



Ingeniería Ambiental

Abelardo González Aragón



La Ingeniería Ambiental es la disciplina que, aplicando un enfoque multidisciplinario, emplea los conocimientos de las ciencias y la ingeniería para el estudio, evaluación y resolución técnica de los problemas causados por las actividades humanas al ambiente, como son: la contaminación del aire, del agua, del suelo, el ruido y las emisiones radioactivas; la generación y el manejo de residuos municipales y peligrosos; el manejo y la explotación inapropiada de recursos naturales; y aquellos ocasionados por la deficiente utilización de la energía. Como rama de la ingeniería, está orientada a brindar soluciones mediante el desarrollo y aplicación de sistemas tecnológicos y biotecnológicos para prevenir y controlar la contaminación, así como la aplicación de técnicas y metodologías para administrar sustentablemente al ambiente.

Esta disciplina tuvo su origen en la ingeniería sanitaria, especialidad de la ingeniería civil encargada de diseñar y operar sistemas de suministro de agua potable y alcantarillado, así como de la recolección y el manejo de residuos sólidos municipales. El crecimiento de las localidades urbanas, junto con la sobreexplotación de los recursos naturales y el impresionante desarrollo de la industria –con la consecuente generación de contaminantes cada vez más diversos y complejos de tratar– han orientado las actividades de los ingenieros ambientales hacia el campo de los procesos químicos y biotecnológicos, sin dejar de atender las obras de infraestructura municipal que le dieron origen.

En nuestros días, el reciclaje y el reúso de materiales, la minimización y prevención de la contaminación ambiental, así como el uso de metodologías de identificación y evaluación de impactos y riesgos ambientales, se incorporan al quehacer diario de los ingenieros ambientales. Estas actividades, sumadas a las tradicionales tareas de tratamiento y control de contaminantes, definen el campo de acción de esta ingeniería.

Así, se puede decir que un Ingeniero Ambiental es un profesional capaz de comprender los mecanismos de la naturaleza y los procesos de producción para lograr la armonía entre los mismos y contar con un ambiente sano, contribuyendo así al desarrollo económico y al bienestar de la sociedad.

Desarrollo de la ingeniería ambiental

La historia de la ingeniería ambiental en el mundo se puede relacionar con eventos particulares que provocaron cambios importantes en la manera de actuar de la sociedad. Estos eventos han sido los motores para el desarrollo de planes, acciones, tecnologías, sistemas y métodos que se han aplicado para cumplir con los retos que la sociedad impone a los ingenieros.

El caso del agua

Desde que la humanidad se asentó en comunidades, se inició la construcción de infraestructura para satisfacer sus principales necesidades, siendo la del abastecimiento de agua una de las más importantes. Al suministrar agua corriente, se creó también el problema de manejar las aguas usadas. Existen referencias del uso de sanitarios con agua corriente en las antiguas culturas de la India y Creta, que datan de 2500 a 2000 años a.C.; los romanos y los aztecas fueron famosos



Amor, Antonio M.

Ingeniero. Se destacó en el campo de la explotación petrolera y, al expropiarse los bienes de las compañías extranjeras, prestó eminentes servicios a la industria nacionalizada.

Ampudia, Valentín

Teniente coronel. Formó parte las tres primeras brigadas de ingenieros militares mexicanos, cuya tarea consistió en levantar los planos topográficos de sus respectivas jurisdicciones, de cada ciudad y de cada plaza fortificada, con anotación de todos los datos útiles para el Ejército. Comandadas por el general Diego García Conde (véase).



por los acueductos que construyeron para abastecer de suficiente agua corriente a sus ciudades, y en todas estas culturas se contaba con métodos y sistemas para remover las excretas y transportarlas al campo para utilizarse como abono. Sin embargo, de los siglos v al xv, en Europa y Asia hubo un retroceso generalizado, su infraestructura y condiciones de sanidad se deterioraron substancialmente, y estas prácticas milenarias desaparecieron casi por completo.

Se pueden rastrear los orígenes de la ingeniería ambiental moderna hacia mediados del siglo XIX, con el surgimiento de la ingeniería sanitaria como una respuesta estructural a los problemas de salud y confort de las grandes urbes industrializadas, en las que la calidad y la esperanza de vida eran muy bajas. Las importantes epidemias de cólera, ocurridas en Inglaterra en los años 1831-1832, 1848-1849 y 1853-1854, que en conjunto causaron la muerte de más de 30 000 habitantes de la ciudad de Londres, y la “Gran Pestilencia”, ocurrida en esta misma ciudad en 1858, debido a la descomposición de la materia fecal y residuos que llegaban al río Támesis, urgieron a que se tomaran medidas para resolver estos problemas.

El doctor John Snow –precursor de la epidemiología– demostró, en 1854, que el cólera era una enfermedad transmitida por el agua y que estaba relacionada directamente con la calidad de la misma. Gracias a sus observa-

ciones se logró controlar la epidemia de 1854 al impedir el uso de una bomba de suministro de agua, que en ese entonces se había contaminado. Esto le permitió al ingeniero Joseph Bazalgette, proponer el ambicioso plan de saneamiento del Río Támesis en la zona de la ciudad de Londres, con la intención de mejorar la salud de la población y acabar con los problemas de olores que aquejaban a la capital de Inglaterra. Su plan consistió en diseñar y construir un sistema de colectores que captaban el drenaje sanitario de la ciudad, parte del cual era conducido por gravedad y bombeo hacia un par de emisores que descargaban directamente al río. Adicionalmente el plan contempló la construcción de un tercer colector que conducía el agua a una laguna de almacenamiento cuya estación de bombeo operaba cuando el nivel del río aumentaba debido a la marea alta. El plan se completó con la construcción de protecciones en ambas riberas del Támesis, para evitar inundaciones en la ciudad. Como resultado de estas obras, las condiciones de sanidad mejoraron, aunque solamente se había trasladado el problema de la ciudad al río, puesto que las aguas residuales se descargaban sin tratamiento alguno. En 1882, se decidió dar tratamiento químico a las aguas residuales que descargaban al río y transportar el lodo en barcazas para disponerlo en el océano. Esta práctica se mantuvo hasta la última década del siglo XX; a partir de entonces, las regula-





ciones en materia ambiental obligan a no disponer lodo sin tratamiento en el océano, exigiendo la incineración del mismo y su disposición como mejorador de suelos en forma de “pellets”.

