotecnológicos y peligrosos,
- Prevención del tráfico ilegal de productos y residuos tóxicos,
- Mejora de la calidad de vida y de la salud humana,
- Elevación del bienestar y de las condiciones de trabajo de los estratos más pobres de la población.

Los temas que se trataron en la Cumbre de la Tierra se resumen en la Declaración de Río de Janeiro, la cual se integra por 27 principios que se refieren fundamentalmente al entorno natural y al desarrollo. Fueron firmados los tratados sobre Diversidad Biológica y Cambio Climático

por más de 150 naciones y se formalizó el programa para el siglo XXI, comunmente denominado Agenda 21.

Una característica sobresaliente de la Cumbre de Río de Janeiro es que el consenso alcanzado lo hicieron los gobernantes de las naciones, con el soporte de científicos y expertos; tratamiento que era imprescindible, particularmente en lo referente a temas ambientales globales, como el cambio climático y el deterioro de la capa de ozono.

8. La Agenda 21

La mayor parte del tiempo trabajado en la Cumbre de Río de Janeiro se dedicó a discutir el material que formarían el plan de acción de Río, denominado Agenda 21, que consta de 40 capítulos y está dividida en cuatro secciones que tratan aspectos sociales y económicos, medidas conservacionistas, y el fortalecimiento de grupos, enfatizando la emancipación de la mujer.

La Agenda 21 establece en el preámbulo que "La humanidad se encuentra en un momento decisivo de la historia. Nos enfrentamos a la perpetuación de las disparidades entre las naciones y dentro de las naciones(...) No obstante, si se integran las preocupaciones relativas al medio ambiente y al desarrollo y si se les presta más atención, se podrán satisfacer las necesidades básicas, elevar el nivel de vida de todos, conseguir una mejor protección y gestión de los ecosistemas y lograr un futuro más seguro y más próspero.

Ninguna nación puede alcanzar estos objetivos por sí sola, pero todos juntos podemos hacerlo en una asociación mundial para un desarrollo sustentable".

El capítulo 31 de la Agenda (La Comunidad Científica y Tecnológica) se ubica en un tema que nos debe interesar en el TESE, pues aborda la posibilidad de que la comunidad científica y tecnológica pueda hacer más abierta y efectiva su contribución al proceso de toma de decisiones concernientes al medio ambiente y al desarrollo, enfatizando que la participación de la ciencia y la tecnología en asuntos humanos tiene que ser más ampliamente conocida y mejor entendida, tanto por quienes toman las decisiones como por el público en general.

9. La Cumbre de Johannesburgo

Hace aproximadamente un año, del 23 de agosto al 4 de septiembre de 2002, se llevó a cabo la Cumbre de Johannesburgo (Sud-Africa) para el Desarrollo Sustentable, también llamada Río+10, en el marco de los documentos y experiencias de la Conferencia sobre el Ambiente Humano de Estocolmo y de la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro.

Haciendo una abstracción, la Cumbre de Johannesburgo relaciona la sociedad humana y el ambiente a través de varios temas críticos, de los que se enfatizaron: agua y medidas sanitarias, energía, productividad agrícola, salud y manejo de la biodiversidad y de los ecosistemas. Nuestro país se comprometió con una propuesta de alto perfil relacionada con la biodiversidad.

A ésta, que ha sido la mayor conferencia de la ONU de todos los tiempos, asistieron aproximadamente 65 000 personas de 174 países, incluyendo jefes de estado y de gobierno, dirigentes de empresa, sindicalistas, organizaciones no gubernamentales, representantes de la sociedad civil, entre otros. La representación oficial de México fue de 100 personas, entre las que se contó con el Presidente de la República, el Secretario de Relaciones Exteriores y el Secretario del Medio Ambiente y Recursos Naturales, así como representantes y consejeros (JOHANNESBURG, 2002). Por supuesto asistieron muchas personas más a título personal o privado.



Se llevaron a cabo simultáneamente decenas de eventos en el área de la Ciudad de Johannesburgo, los cuales fueron convocados y coordinados por organizaciones y grupos independientes de las Naciones Unidas.

De esos eventos, destaca el llamado foro global de la sociedad civil, al que asistieron representantes de los grandes grupos identificados por la Agenda 21, tales como autoridades locales (municipales), agricultores, mujeres, empresarios, científicos y tecnólogos, jóvenes, indígenas y organizaciones no gubernamentales. De los centenares de documentos dados a conocer en esa reunión internacional, destacan el Plan de Implementación y la Declaración (política) de Johannesburgo para el Desarrollo Sustentable. Finalmente, cabe destacar el énfasis que se hizo en la necesidad del esfuerzo requerido para informar y capacitar a todos los actores sociales, para expresar los objetivos de sustentabilidad en la agenda política y de desarrollo de todos los países.

Conclusiones

La sustentabilidad es un concepto que llegó para quedarse y ya ha penetrado los campos del saber y del hacer. En

consecuencia, es posible y conveniente que los diferentes integrantes de la comunidad del TESE aproximemos los principios de sustentabilidad a nuestros respectivos campos profesionales.

Para tratar de aprovechar ese nicho de oportunidad, debemos (al menos) relacionar nuestras acciones de trabajo con la capacidad finita que tiene el medio ambiente para proveernos de recursos (renovables y no renovables) y para asimilar los residuos que producimos (basuras, contaminantes y diversos tipos de desperdicios); así como procurar la justa distribución de esos recursos e impactos ambientales entre la presente y las futuras generaciones humanas.

Como última reflexión, puede afirmarse que la alternativa sustentable, la que puede asegurar el porvenir al planeta, no se impondrá por sí misma, pues tiene que enfrentar las múltiples ideologías que inspiran los intereses de todo tipo. Sin embargo, el despertar de una conciencia mundial para la solidaridad humana y la preocupación por la naturaleza ya ha comenzado, cuenta con el respaldo de la filosofía sustentable y empieza a tener adeptos en todo el mundo, incluido nuestro país. ☺

REFERENCIAS

- CESPEDES (Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable) 2003, Agosto 30. Internet, URL <<http://www.ccc.org.mx/cespedes/>>
- DU PLESSIS, Chrissa, 2002. *Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries*.
- CSIR Building and Construction Technology, Pretoria, South Africa
- HSD (International Institute for Sustainable Development) 1998, 29 May. *Definitions and General Information*. Internet, URL <<http://iisd1.iisd.ca/>>
- IUCN (Conservation of Nature and Natural Resources), UNEP (United Nations Environment Programme), and WWF (World Wildlife Fund) (1989): *World Conservation Strategy: Living Resource Conservation for Sustainable Development*.
- JOHANNESBURG (Cumbre de Johannesburgo) (2002, 04 Sep). Internet, URL <<http://www.johannesburgsummit.org/>>
- KORDEJ-de VILLA, Zeljka. *Framework for Sustainable Development of Human Settlements*. Second International Conference Building and the Environment. 9-12 June, Paris, 1997.
- PEARCE, David et al. *Blueprint 3. Measuring Sustainable Development*. Earthscan Publications, London, 1993.
- PEZZEXY, John. *Sustainable Development Concepts*. World Bank Environment paper number 2. Washington, D.C., 1992.
- WCC (World Council of Churches) (1974). *Report of Ecumenical Study Conference on Science and Technology for Human Development*. Geneva.
- WCED (World Commission on Environment and development) *Our common future*. Oxford University Press, Oxford, 1987.