En cuanto a la potabilización del agua, se tienen referencias de que la localidad de Paisley, Escocia, fue la primera población en recibir agua tratada para consumo humano (potabilizada), en el año de 1804. En 1806, la ciudad de París, Francia, contaba con una gran planta potabilizadora, en la que el agua sedimentada pasaba por filtros de arena y carbón. Fue hasta 1829, cuando la Compañía de Aguas de Chelsea, introdujo el diseño del ingeniero James Simpson para filtrar el agua que se suministraba a la zona residencial de Westminster, en Londres, y se aplicó lo que



se considera el primer sistema moderno de tratamiento de aguas para consumo humano. No hubo grandes cambios en la tecnología de purificación de agua para este uso hasta principios del siglo XX, cuando inicia, tam-

bién en Inglaterra, la aplicación continua de cloro como desinfectante. A este simple hecho –desinfectar el agua suministrada para consumo humano– se le atribuye el incremento del 50% de la esperanza de vida que se dio en la primera mitad del siglo XX en países desarrollados.

La calidad del aire

Otro importante problema de salud que se presentaba en las ciudades industriales del siglo XVIII y XIX era el de la calidad del aire. Las industrias y los hogares utilizaban carbón y leña como sus principales fuentes de energía, y los productos de combustión (gases, cenizas y partículas) se emitían en grandes cantidades a la atmósfera local. En las típicas condiciones neblinosas de las islas británicas, la contaminación del aire por partículas, humos, y óxidos de azufre, combinada con la humedad del ambiente, afectaban considerablemente la calidad del aire, formando lo que se llamó “smog londinense” (palabra que proviene de la contracción de los vocablos ingleses humo [“smoke”] y niebla [“fog”]). Para 1875, se emitió en Inglaterra la primera “Acta de Salud Pública” que planteaba el inicio de acciones tendientes a reducir las emisiones de humo y mejorar la calidad del aire urbano.

Durante la primera mitad del siglo XX se mejoraron los procesos de combustión y los controles de las emisiones industriales a la atmósfera, sin embargo, aún con la disminución del uso del carbón como combustible para calefacción en los hogares, las emisiones domésticas eran, aún, muy relevantes. Hacia mediados del siglo XX, los efectos de la contaminación atmosférica en la salud pública fueron cada vez más evidentes. Destaca el caso de Meuse Valley, Bélgica (1930), en donde murieron más de 60 personas por los elevados contenidos de óxidos de azufre. También es digna de mención la inversión térmica sucedida en la ciudad de Donora, Pennsylvania, en el año de 1948, en la que murieron 20 personas y más de la mitad de la población (14 000 habitantes) enfermó severamente de las vías respiratorias; asimismo, las muertes ocurridas por causa de inversiones térmicas que impidieron la dispersión de contaminantes atmosféricos en la ciudad de Nueva York, Estados Unidos, en los años de 1963 y 1966, donde se estima que fallecieron 405 y 168 personas respectivamente, impulsaron a que se tomaran acciones al respecto y se publicara el “Acta de Aire Limpio” en 1970.



Más impactante aún fue el episodio ocurrido en 1952, cuando el 4 de diciembre, en la ciudad de Londres, Inglaterra, se presentaron condiciones atmosféricas que impidieron la dispersión de los contaminantes emitidos, condiciones que se mantuvieron por cinco días en los que se observó un incremento de hasta tres veces en los niveles de “smog” y siete veces en los de óxidos de azufre. Se registró la muerte de 4 000 personas más de lo usual, que se atribuyeron a los incrementos observados en los contaminantes atmosféricos y coincidieron con las mayores concentra-

GLOSARIO

Análisis de operaciones

Investigaciones relacionadas a las operaciones en el trabajo industrial o de oficina. Tiene como objetivo lograr su estandarización, incluyendo un estudio de tiempo y movimiento.

Análisis de valor

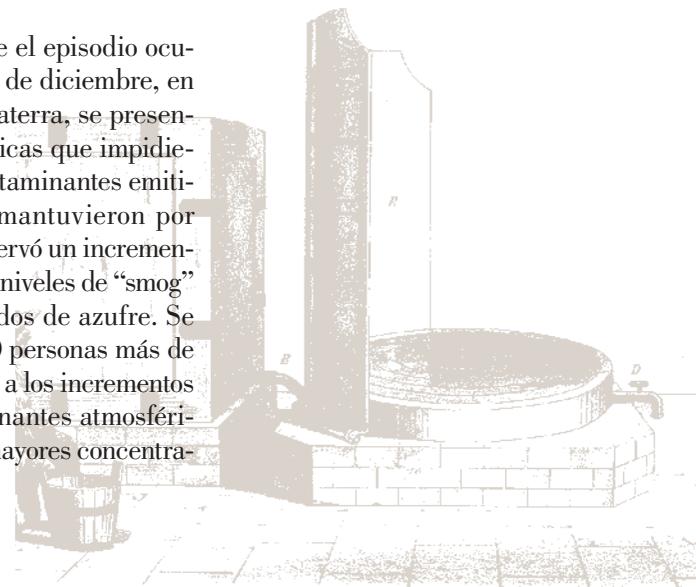
Estudio de los costos de un producto.

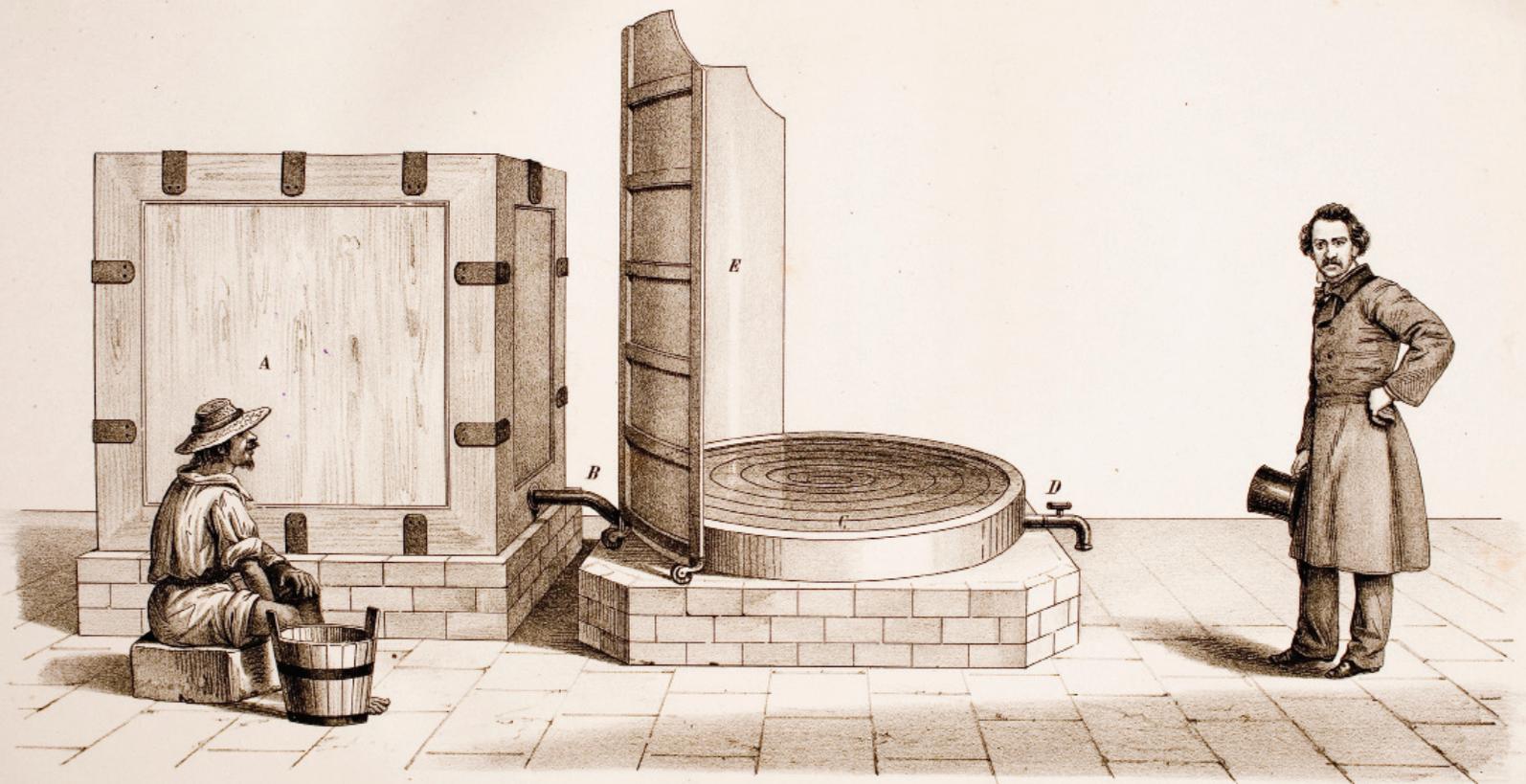
Análisis ergonómico

Análisis destinado a optimizar el costo fisiológico de realizar una operación.

Analógica

Es aquella variable que toma valores continuos, teóricamente infinitos. Algunas magnitudes físicas que suelen presentar una señal de este tipo son eléctricas, como la intensidad, la tensión y la potencia; hidráulicas, como la presión; térmicas como la temperatura; mecánicas, etc.







ciones de éstos. Dicho episodio ambiental motivó la publicación, en 1956, del “Acta de Aire Limpio” que, en ese país, inició formalmente la reducción de las emisiones de contaminantes atmosféricos provenientes de fuentes domésticas.

Uno de los primeros accidentes de contaminación atmosférica, debidamente documentados ocurrió en 1950 en la ciudad de Poza Rica, Veracruz, en donde una fuga de sulfuro de hidrógeno escapó accidentalmente de una instalación de gas natural. Las condiciones climatológicas agravaron la situación, dando como resultado 22 muertes y más de 300 casos de enfermedades relacionadas.

También, alrededor de 1950, la gente de la ciudad de Los Ángeles, California, empezó a quejarse de irritaciones en las mucosas nasales, pérdida de visibilidad y la presencia de un color café-amarillento en la atmósfera de su ciudad. Se identificó entonces otro tipo de “smog” diferente al londinense, al que se le denominó “smog fotoquímico”. Este tipo de contaminación está asociado a una elevada presencia de partículas, gases (óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno) hidrocarburos y compuestos orgánicos volátiles provenientes principalmente de emisiones vehiculares. Estos compuestos reaccionan químicamente en la atmósfera en presencia de radiación solar, y producen compuestos altamente activos y oxidantes, como el ozono. Esta mezcla de compuestos oxidantes e irritantes, causa molestias y daños a la salud de los habitantes, especialmente a los que presentan padecimientos cardiovasculares y asma, así como a las plantas y aún a las edificaciones, en donde se acelera su deterioro.