Importancia de los pigmentos carotenoides y su aplicación en la industria

Dra. Alma Rosa Domínguez Bocanegra*

Debido a la importancia comercial de los colorantes en varias industrias como la cosmética, alimentaria, avícola y la piscícola, se han realizado múltiples investigaciones sobre el uso de los carotenoides sintéticos y naturales.

Los carotenoides cumplen importantes funciones biológicas en animales, como precursores de vitamina A, como estimulantes de la respuesta inmune (Shahaidi y col., 1998). En décadas pasadas, los pigmentos se obtenían para su comercialización a partir de fuentes naturales como extractos de plantas, animales y minerales; el consumo de los pigmentos naturales disminuyó con el descubrimiento de los colorantes sintéticos en 1856. Pero desde que Newsome (1986) demostró que algunos de los colorantes sintéticos presentaban efectos carcinogénicos y embriotóxicos, se aumentó la demanda por los pigmentos naturales (Fig. 1). De los carotenoides conocidos, sólo un número reducido se utiliza comercialmente. Entre

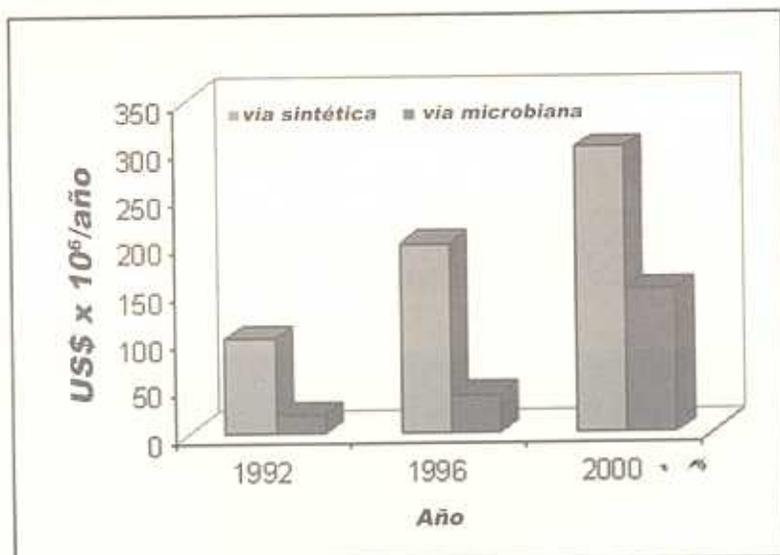


Figura 1. Producción de pigmentos carotenoides por vías sintética y microbiana.

éstos se encuentran β -caroteno, licopeno, astaxantina, cantaxantina, criptoxantina, zeaxantina y luteína. La limitación en el número de carotenoides disponibles comercialmente se debe a la dificultad y elevado costo de su síntesis, más que a una falta de aplicación práctica.

Los carotenoides son pigmentos isoprenoides liposolubles, presentes en todos los organismos fotosintéticos, cuyo color va del amarillo al rojo. Se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza y se han identificado más de 630 de ellos. Según su naturaleza química se divi-

*Profesor-Investigador Titular A del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Investigador CINVESTAV-IPN, de 1992 a la fecha. Trabajo presentado para obtener el grado de Dr. en Ciencias biológicas.

den en dos grupos principales: carotenos y xantofilas, donde el β -caroteno es el principal caroteno. Entre las principales xantofilas están la zeaxantina, luteína, cantaxantina y astaxantina (Lotan y Hirschberg, 1995).

En la industria acuícola las principales xantofilas utilizadas son la cantaxantina y la astaxantina (Figura 2). La astaxantina es un constituyente importante de los alimentos para peces, debido a que el salmón y otros animales marinos no pueden sintetizarlos *de novo*, por lo que se requiere incluirlas en las dietas para obtener un color muscular rojizo, esencial en la aceptación del consumidor.

Los carotenoides tienen también aplicación en la industria cosmética (Borowitzka y Borowitzka, 1988; Haard, 1988; Borowitzka, 1999). Por otro lado, se han descrito diversas propiedades terapéuticas de los carotenoides. Numerosos estudios epidemiológicos han demostrado que un alto consumo de carotenoides en la dieta, disminuye el riesgo de contraer determinadas enfermedades asociadas con la formación de radicales libres. Entre dichas enfermedades se encuentran diversos tipos de cáncer, enfermedades cardiovasculares, cataratas y otros procesos degenerativos asociados con el envejecimiento.

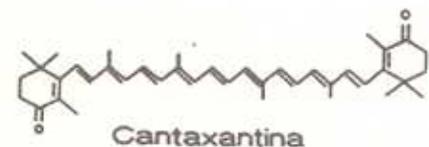
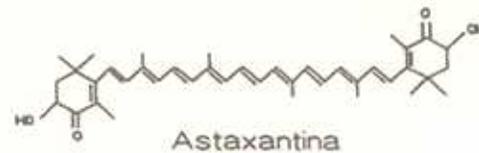


Figura 2.
Estructuras químicas de la astaxantina y cantaxantina.

La astaxantina es un pigmento carotenoide presente en animales marinos, tales como los salmones y los crustáceos, ya que estos animales no pueden sintetizar astaxantina por sí solos la toman en sus alimentos naturales, la cual es adicionada a la alimentación de los salmones, truchas y camarones cultivados para intensificar su color. La astaxantina posee una actividad antioxidante más alta que el β -caroteno y el α -tocoferol (Yamane y col., 1997). La función principal de este colorante es realizar una fotoprotección pasiva (como filtro), reduciendo la cantidad de luz disponible al complejo colector de luz del fotosistema II, minimizando el riesgo de fotoinhibición en cloroplastos (Linden, 1999).