A mediados de la década de 1960 se identificaron los efectos del plomo en la sangre, la concentración del plomo de las gasolinas y los niveles alcanzados en la atmósfera. Esto desató un movimiento mundial que logró erradicar el uso de gasolinas con plomo, y además

obligó, a partir de la segunda mitad de la década de 1970, al uso de convertidores catalíticos en los vehículos automotores para reducir sustancialmente las emisiones de gases de combustión a la atmósfera.

Estos problemas obligaron al establecimiento de estándares cada vez más restrictivos en las emisiones de vehículos automotores, así como a un incremento en el uso de sistemas de control de las emisiones de calderas y plantas generadoras de energía (termoeléctricas). El uso de convertidores catalíticos, la mejora de combustibles y el uso intensivo de sistemas de medición de la calidad del aire, han sido las respuestas que se han puesto en práctica para mejorar la calidad del aire en las zonas urbanas. El empleo de fuentes energéticas alternativas y el uso eficiente de la energía son los siguientes pasos en términos de la mejora global en la calidad del aire.

Los accidentes industriales

La actividad industrial siempre ha sido riesgosa. En particular las grandes industrias son susceptibles a accidentes de graves proporciones. A partir de la década de 1970 algunos de los más importantes accidentes industriales han tenido severos efectos ambientales. En este apartado, sólo se mencionan aquellos casos que ayudaron a abrir importantes campos de acción y desarrollo a la ingeniería ambiental, y que no se refieren exclusivamente a la prevención y control de la contaminación del ambiente.

Probablemente, el accidente industrial de Bhopal, India, ha sido el más grave en el que se involucran materiales peligrosos. En diciembre de 1984, la filial de Union Carbide instalada en esa ciudad, dedicada a la fabricación de plaguicidas, tuvo una fuga de 30 toneladas de metil isocianato, sustancia que al liberarse a la atmósfera se convierte en un gas altamente tóxico. Inicialmente se reporta-

GLOSARIO

Archivo

Es un grupo de datos con una característica en común. Se localiza en la memoria secundaria de una computadora.

Arquitectura de una red de sistemas

Diseño general de una red básica de un sistema de telecomunicaciones que permite a todos los usuarios de la red conectarse simultáneamente y utilizar las funciones. Sus siglas en inglés son SNA.

Asfalto

Es un material bituminoso, sólido o semisólido con propiedades aglutinantes y que se licua gradualmente al calentarse, se obtiene de la destilación del petróleo.





Anguiano, Ángel

Ingeniero civil y arquitecto (1840-1921), n. en Encarnación de Díaz, Jal., m. en la ciudad de México. Fue alumno de las primeras generaciones de egresados de San Carlos (1860-1867) de la carrera de ingeniero civil creada por Javier Cavallari (véase). Se graduó en 1868. Dirigió la construcción del camino de Morelia a Las Barrancas y fue nombrado inspector general de caminos. Se dedicó al estudio de la astronomía y en 1876 se hizo cargo de la dirección del Observatorio Astronómico Nacional. Fue el fundador del anuario que publica dicha institución. Hizo estudios en los observatorios más importantes de Europa y perteneció a varias sociedades científicas extranjeras. Fue reconocido especialmente por la Real Academia de las Ciencias Físicas y Naturales de Madrid. Fue miembro de la comisión internacional encargada de medir el arco del meridiano 98° de Greenwich. Entre los múltiples trabajos científicos que escribió de su especialidad destacan *Ligeras observaciones sobre el desagüe de México; Diferencia de meridianos entre México y Morelia; Memoria sobre la observación en Aguascalientes del eclipse solar del 29 de junio de 1897*.

Antonelli, Juan Bautista

Ingeniero militar, italiano. Trabajó en México al servicio de España. Proyectó las defensas de Puerto Rico, La Habana, Cartagena, Veracruz y San Juan de Ulúa. Proyectó el camino de Veracruz a México, vía Orizaba, cuyo trazo sigue en su mayor parte la carretera moderna. Escribió unos *Memoriales del ingeniero Bautista Antonelli al Consejo de Indias*, solicitando permiso para volver a España y pasaje para él y sus criados en una nave de la Armada (1599).

ron 3 000 muertes, pero se estima que fueron en total 20 000 las que ocurrieron después de este accidente en el que estuvieron expuestas cerca de medio millón de personas. Este evento cambió la actitud de las grandes industrias químicas que, a partir de él, aceptaron la responsabilidad de los efectos que podrían causar sus productos “desde la cuna hasta la tumba”. La identificación y evaluación de riesgos ambientales, junto con la implantación de medidas de reducción de estos riesgos, son prácticas que, a partir de este evento, se realizan rutinariamente.

Por su extensión, importancia y magnitud, se puede mencionar también la falla del reactor nuclear ocurrida en Chernobyl, Ucrania, en abril de 1986. Una fuga de vapor fundió el reactor nuclear 4, emitiendo partículas radioactivas que, al no poder contenerse, fueron transportadas por el viento y viajaron cientos de kilómetros, afectando la salud de incontables pobladores de la Unión Soviética y del norte de Europa. El daño ambiental causado, que se manifestó en contaminación del suelo, agua superficial y subterránea, así como por daños a la flora y la fauna, fue muy extendido e importante, obligando a reforzar las medidas de seguridad en todas estas instalaciones y reabriendo la discusión respecto a la conveniencia del uso de la energía nuclear.