La empresa farmacéutica Hoffman-La Roche (Basel, Suiza), ha desarrollado varios procesos para la síntesis de carotenoides. En 1964 introdujo la cantaxantina como pigmento en alimentos ("Carophyll red^{MR}") (Johnson y An, 1991). Este pigmento fue utilizado con éxito en acuicultura hasta la aparición de la transastaxantina, recientemente lanzada al mercado por Roche, la cual comercialmente recibe el nombre de "Carophyll pink^{MR}". La astaxantina sintética es la principal fuente utilizada para pigmentar el músculo de salmón, la cual es preferida por los piscicultores sobre la cantaxantina, porque se absorbe más eficientemente y da una coloración más natural y homogénea a los alimentos procesados; la astaxantina sintética procesada tiene un costo de venta de \$2,500 a \$3,500 dólares americanos/Kg (Schroeder y Johnson, 1995; Olaizola, 2000).

La astaxantina al igual que otros carotenoides, tiene un uso potencial como colorante en cosmetología, pero su inestabilidad frente a factores físicos como la luz y el oxígeno limitan su aplicación en esta área (Katsuyama y col., 1993).

A últimas fechas, se le atribuyen propiedades nutraceuticas a la astaxantina (Kobayashi y Okada, 2000), ya que presenta un alto valor nutricional. Por ser precursor de vitamina A, presenta efectos antioxidantes, por lo que protege de los daños causados por los rayos UV (Kobayashi y Sakamoto, 1999) y estimula el sistema inmunológico. Por ello, en los últimos 10 años se ha generado un interés considerable en la astaxantina y otros carotenoides al considerárseles posibles preventivos de cáncer, arteriosclerosis, cataratas y otras enfermedades degenerativas producidas por daño foto-oxidativo.

Una de las funciones más importantes de los carotenoides en organismos fotosintéticos es proteger los tejidos celulares contra radicales libres oxigenados que se producen mediante la interacción del oxígeno con la luz visible o UV, y moléculas fotosensibles como bacterioclorofila o clorofila. En las plantas, la ausencia de carotenoides induce la muerte celular por daño foto-oxidativo, de manera que son indispensables para la función fotosintética. En los microorganismos no fotosintéticos, los carotenoides también protegen a las células contra daño foto-oxidativo, en este caso mediante radicales libres producidos con la participación de otras moléculas fotosensibles como protoporfirina IX y hemo.

Por estas razones, es importante poder proponer procesos eficientes para la producción de pigmentos naturales por vía microbiana. Estos procesos pueden ser empleando la levadura *Phaffia rhodozyma* y la microalga *Haematococcus pluvialis* para la producción de astaxantina (Domínguez-Bocanegra, 2003).

Se ha determinado que ciertos parámetros afectan la síntesis de astaxantina en *H. pluvialis* como son la composición del medio de cultivo; la aireación, la temperatura y la intensidad luminosa, mientras que para la producción de astaxantina por fermentación con *P. rhodozyma* entre los parámetros más importantes están la temperatura, el pH, el nivel de oxígeno y la composición del medio de cultivo (Domínguez-Bocanegra, 2003).

Propiedades químicas y rutas biosintéticas de astaxantina a partir de la levadura *Phaffia rhodozyma* y la microalga de agua dulce *Haematococcus pluvialis*.

La astaxantina (3,3'-dihidroxi- β,β -caroteno-4,4'-diona) es un oxicarotenoide y pertenece al grupo de las xantofilas. Al igual que otros carotenoides, este pigmento está formado por ocho unidades de isopreno que por condensación dan estructuras carbonadas de cuarenta átomos, llamados tetraterpenos. La fórmula molecular de este carotenoide es $C_{40}H_{52}O_4$ y posee un peso molecular aproximado de 596.86. Este pigmento fue identificado químicamente por Kühn y Sorenson (1983) y presenta forma de cristales de color violeta oscuro; su punto de fusión es de aproximadamente 224°C. Es insoluble en soluciones acuosas, pero soluble en diclorometano (30 g/L), en cloroformo (10 g/L), acetona (0.2 g/L), dimetilsulfóxido (0.5 g/L) y otros solventes polares. Es sensible a la luz, a la temperatura, a los ácidos, al oxígeno y a la presencia de álcalis. En condiciones de saponificación, sufre una conversión a astaceno. La astaxantina presenta dos carbonos asimétricos en la posición 3 y 3' (Fig. 3) y puede existir en cuatro configuraciones, incluyendo los enantiómeros idénticos (3S,3'S; 3R,3'R) y formas meso (3R,3'S; 3'R,3'S) (Müller y col., 1980).

Cabe mencionar que la astaxantina es un metabolito secundario (MS). La mayoría de los MS son moléculas orgánicas complejas que para su formación requieren un gran número de reacciones enzimáticas. Las enzimas implicadas en la producción del MS están reguladas separadamente de las enzimas del metabolito primario. Los MS, aparentemente, no son esenciales para el crecimiento y la reproducción. La formación de MS es extremadamente dependiente de las condiciones de crecimiento, en especial de la composición del medio. Con frecuencia, se produce la represión de la formación del MS y se producen como un grupo de estructuras estrechamente relacionadas. Por ejemplo, se ha visto que una sola cepa de una especie de *Streptomyces* produce 32 antibióticos distintos pero relacionados, del tipo antraciclina (Madigan y col., 1999).

P. rhodozyma es una levadura, que produce astaxantina, fue aislada al inicio de la década de los 70 a partir de los exudados de árboles de las regiones montañosas de Japón (nueve cepas) y Alaska (una cepa) (An y col., 1989) y se designó originalmente como *Rhodozyma montanae*. Más tarde se le dio el género de *Phaffia* en

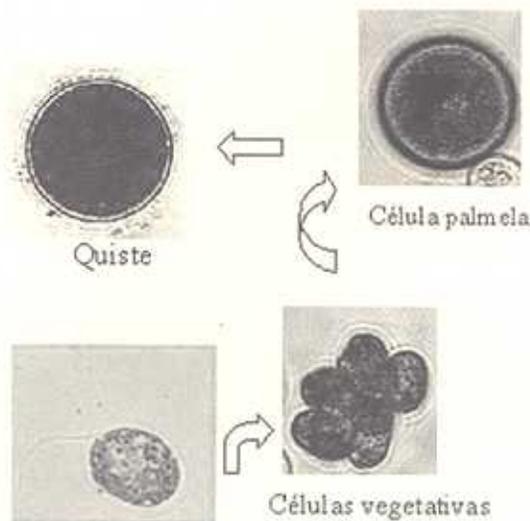


Figura 3. Ciclo de vida *H. Pluvialis*.

honor de Herman Jean Phaff, quién la describió primero (An y col., 1989).