No menos significativos son los incontables derrames de petróleo y combustibles que han contaminado el mar, el suelo y afectado a los seres vivos y comunidades de las áreas de influencia. A partir de estos problemas se han desarrollado técnicas de contención de derrames y de limpieza de sitios contaminados. Las medidas de restauración de suelos contaminados, que utilizan procesos químicos y biológicos para alcanzar los objetivos de descontaminación, son las que han recibido mayor atención e impulso, y representan una de las principales actividades de los ingenieros ambientales.

El cuidado del ambiente

Hasta mediados del siglo xx no existía una preocupación real de la sociedad en su conjunto por la conservación ni por el manejo del ambiente. El uso del DDT, plaguicida desarrollado en 1939 y aplicado indiscriminadamente en las islas del Pacífico durante la Segunda Guerra Mundial para controlar la malaria, desató graves efectos sobre los ecosistemas y las cadenas alimenticias, que no habían sido visualizados ni previstos. En 1962, después de años

de investigación, la bióloga Rachel Carson publicó su libro “La Primavera Silenciosa” (“Silent Spring”), en donde describía detalladamente la persistencia del plaguicida en el ambiente, su efectividad para acabar con una gran variedad de insectos y su poca selectividad, así como los procesos de bioacumulación en la cadena trófica, cuestiones que causaban graves daños al ambiente en general. Este texto desató una batalla legal con la industria química fabricante de éste y otros productos similares, que tuvieron que aceptar su responsabilidad y una rigurosa legislación al respecto. El hecho es significativo porque despertó la conciencia sobre la fragilidad y vulnerabilidad del ambiente por causa de acciones del hombre, cuestionó la confianza absoluta en el uso indiscriminado de los avances científicos y tecnológicos sin medir sus posibles consecuencias sobre el ambiente, a la vez que incorporó el cuidado de la naturaleza como un elemento fundamental para el desarrollo de la sociedad. Por primera vez se aceptó que era necesario regular a las actividades industriales para proteger el ambiente.

En 1968, se reunieron en Roma personalidades científicas, académicas y políticas, preocupadas por el deterioro del ambiente, con el objetivo de compartir sus inquietudes y desarrollar metodologías que arrojaran luz sobre la crisis que estaba viviendo el planeta. La problemática ambiental que se analizaba contemplaba la interdependencia entre diferentes aspectos políticos, energéticos, alimentarios y demográficos, haciendo proyecciones hacia futuros escenarios posibles. Este grupo se constituyó como asociación en 1970 y, para 1972, Dennis Meadows editó su primer informe “Los Límites del Crecimiento”, en el que a partir de cinco variables –crecimiento de la población, producción de alimentos, consumo de recursos naturales no renovables, incremento de malnutrición y acelerado crecimiento industrial– planteaban escenarios catastróficos que podían ser modificados dependiendo de la aplicación de diversas políticas.

El reporte del Club de Roma despertó una importante discusión mundial que se dio en forma simultánea a la conferencia de las Naciones Unidas sobre el Ambiente Humano que se llevó a cabo en Estocolmo, Suecia, del 5 al 16 de junio de 1972. En la declaración final de esta conferencia, por primera vez se establece, entre otros puntos que: la protección y mejoramiento del ambiente es un aspecto fundamental que afecta el bienestar

de la gente y el desarrollo económico en todo el mundo; se reconoce que el desarrollo científico y tecnológico ha llegado a un nivel tal, que puede causar severos e irreversibles daños al ambiente; se reconoce el compromiso y responsabilidad de las naciones industrializadas a colaborar con las que están en vías de desarrollo para reducir las brechas y mejorar de manera sustancial su calidad de vida; y se plantea que las decisiones deben tomarse considerando, con prudencia, los posibles daños al ambiente derivados de las políticas y acciones que se realizan.

La declaración de la Conferencia de Estocolmo obliga a las naciones a tomar medidas para proteger sus recursos naturales; abatir los niveles de contaminación del agua, aire, suelo y la causada por energías (contaminación térmica, radioactiva, acústica); proteger y restaurar sus ecosistemas; aprovechar, con medida, los recursos naturales no renovables; e incorporar, en la planeación de políticas y proyectos de infraestructura, la evaluación de los posibles efectos ambientales e incorporar medidas de prevención y mitigación. Esta declaración internacional sintetiza la razón de ser y el quehacer de la ingeniería ambiental, y es la plataforma sobre la que propiamente se ha desarrollado esta disciplina.

Las Naciones Unidas han realizado otras dos conferencias relevantes para la protección y administración del ambiente: la Conferencia sobre Ambiente y Desarrollo, realizada en Río de Janeiro, Brasil, del 3 al 14 de junio de 1992; y la Conferencia sobre Desarrollo Sostenible, llevada a cabo del 2 al 4 de septiembre de 2002, en Johannesburgo, Sudáfrica. En ambas conferencias se renovó el compromiso adquirido en la conferencia de Estocolmo, pero se incorporaron aspectos relevantes que elevan a nivel estratégico y prioritario la necesidad de administrar de manera sustentable y proteger al ambiente para que las generaciones futuras puedan aprovecharlo.

El cambio climático puede considerarse inicialmente como un problema de calidad del aire que involucra a todo el planeta en su conjunto, sin embargo es mucho más amplio, complejo, y está relacionado directamente con los patrones de uso de energéticos, políticas de racionalización, de desarrollo económico, de bienestar social y de manejo integral del ambiente, es decir, es un claro problema de desarrollo sostenible.