Phaff en 1988 reconoció varias características inusuales en la levadura y estableció que las propiedades más remarcadas de este microorganismo es que las colonias son rojas o naranjas debido a la presencia de los pigmentos carotenoides. El color se debe a que sintetiza la astaxantina como su carotenoide principal. Fermenta glucosa y otros azúcares y puede ser aerobia o anaerobia (Johnson y An, 1991). *P. rhodozyma* es el estado asexual del microorganismo. Recientemente Golubev (1995) reportó el estado sexual y lo nombró *Xanthophyllomyces dendrorhous*. Posteriormente los estudios moleculares de Fell y Blatt (1999) señalaron la existencia de más de una especie de *P. rhodozyma* por lo que no todas son *X. dendrorhous* (Flores-Cotera, 2001). Las cepas silvestres de *P. rhodozyma* aisladas a la fecha, contienen hasta 500 µg/g lev (0.05%) o menos en peso seco de carotenoides totales, de los cuales del 40% al 95% es astaxantina. Por lo que para hacer económicamente factible la producción comercial fue necesario obtener mutantes con un contenido mayor de astaxantina. Por ello, se ha dedicado un considerable esfuerzo de investigación a la obtención de cepas hiperproductoras. El contenido de astaxantina varía considerablemente dependiendo de la cepa y del método de cultivo (Domínguez-Bocanegra, 2003).

Extensos estudios durante los últimos 50 años han establecido que los rasgos generales de la formación de carotenoides son similares en plantas superiores, algas, hongos y bacterias (Flores-Cotera, 2001). Los carotenoides

comparten las etapas iniciales de síntesis con las vías biosintéticas de una gran variedad de isoprenoides, incluyendo sesquiterpenos, giberelinas y esteroides. El isopentil pirofosfato (IPP) es el precursor de todos ellos (Disch y col., 1998). La vía más conocida para la producción de astaxantina a partir de *P. rhodozyma* es la vía del mevalonato, que a partir del acetil-CoA produce IPP teniendo como intermediarios la hidroximetilglutaril CoA sintetasa y reductasa (HMGS y HMGR).

La vía del mevalonato se encuentra regulada para proveer las cantidades necesarias de isoprenoides y para evitar una acumulación de intermediarios.

El mevalonato sufre reacciones de fosforilación para formar el isopentil pirofosfato el cual se condensa con una molécula de dimetil-pirofosfato (DMAPP) para dar geranyl-pirofosfato. Adiciones sucesivas de moléculas de isopentenil-pirofosfato dan origen a farnesil-pirofosfato. Este último sufre una segunda adición de isopentil-pirofosfato para formar geranyl-geranyl pirofosfato (GGPP), molécula que al condensarse forma fitoeno, que es el primer precursor de los carotenoides. En organismos no fotosintéticos, una sola enzima lleva a cabo las desaturaciones para transformar el fitoeno en neurosporeno. Después, una ciclasa actúa sobre los extremos de ésta molécula para producir en varios pasos al β-caroteno (Goodwin, 1971).

H. pluvialis es una microalga verde de agua dulce del Phylum *Chlorophyta*, clase *Chlorofyceae*, orden *Volvocales*, familia *Haematococaceae*, género *Haematococcus* y especie *H. pluvialis*. El pigmento en *H. pluvialis* fue llamado "haematocromo" desde 1944, cuando Tisher identificó astaxantina como el carotenoide principal.

Esta alga puede existir en tres formas celulares: a) macrozoides biflagelados verdes con fototaxia positiva, es decir, que poseen un movimiento orientado hacia la fuente luminosa (Cantatore y col., 1989); b) etapa de palmela, que contiene una pequeña cantidad de astaxantina en la región perinuclear y, c) aplanosporas no móviles, de paredes gruesas que se tornan completamente rojas (Figura 2) debido a la gran acumulación de astaxantina en el citoplasma (Borowitzka y col., 1991; Lee y Ding, 1994). *H. pluvialis* acumula hasta un 3% de astaxantina en peso seco (Kobayashi y col., 1993).

En los últimos seis años, en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN y en el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, se han realizado diferentes proyectos de investigación para la obtención de pigmentos carotenoides a partir de *P. rhodozyma* y

H. pluvialis a nivel laboratorio, obteniendo excelentes resultados hasta el momento, por lo que el siguiente paso que se pretende dar, es escalar el proceso a nivel planta piloto para su comercialización. ☞

Bibliografía

- An, G.H., Schuman, D. B. y Johnson E. A. (1989). Isolation of *Phaffia rhodozyma* mutants with increased astaxanthin content. **Appl Environ Microbiol.** 55: 116-124.
- Borowitzka, M. A. y Borowitzka, L. J. (1988). *Dunaliella*. En: Borowitzka, M. A. y Borowitzka, L. J. (Eds.), **Micro-algal biotechnology**, Cambridge University Press, Cambridge.
- Borowitzka, M. A.; Huisman, J. M. y Osborn, A. (1991) Culture of the astaxanthin-producing green alga *Haematococcus pluvialis*. 1. Effects of nutrients on growth and cell type. **J Appl Phycol.** 3:295-304.
- Borowitzka, M.A. (1999). Comercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters. **J Biotechnol.** 70:313-321.
- Disch, A., Schewender, J., Müller, C., Lichtenthaler, H.K., Rohmer, M. (1998). Distribution of the mevalonate and glyceraldehydes phosphate/pyruvate pathways for isoprenoid biosynthesis in unicellular algae and the cyanobacterium *Synechocystis* PCC6714. **Biochem J.** 333:381-388.
- Domínguez-Bocanegra A. R., Guerrero-Legarreta, I., Martínez-Jerónimo, F. Y Tomassini-Campoosio, A. (2003). Influence of environmental and nutritional factors in the production of astaxanthin from *Haematococcus pluvialis*. **Biores Technol.**
- Fell, J. W., Blatt, G. M. (1999). Separation of strains production of the yeast *Xanthophyllomyces dendrorhous* and *Phaffia rhodozyma* based on rDNA, IGS and ITS sequence analysis. **J Ind Microbiol Biotechnol.** 23:677-681.
- Fleno, B., Christensen, Y., Larsen, R., Johansen, S. R. y Johnson, E. A. (1994). Astaxanthin producing yeast cells, methods for their preparation and their use. US Pat. 5, 356, 810.
- Flores-Cotera, L.B. (2001). Influencia de factores nutricionales en la producción de astaxantina por *Phaffia rhodozyma*. Tesis de Doctorado, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química.
- Golubev, W.I. (1995). Perfect state of *Rhodomyces dendrorhous* (*Phaffia rhodozyma*). **Yeast.** 11:101-110.
- Goodwin, T. W. (1971). Biosynthesis En: Isler, O... (Ed) **Carotenoids**. Birkhauser-Verlag, Basel. 577.
- Haard, N. (1988) Astaxanthin formation by the yeast *Phaffia rhodozyma* on molasses. **Biotechnol Lett.** 10:609-614.
- Johnson, E. A. y An, G. H. (1991). Astaxanthin from microbial sources. **Crit Rev Biotechnol.** 11: 297-326.
- Katsuyama, M., Hagi, M. y Yamamoto (1993). Cosmetic application of astaxanthin .10th. International Symposium on Carotenoids, Oslo Noruega.
- Kobayashi, M., Kakizono, T., Nagai, S. (1993). Enhanced carotenoid biosynthesis by oxidative stress in acetate induced cyst cells of to green alga *Haematococcus pluvialis*. **Appl Environ Microbiol.** 59:867-873.
- Kobayashi, M. y Sakamoto Y. (1999). Singlet oxygen quenching ability of astaxanthin esters from the green alga *Haematococcus pluvialis*. **Biotechnol Lett.** 21:265-269.
- Kobayashi M; y Okada, T. (2000). Protective role of astaxanthin against U.V.-B irradiation in the green alga *Haematococcus pluvialis* **Biotechnol Lett.** 22(3): 177-181.
- Kühn, R. y Sorenson, N. A. (1983). Über astaxanthin and ovoeridin. **Ber. Dtsch. Chem. Ges.** 71:1879.
- Lee, Y.K. y Ding, S.Y. (1994) Cell cycle and accumulation of astaxanthin in *Haematococcus lacustris* (Chlorophyta). **J Phyco.** 30:445-449.
- Linden, H. (1999) Carotenoid hydroxylase from *Haematococcus pluvialis*: cDNA sequence, regulation and functional complementation. **Biochim Biophys Acta.** 1446:203-212.
- Lorenz R. T; Cysewski G. R. (2000). Commercial potential for *Haematococcus* microalgae as a natural source of astaxanthin. **Trends in Biotechnol.** 18:160-167.
- Lotan, T. y Hirschberg, J. (1995). Cloning and expression in *Escherichia coli* of the gene encoding β -C-4-oxygenase, that converts β -carotene to the ketocarotenoid canthaxanthin in *Haematococcus pluvialis*. **FEBS Lett.** 364:125-128.
- Madigan, M. T., Martiniko, J. M., Parker, J. (1999). Brock. **Biología de los microorganismos**. 8ª Edición, Madrid, España, 234-245.
- Muller, R. K., Bernhard, K., Mayer, H., Ruttimann, A. y Vecchi, M. (1980). Beitrag zur analytische und synthese von 3-hydroxy-4-oxocarotinoiden. **Helv Chim Acta.** 63: 1654.
- Newsome, R.L. (1986). Food colors. En: **Food Techl** 49-56.
- Olaizola, M. (2000) Commercial production of astaxanthin from *Haematococcus pluvialis* using 25,000-liter outdoor photobioreactors. **J Appl Phycol.** 12: 499-506.
- Shahaidi, F., Metusalach, S., Brown, J.A. (1998). Carotenoid pigments in seafoods and aquaculture. **Crit Rev Food Sci Nutr.** 38:1-67.
- Schroeder, W. A. y Johnson, E.A. (1995). Carotenoids protect *Phaffia rhodozyma* against singlet oxygen damage. **J Ind Microbiol.** 14: 502-507.
- Yamane, Y., Higashida, k., y Nishio, N. (1997) Influence of oxygen and glucose on primary metabolism and astaxanthin production by *Phaffia rhodozyma* in batch and fed-bath cultures. Kinetic and stoichiometric analysis. **Appl Environ Microbiol.** 63:4471-4478.

Biodegradación de compuestos químicos que afectan al ambiente

Por: Martín Alexander*

Traducido por: Dra. Ma. del Rosario Peralta Pérez,
profesora investigadora en el Laboratorio de Catálisis Enzimática del TESE

Una gran variedad de compuestos químicos sintéticos están presentes contaminando suelos de todo tipo, aun en estratos profundos, así como en los mantos acuíferos. Algunos de éstos son tóxicos y pueden convertirse en productos peligrosos en la naturaleza. Las agencias reguladoras gubernamentales han estado controlando el uso de pesticidas desde hace algún tiempo, y en Estados Unidos la Agencia de Protección Ambiental (EPA) inició un programa para establecer procedimientos a fin de evaluar el impacto ambiental y el peligro que representan para la salud los compuestos químicos en general, no necesariamente clasificados como pesticidas.

Como respuesta, los científicos ambientales, biólogos y químicos enfocaron su atención a identificar y determinar el comportamiento y destino de los compuestos orgánicos en ecosistemas naturales. El progreso de dichos estudios es obstaculizado por el enorme número de compuestos químicos que son usados en la industria, el campo y el hogar; algunos estimados sugieren que de 10 a 1000 diferentes compuestos son utilizados comercialmente. Muchas de estas sustancias son liberadas en aguas o suelos en forma deliberada o inadvertida; la mayoría representa clases de moléculas que los biólogos y bioquímicos no han previsto investigar.

*Alexander, Martin. "Biodegradation of Chemicals of Environmental Concern". *Science*, Vol. 211, 9 de enero, pp. 132-221.

Un compuesto químico orgánico introducido en un ecosistema acuático o terrestre puede ser sujeto a reacciones enzimáticas o no enzimáticas realizadas por los habitantes del medio ambiente. Varios tipos de mecanismos abióticos para los cambios químicos han sido descritos, y en ambientes acuáticos las reacciones fotoquímicas pueden ser significativas. Las reacciones no enzimáticas raramente inducen cambios apreciables en la estructura química, por lo que la secuencia degradativa de reacciones enzimáticas y no enzimáticas provoca mayores cambios en la estructura del compuesto químico de interés. La evidencia actual sugiere, sin embargo, que las poblaciones microbianas nativas son los agentes principales del cambio de las moléculas que son metabolizadas en agua y suelos. Sin embargo, plantas y animales metabolizan una gran variedad de compuestos químicos; las actividades de los organismos superiores son, frecuentemente, modestas en comparación con las transformaciones que producen las bacterias heterotróficas y los hongos que viven en el mismo hábitat.