La ingeniería ambiental en México

Probablemente los esfuerzos históricos por resolver los problemas de abastecimiento y extracción de agua de la ciudad de México, evitar inundaciones y administrar el recurso hídrico en la región con mayor densidad de población del país, han dado lugar a las mayores obras relacionadas con la ingeniería sanitaria. El manejo del agua en la zona metropolitana del Valle de México ha derivado en la construcción de una vasta y compleja infraestructura que incluye acueductos, pozos profundos, plantas potabilizadoras, estaciones de bombeo, el sistema Cutzamala, las redes primarias y secundarias de distribución de agua potable, las redes de atarjeas, colectores primarios y el sistema del drenaje profundo, las plantas de tratamiento de aguas residuales y sus redes de distribución de agua residual tratada, así como una gran variedad de obras generales de saneamiento de las cuencas interiores del Valle. Sin obviar la importancia y la magnitud de to-





da esta infraestructura hidráulica –que inició su construcción a finales del siglo XIX cuando el acueducto de Santa Fe fue demolido y dio paso al primer sistema de conducción y distribución de agua constituido por tubos de barro cocido, hierro, plomo y piedra, enterrados en el

subsuelo; y en donde, en el año de 1900 se inició, por el túnel de Tequixquiac, el drenado sistemático de las aguas residuales y pluviales de la cuenca del Valle de México– se puede pensar que la ingeniería ambiental en México tiene sus primeras obras cuando inicia la ope-

**Extracto de la exposición de motivos
Primer Plan de Estudios de la Licenciatura en Ingeniería Ambiental
Universidad Autónoma Metropolitana**

...

“Los problemas ambientales asociados con el deficiente abastecimiento de agua, la contaminación de lagos y ríos por descargas municipales, entre otros han sido atacados desde su aparición, por especialistas de ramas tan afines entre sí como la ingeniería sanitaria y la municipal, ambas muy orientadas hacia el saneamiento básico y la salud pública.

Por otra parte, los problemas de contaminación del agua causados específicamente por la industria, han sido abordados por ingenieros con diversas formaciones, tales como químicos, mecánicos, sanitarios y civiles.

En nuestro país, como consecuencia de la alta tasa de crecimiento demográfico, el continuo aumento del grado de urbanización y la concentración industrial, surge la necesidad de ocuparse de problemas de contaminación por ruidos y por radioactividad.

El reconocimiento de una temática mucho más amplia, han llevado forzosamente a una mayor especialización de las ingenierías existentes, así como a la creación de otras nuevas. Entre estas últimas está la ingeniería ambiental, cuyos profesionales deben ocuparse de los problemas mencionados con un enfoque integral, diferenciándose de la ingeniería sanitaria, la cual está actualmente definida como aquella que... “trata la solución de problemas relacionados con el abastecimiento y potabilización del agua, la evacuación y tratamiento de desechos líquidos y el control de la calidad de los cuerpos receptores...”.

El gobierno federal expidió en el año de 1970, la Ley Federal para prevenir y controlar la contaminación ambiental, la cual se apoya en sus reglamentos específicos. Esta acción gubernamental, se ha traducido en la estructuración de nuevos organismos o bien en la modificación de algunos ya existentes, encargados de aplicar la reglamentación.

En los sectores industriales y de servicio, a fin de cumplir con la Ley, se requieren de especialistas, contratados directamente o a través de oficinas de consultoría.

De este modo, los ingenieros ambientales disponen de un amplio campo de trabajo, tanto dentro de dependencias gubernamentales tales como las Secretarías de Salubridad y Asistencia, de Agricultura y Re-

ursos Hidráulicos, de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, entre otras, como el sector industrial incluyendo las empresas paraestatales como Petróleos Mexicanos.

Aunque aún no es posible cuantificar la demanda real de ingenieros ambientales en el futuro, es de suponerse que la propia actuación de los profesionales habrá de inducir mayor demanda de sus servicios para satisfacer cada vez mayor grado las necesidades del país.

Actualmente la formación de ingenieros ambientales se lleva a cabo sobre todo a través de programas de post-grado. Este enfoque presenta la indudable ventaja de permitir una buena especialización aprovechando los conocimientos previamente adquiridos en alguna otra rama de la ingeniería. Este tipo de formación no garantiza necesariamente una adecuada visión de conjunto, ni una verdadera identificación del campo ambiental.

Por otra parte, considerando que muchos de los programas requieren de soluciones inmediatas, e independientemente de la necesidad de seguir formando especialistas de todos los niveles, es muy importante hacerlo al de licenciatura, por el ahorro en tiempo que esto representa.

Dado el carácter multidisciplinario de esta problemática y de sus soluciones, es muy deseable, además de preparar formalmente a ingenieros ambientales, concientizar y orientar a los ingenieros de todas las ramas a fin de que en el desarrollo de sus proyectos y actividades consideren siempre la dimensión ambiental.

Nuestra [la] Universidad [Autónoma Metropolitana] es una institución nueva e innovadora, atenta a la resolución de los problemas nacionales por medio de la preparación de profesionales en diferentes áreas del conocimiento. Así, dentro de ella ha sido posible y altamente deseable la creación de una licenciatura como la de ingeniería ambiental, la cual tiene como objetivo la preparación de profesionales con capacidad para participar eficientemente en la evaluación y la solución técnica de los problemas ambientales antes mencionados, dentro del contexto de la realidad mexicana...”

México, D.F., Abril de 1979

ración de la planta de tratamiento de aguas residuales de Chapultepec en el año de 1956. Esta planta de tratamiento biológico, junto con las de Coyoacán y la de Ciudad Deportiva (que iniciaron sus operaciones en 1958 y 1959 respectivamente), marcan el inicio del uso de agua residual tratada en el riego de áreas verdes y llenado de lagos y canales.