Papel de los microorganismos

La mineralización, o completa biodegradación, de una molécula orgánica en agua y suelo es siempre una consecuencia de la actividad microbiana. Pocos mecanismos abióticos de importancia en la naturaleza convierten totalmente los compuestos orgánicos, de cualquier grado de complejidad, en productos inorgánicos; además, las secuencias de mineralización son características del metabolismo microbiano en varias clases de compuestos sintéticos. Como ellos convierten sustratos orgánicos en productos

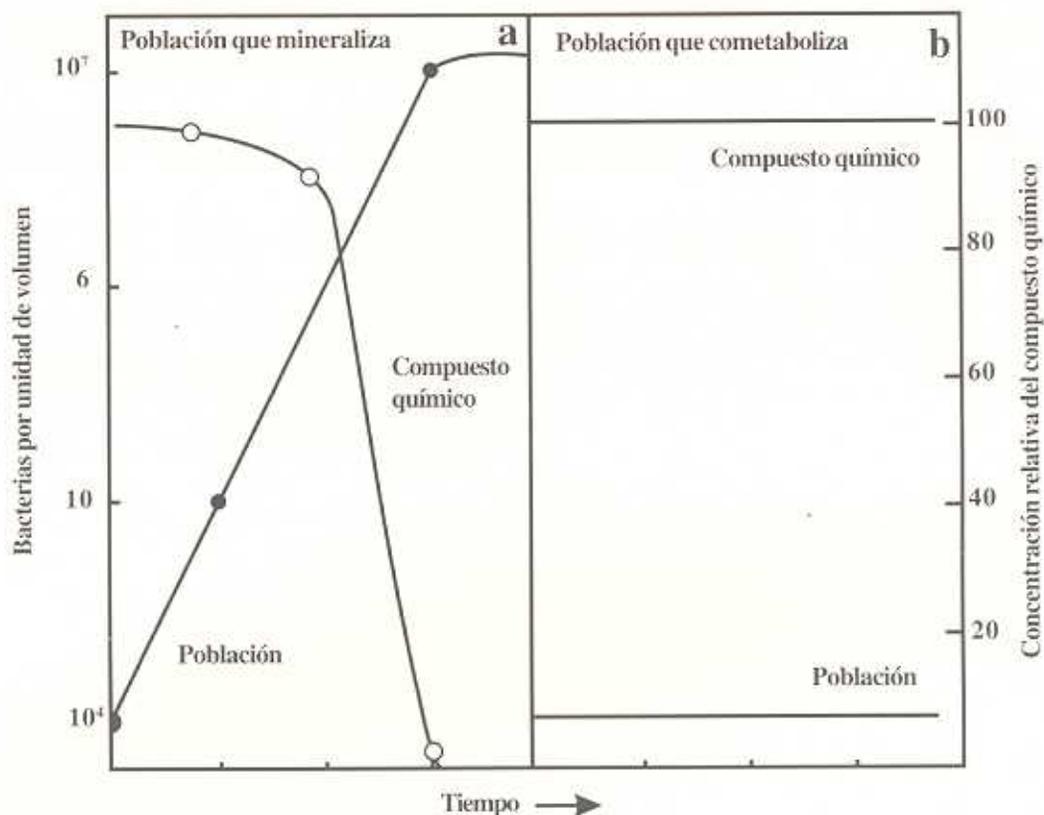


Figura 1. Modelo hipotético para los cambios conformacionales de la población y metabolismo de un compuesto químico modificado por la mineralización y cometabolismo.

inorgánicos, la población responsable puede usar algo del carbono del sustrato y convertirlo en constituyentes celulares. Al mismo tiempo, la energía es liberada, y la población se incrementa en número y biomasa, también asimilan algo del carbono y adquieren energía para biosíntesis. Como consecuencia, la mineralización es típicamente un proceso ligado al crecimiento. La detoxificación es un concepto que proviene de la mineralización, excepto cuando uno de los productos por sí mismo afecta al ambiente, como en el caso del nitrato en ciertas aguas o sulfito bajo condiciones anaerobias.

Una conversión microbiana distinta a la mineralización tiene lugar con muchos compuestos químicos. El interés en este tipo de conversión aparece marcadamente cuando los compuestos actúan biológicamente en el suelo y agua, pero no con microorganismos capaces de usar los compuestos como fuente de nutrientes o energía una vez aislados en el laboratorio.

La evidencia para demostrar el papel de los microorganismos en las transformaciones, es encontrar que los compuestos sean transformados usando muestras de los ambientes naturales que no están estériles, en lugar

de realizar dichas pruebas en muestras estériles; o bien que los compuestos sean transformados rápidamente en ambientes naturales bajo circunstancias de no esterilidad¹⁻³.

Ha llamado la atención el encontrar que ciertos compuestos químicos son objeto de la acción microbiana y que aparentemente no son sustancias para el crecimiento y este fenómeno se denomina "cometabolismo", o algunas veces "cooxidación".⁴ La población microbiana presumiblemente está creciendo sobre otro sustrato, mientras se realiza la transformación conocida como cometabolismo.

La objeción a dicho término ha sido expresada en vista de que no describe un fenómeno metabólico nuevo,⁵ pero dado que desde el punto de vista bioquímico, el cometabolismo es una biotransformación, las consecuencias ambientales de dicho fenómeno para mantener un término especial pueden defenderse.

Sobresalen dos consecuencias ambientales:

1. Las poblaciones responsables de la biotransformación no incrementa en número o biomasa como resultado de la introducción de un compuesto químico en el agua

o suelo. La carencia en dicho incremento es un reflejo de la incapacidad del organismo para usar el compuesto químico para propósitos de biosíntesis, esto contrasta marcadamente con el incremento del tamaño o cantidad de biomasa de la población cuando un sustrato mineralizable es introducido en el mismo ambiente. Debido a que la población actúa sobre muchos compuestos químicos sintéticos que son moléculas pequeñas, un compuesto sujeto a cometabolismo es modificado lentamente y la velocidad no se incrementa con el tiempo; en contraste, con un sustrato que actúa, puede ser mineralizado.

La figura 1 representa la población obtenida (que se incrementa en el tiempo) vs la desaparición del compuesto químico cuando las bacterias lo usan como fuente de carbono y energía para su crecimiento.

El modelo hipotético de cometabolismo muestra la carencia del incremento del tamaño de la población microbiana, y la lenta desaparición del compuesto químico que es cometabolizado por las bacterias, mientras dichas bacterias usan otro compuesto presente en el ecosistema natural como fuente de carbono y energía; en el modelo se asume que el tamaño de la población de las bacterias está en estado estacionario, debido a la continua disponibilidad de pequeñas cantidades de sustrato para su crecimiento.

2. Los productos estructuralmente similares al compuesto químico introducido se pueden acumular a causa de que los organismos presentes no tengan las enzimas necesarias para lograr una transformación mayor, particularmente para intermediarios de secuencias metabólicas normales. La acumulación de productos

de este tipo ha sido observada en ambientes naturales, ecosistemas modelo y cultivos microbianos en medios artificiales.

La evidencia directa para el cometabolismo en la naturaleza no ha sido bien documentada. El cometabolismo ocurre en ecosistemas naturales y consiste en la actividad en condiciones no estériles de muestras no esterilizadas provenientes del medio ambiente.