También deben destacarse las acciones de los empresarios de la ciudad de Monterrey, N. L., quienes, para resolver el problema de abastecimiento de agua para sus industrias, constituyeron desde 1955 la primera compañía en América Latina encargada de suministrar agua residual tratada para este servicio: Agua Industrial de Monterrey, S. de U., que inicialmente atendió, con un flujo de 60 l/s las necesidades de la compañía Celulosa y Derivados (CYDSA) y, desde ese entonces, marcó en nuestro país la pauta para la reutilización y el uso eficiente del agua.

Con la industrialización del país a partir de 1940 iniciaron los problemas de contaminación atmosférica de las localidades urbano-industriales como la Ciudad de México y la de Monterrey. La calidad del aire urbano se deterioró significativamente en la década de los sesenta, situación que continuó empeorando en los setenta cuando se presentaron episodios ambientales en donde se reportaron, en la Ciudad de México, muerte de aves y contingencias asociadas a elevados niveles de contaminación atmosférica. Siguiendo de cerca lo que sucedía en otras latitudes, se publicó en 1971, la “Ley para prevenir y controlar la contaminación ambiental”, y a finales de ese año fueron emitidos sus primeros reglamentos. Los esfuerzos por abatir la contaminación del aire fueron aislados, hasta que a finales de los ochenta se desarrollaron e implantaron políticas y programas tendientes a mejorar los procesos de combustión en la industria, mejorar los combustibles, utilizar convertidores catalíticos y programas de verificación de emisiones vehiculares, protección de áreas verdes, control de erosión y otras más que, en su conjunto y después de más de dos décadas de aplicación, han arrojado resultados positivos en términos de la mejora que se tiene en la calidad del aire urbano.

Vale la pena hacer una mención especial al Plan Lago de Texcoco, instrumentado a partir de 1972, en el que se incorporaron técnicas de recuperación de suelo y control de erosión, de reforestación y cuidado de áreas verdes, así como el tratamiento de aguas re-

siduales para alimentar a lagos artificiales –actualmente también se suministra agua residual tratada para usos agrícolas, industriales y piscícolas–. Aun cuando sus alcances han sido limitados, este proyecto jugó un papel preponderante en la reducción de emisiones de partículas a la atmósfera y ha logrado el retorno de aves migratorias a los lagos artificiales, considerándosele un ejemplo de rescate ecológico realizado en nuestro país.

Hasta hace poco tiempo, los residuos sólidos municipales eran depositados en tiraderos a cielo abierto sin ningún control ni protección al público ni al ambiente. La primera obra de gran magnitud para el manejo de residuos sólidos municipales se realiza en la década de 1960 en la ciudad de Aguascalientes, Ags., donde se pone en operación el primer relleno sanitario del país. También por esas fechas se construyó la primera planta de producción de composta en la Ciudad de Toluca, Estado de México, a la que siguieron, en la década de 1970, plantas similares de composteo y reciclaje, para las ciudades de Guadalajara, Jal., Monterrey, N. L., y México, D.F. Sin embargo, estas plantas han dejado de operar por diversos problemas económicos y políticos. A partir de entonces, la construcción y operación de rellenos sanitarios se ha





Anza, Antonio M.

Ingeniero (1847-1925), n. y m. en la ciudad de México. Estudió en la Academia de San Carlos y en la Escuela de Minería. Desempeñó importantes cargos oficiales y construyó el pabellón mexicano en la Exposición Universal de París, de 1889. En México fue el primero en utilizar bóvedas invertidas en la cimentación (1892). Trabajó en el trazo y construcción del Ferrocarril Mexicano, construyó la penitenciaría del D. F. (1909) y continuó las obras del palacio legislativo (1927).

Aparicio, Fray Sebastián de

Colonizador y fraile (1502-1600). A él se debe, más que a ningún otro, la introducción, fabricación y tráfico de carretas en el siglo XVI, y la ampliación correspondiente de los caminos, de México a Puebla, a Xalapa, a Veracruz y a Zacatecas.

extendido en nuestro país, sobre todo en las ciudades mayores de 100 000 habitantes.

La legislación ambiental mexicana fue fortalecida en la década de 1980, cuando se publicó, en el año de 1988, la “Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente”. Esta ley y sus posteriores reformas dan sustento legal a instrumentos de política tales como la planeación ambiental, el ordenamiento ecológico del territorio, la evaluación del impacto ambiental y la identificación de riesgos ambientales, la auditoría ambiental y el cumplimiento de normas ambientales nacionales e internacionales. Este ordenamiento, en su última actualización incorpora además las temáticas del desarrollo sustentable y la educación ambiental como elementos de política prioritarios para el país, y realza la necesidad de la participación de ingenieros ambientales para atender los requerimientos que de ella emanan.

La formación de recursos humanos en ingeniería ambiental se inició, en México, en la década de 1970, con el programa de Ingeniería Sanitaria de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, en la Universidad Nacional Autónoma de México. Para 1974, en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, se lanzó el primer programa de licenciatura en ingeniería ambiental, el que desde sus inicios amplió la concepción del papel de esta ingeniería, y definió, con precisión y visión de futuro, el perfil de egreso de esta nascente disciplina. Actualmente hay más de tres mil

alumnos estudiando la licenciatura de ingeniería ambiental en treinta y un instituciones de educación superior en todo el país, y se tienen registrados más de 850 posgraduados inscritos en trece programas de maestría y tres de doctorado en esta disciplina, situación que pone de manifiesto las oportunidades de trabajo y el interés que despierta participar en la solución de problemas ambientales.