La fisiología básica del cometabolismo no es clara; en vista de que un gran número de compuestos químicos aparentemente son cometabolizados, establecer una explicación fisiológica es muy importante. La hipótesis más aceptada es la relacionada con las enzimas; muchas enzimas presentes en las células microbianas catalizan reacciones que involucren sustratos muy diferentes estructuralmente hablando,⁶ sin embargo, las moléculas contaminantes muchas veces son estructuralmente similares. Si el producto de la acción de una de estas enzimas no es un sustrato apropiado para ninguna enzima en otros organismos, dicho producto se acumulará en el medio.⁴

Conclusiones

El interés en la biodegradación de los compuestos químicos del medio ambiente está creciendo. Las agencias reguladoras requieren información que únicamente podrá ser respondida mediante los resultados experimentales, y las universidades trabajan para establecer generalizaciones apropiadas. La presencia de compuestos químicos industriales, aguas de desecho, etcétera, ha convencido al público de que la contaminación por moléculas sintéticas de tipo orgánico es un problema muy serio. ☺

Bibliografía

1. M. Alexander, *Adv. Appl. Microbiol.*, 18, 1 (1974).
2. J. R. Duffy and N. Wong, *Agric. Food Chem.*, 15, 457 (1967); E. P. Lichtenstein and K. R. Schultz, *J. Econ. Entomol.*, 53, 192 (1960).
3. F. K. Pfaender and M. Alexander, *J. Agric. Food Chem.*, 20, 842 (1972).
4. M. Alexander, in *Microbial Degradation of Pollutants in Marine Environments*, A. W. Bourquin and P. H. Pritchard, Eds. (U.S. Environmental Protection Agency, Gulf Breeze, Fla., 1979), p. 67; J. J. Perry, *Microbiol. Rev.*, 43, 95 (1979).
5. M. H. Hulbert and S. Krawiec, *J. Theor. Biol.*, 69, 287 (1977).
6. J. D. Brodie and P. Nicholl, *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 32, 1071 (1968); D. D. Clarke, W. J. Nicklas, J. Palumbo, *Arch Biochem. Biophys.*, 123, 205 (1968); P. P. Henkart, G. Guidotti, J. T. Edsall, *J. Biol. Chem.*, 243, 2447 (1968).



FIRST ANNOUNCEMENT/CALL-FOR-ABSTRACTS

The First International Meeting on Environmental Biotechnology and Engineering (1IMEBE)

6-8 September, 2004
Mexico City, Mexico

OBJECTIVES

The First International Meeting on Environmental Biotechnology and Engineering (1IMEBE) will be held in September 6-8, 2004, in Mexico City, Mexico.

Environmental problems require an interdisciplinary solution and both engineers and scientists require information on a wide range of issues. This conference promotes discussion and debate based on the sharing of experiences at an international level. Speakers and delegates can exchange up-to-date information, and consider the current status of, and future developments in several issues dealing with hot subjects of Environmental Biotechnology and Environmental Engineering. The background of our delegates together with the informal and friendly atmosphere at our Meeting makes the networking opportunities as important as the technical sessions.

The main activities of the 1IMEBE will consist of:

- Guest lectures
- Oral Symposia
- Oral Sessions
- Poster Sessions
- Roundtables
- Short Courses
- Competition of Best Presentations
- Competition of Best Graduate Thesis 2002-2004

THEMES

Papers are invited on all aspects of Environmental Biotechnology and Environmental Engineering disciplines, and particular

themes for this conference are as follows:

- Soil and Sediment Remediation
- Aquifer Remediation
- Solid Waste Management and Treatment
- Hazardous Waste Management and Treatment
- Microbial Ecology
- Molecular Biology Applications to Environmental Problems
- Wastewater Treatment: Management, Processes, Reclamation, Reuse, Appropriate Technologies
- Environmental Chemistry
- Sustainable Development
- Risk Assessment and Environmental Impact
- Control and modelling of environmental processes
- Environmental Education

Please note that this is not an exhaustive list of topics; abstracts are welcome on all relevant themes of the Environmental Biotechnology and Environmental Engineering. New slot sessions can be opened according to the abstracts received.

ORGANIZING COMMITTEE AND INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE

The 1IMEBE is organized by a consortium of first rate Mexican Institutions led by the CINVESTAV-IPN, UNAM, CENAPRED, UAEH, UTTT, Col. Posgraduados, ESIQIE-IPN, TESE, and CENICA-SEMARNAT.

The activities of the 1IMEBE are supported by an outstanding International Scientific Committee with researchers and practitioners of international recognition:

- Dr. Birgitte K. Ahring, Professor, Technical University of Denmark, Denmark
- Dr. Didier Alazard, IRD-Mexico-IMP, México.
- Dr. Cecilia M. Arraiano, Universidade de Nova Lisboa, Portugal.
- Dr. Franco Cecchi, Professor, University of Verona, Italy.
- Dr. Eugenio Foresti, Emeritus Professor, University of Sao Paulo, School of Sanitary Engineering and Hydraulics, Sao Paulo, Brazil.
- Dr. Ju-Chang (Howard) Huang, Professor, Hong Kong University of Technology, Hong Kong, People's Republic of China.
- Dr. Mario T. Kato, Professor, University of Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brazil
- Dr. Raúl S. Lavado, Professor, Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Dr. Hervé Macarie, Sr. Researcher, IRD-Marseille, France.
- Dr. Asa Malmqvist, Anox and Lund University, Sweden.
- Dr. René Moletta, Research Director, INRA, France.
- Dr. Paolo Pavan, Professor, University of Venice, Italy.
- Dr. Danny Reible, Director of the EPA Center for Hazardous Substance Research South West and Professor, Louisiana State University, USA.
- Dr. Isabel Sastre-Conde, IMIA, Madrid, Spain.
- Dr. Louis Thibodeaux, Emeritus Professor and Former Director of the EPA CHSR-South West, Louisiana State University, USA.
- Dr. Irene Watson-Craik, University of Strathclyde, Scotland, UK.
- Dr. Marcelo Zaiat, University of Sao Paulo, School of Sanitary Engineering and Hydraulics, Sao Paulo, Brazil.
- Dr. Daniel Zitomer, Marquette University, USA.

IMPORTANT DEADLINES

- Abstract Submission: JANUARY 15, 2004.
- Manuscripts in-extendso for publication in the Proceedings: JUNE 14, 2004.
- Manuscripts for Publication in Journals: AUGUST 15, 2003.

Please note that selected oral and poster presentations will be submitted to the

international journals *Water Environment and Research* (Water Environment Federation, USA), *Acta Biotechnologica* (John Wiley, Germany), and *Interciencia* (the Journal of Science and Technology of the Americas, Interciencia Association) for review and publication.

REGISTRATION

Registrations fees (in US dollars) to the Meeting are as follows:

	Paid by May 30, 2004	Paid after May 30, 2004
Industry	500.00	550.00
Government/Academic	200.00	250.00
Student	100.00	125.00

INFORMATION

P.O. Box address:

Dr. Héctor M. Poggi-Varaldo, CINVESTAV-IPN, Dept. of Biotechnology and Bioengineering, P.O. Box 14-740, México, DF, 07000, Mexico.

Street address:

Dr. Héctor M. Poggi-Varaldo, CINVESTAV-IPN, Dept. of Biotechnology and Bioengineering, Ave. IPN No. 2508, c/ Ave. Ticomán, Col. San Pedro Zacatenco, México, DF, 07320, Del. G. A. Madero, México.

Telephone:

5255 5061 3800 ext 4324 and 4336

Fax: 5255 5061 7002

E-mails: imebe1@yahoo.fr;

hectorpoggi2001@yahoo.com



La furia de la naturaleza



Gen

La revista *TECNOCULTURA* es un órgano de difusión del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec (TESE), su publicación es cuatrimestral, e incluye artículos de divulgación y notas sobre avances científicos, tecnológicos culturales y otras áreas del saber humano. Los trabajos que se propongan para ser publicados en *TECNOCULTURA* deben enviarse a:

Director Editorial, *TECNOCULTURA*
Departamento de Relaciones Institucionales y Difusión
Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec
Av. Tecnológico s/n, esq. Hank González (Av. Central)
Col. Valle de Anáhuac, Ecatepec de Morelos,
Estado de México C.P. 55210.
Tel.: 5710 45 60 Ext.: 251
tecnocultura@tese.edu.mx

Los artículos y notas serán evaluados por especialistas seleccionados por el Consejo Editorial.

Los artículos de divulgación deben dar cuenta de los logros o avances obtenidos en las especialidades que se cultivan en el TESE o colaboraciones externas con temas afines. Se buscará que su contenido sea ameno y novedoso.

Los textos deberán ser elaborados en computadora, en hoja tamaño carta, a doble espacio, con tipografía Arial de 11 puntos, márgenes de 2.5 cm por lado y extensión máxima de 10 cuartillas. Los procesadores de texto útiles para este propósito son: Microsoft Word o Word Perfect, guardando el documento con la extensión .doc.

Entregar en disquete de 3 1/2" o en disco compacto, junto con una copia impresa del mismo.

El lenguaje debe ser accesible a estudiantes de licenciatura, sin perjuicio de la información científica o académica contenida en el artículo. Cuando sea necesario el uso de tecnicismos, deberá explicarse su significado con la amplitud necesaria. Se recomienda la inclusión de recuadros que aclaren el significado de conceptos de difícil comprensión.

Dentro de lo posible, se evitará el uso de fórmulas y ecuaciones. Los artículos pueden tener subtítulos o incisos y un resumen introductorio, no mayor de cinco líneas, que atraiga el interés del lector. Las referencias bibliográficas aparecerán completas al final del documento; cuando se mencionen en el texto, deberán indicarse con un número en superíndice y por orden de aparición.

Deberán incluirse los originales de las ilustraciones o fotografías que acompañen el artículo. Las figuras y gráficas se deben elaborar en computadora a línea, sin pantallas, o dibujos en tinta china sobre papel albanene, con buena calidad. Los autores recibirán las pruebas de planas de sus artículos, con la debida anticipación, para su visto bueno.

MAESTRÍAS EN:

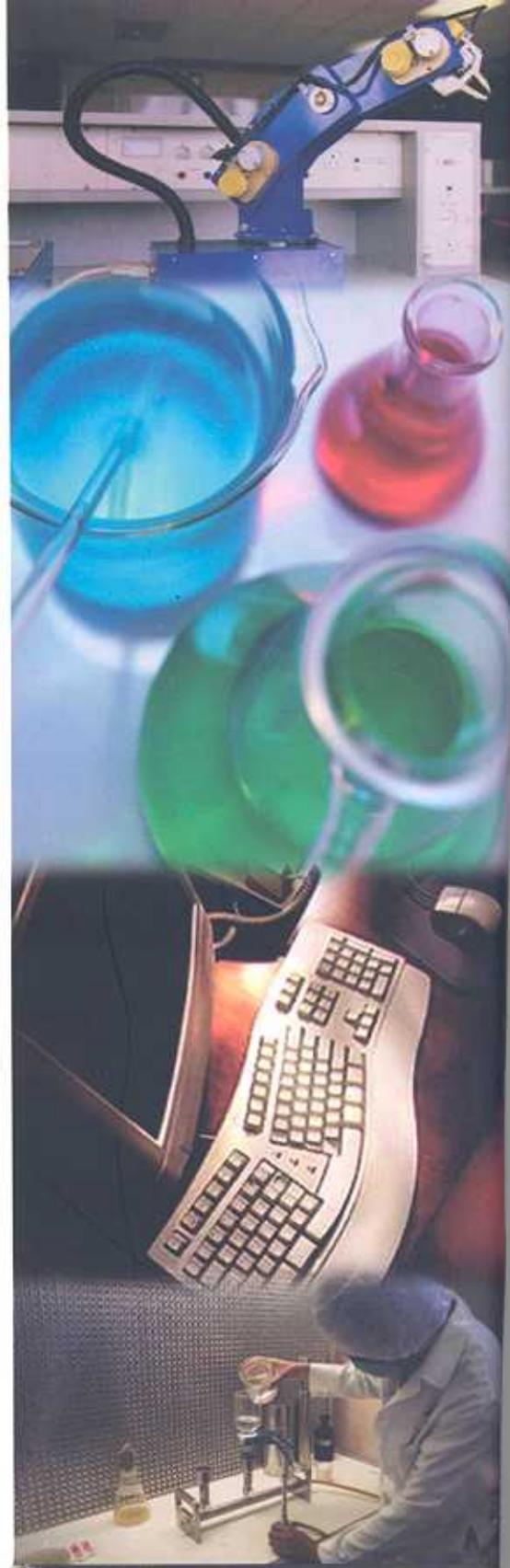
Ingeniería Mecatrónica

Ingeniería Química

**Ingeniería en Sistemas
Computacionales**

Ingeniería Bioquímica

INSCRIPCIONES ABIERTAS



*Av. Tecnológico s/n, esquina Av. Hank Gonzálz
Col. Valle de Anáhuac, Ecatepec de Morel
Estado de México, C.P. 55211*

*Tel. 57 10 45 60 al 66. Ext. 215, 216, 218 y 318
posgrados@tese.edu.mx*

SEP



AVANZA
1999-2000