Principales logros de la ingeniería ambiental

Uno de los logros más importantes de la ingeniería en el siglo XX es el abastecimiento masivo de agua a centros de población; y no menos relevante ha sido la recolección y el tratamiento de las aguas residuales producidas después de haber sido utilizadas. Es difícil considerar la existencia de nuestra moderna vida urbana sin el suministro de agua potable. El impacto que tuvieron las obras de conducción y distribución de agua, en términos de la calidad y la esperanza de vida no es menor, aunque éste se puede considerar como un logro de la ingeniería civil. Sin embargo, el



desarrollo de los procesos de tratamiento de agua para consumo humano y, en particular, la operación de desinfección cae ya dentro del terreno de la ingeniería ambiental. El proceso de Lodos Activados, desarrollado inicialmente en Inglaterra en el año de 1913, es un paso fundamental en la evolución de la ingeniería ambiental, al incorporar los procesos de tratamiento biológico a las herramientas para controlar la contaminación de los cuerpos de agua. La diversificación y las continuas mejoras a los procesos de tratamiento biológico de aguas residuales que se han desarrollado recientemente, muestran que la ingeniería ambiental es una disciplina en constante evolución y desarrollo. Los procesos biológicos que



se utilizan actualmente, son más rápidos y efectivos, requieren menos energía y producen menores cantidades de residuos que, frecuentemente, son aprovechados en usos benéficos para el ambiente y para la sociedad.

La producción de agua dulce a partir de agua de mar, es otro logro que debe registrarse por su importancia en la búsqueda de soluciones al abastecimiento de agua. Se tiene registrado que la primera planta de desalación fue puesta en operación en Kuwait, en el año de 1960, utilizando el proceso de destilación flash multietapa. En esta categoría deben mencionarse también los procesos de membrana (como la ósmosis inversa) también desarrollados y aplicados para la desalación de agua salobre y de mar.

Del mismo modo, ha habido importantes logros y avances en las técnicas de medición y monitoreo de la calidad del aire, así como en los procesos de control y eliminación de contaminantes que se emiten a la atmósfera y que, en su conjunto, han permitido el establecimiento de ambiciosos programas de mejoramiento de la calidad del aire y, en general, del ambiente urbano. Destaca el papel que, a escala mundial, tuvo la gestión de la calidad del aire, logrando acuerdos y una serie de medidas —como el cambio de combustibles, mejoras tecnológicas en los motores de combustión interna, y el uso de convertidores catalíticos— que produjeron un impacto mayor en la reducción de los niveles de plomo en la atmósfera mejorando sensiblemente la salud de miles de personas. Acciones similares lograron que se redujera la exposición de los trabajadores y la población en general

a otros compuestos de plomo que se utilizaban en infinidad de aplicaciones y productos industriales, teniendo un efecto significativo en la mejora de la calidad de vida.

La concientización de los efectos ambientales globales derivados de la medición de los efectos de los gases de invernadero y de las evaluaciones de impacto y riesgo ambiental, han ayudado a que

se tenga una actitud cada vez más responsable y comprometida con la protección del ambiente y la sustentabilidad. La ingeniería ambiental, con su enfoque interdisciplinario, ha tendido los puentes de comunicación entre científicos sociales y técnicos para facilitar el camino del cambio de actitud hacia el cuidado del ambiente, ha propiciado la reducción de emisiones de contaminantes, la reutilización y el reciclado de productos, y ha colaborado para evaluar objetivamente los efectos que producen las actividades humanas sobre el ambiente.

Especialidades de la ingeniería ambiental

En ingeniería ambiental se resuelven los problemas aplicando un enfoque interdisciplinario basado en las ciencias naturales y en las ciencias de la tierra, e incorporando los métodos y técnicas de la ingeniería y otras ciencias aplicadas (Tabla 1). Para realizar su labor, el ingeniero ambiental debe combinar todo su bagaje científico y tecnológico, con una sensibilidad para entender los problemas sociales, y con un amplio conocimiento de las normas técnicas y

*Foto 3
Reciclador*

GLOSARIO

Autómata

Equipo electrónico programable en lenguaje no informático y diseñado para controlar procesos secuenciales en tiempo real y en el ambiente industrial. Sin embargo, la rápida evolución de los autómatas hace que esta definición no esté cerrada. En ocasiones esta palabra también se emplea para referirse a un robot.

Automatización

mecanización de la producción de bienes y servicios. Banda de conducción: niveles de energía no ocupados hacia los cuales saltan electrones excitados para proporcionar conductividad. Barreno: perforación en las rocas para detonarla posteriormente con explosivos.

Base de datos

Conjunto de datos que pertenecen al mismo contexto almacenados sistemáticamente para su uso posterior. También puede llamarse “banco de datos”.

Arana, Alejandro de

Oficial del ejército español que intervino para mejorar la red de caminos a fines del siglo XVIII.

Arriaga, José Joaquín

Ingeniero (1831-1896). Miembro activo de varias asociaciones científicas del país y de la Academia de Ciencias Naturales de Filadelfia. Fundador de la *Revista Universal*. Es autor de una colección de cuentos de inspiración científica formada por doce tomos bajo el título *La ciencia recreativa*, colección dedicada a los niños.

de la legislación ambiental, puesto que le corresponde el papel de llevar a la práctica las soluciones a los problemas de contaminación del agua, suelo y aire, que cada vez están más regulados, e impactan de manera importante el bienestar social, la salud de la población y el manejo de los recursos naturales.

De aquí se desprenden las dos grandes especialidades de la ingeniería ambiental:

- la prevención y control de la contaminación, y
- la gestión o administración ambiental.

La especialidad de prevención y control de la contaminación podría subdividirse de acuerdo con el origen de los contaminantes a manejar (municipales o industriales), o bien, considerando el medio al que afectan los contaminantes (agua, aire o suelo). Tradicionalmente, en esta vertiente se enfatizan los métodos y procesos de tratamiento y disposición de contaminantes líquidos, sólidos y gaseosos, así como las medidas de restauración de los componentes del ambiente físico. Actualmente en esta especialidad se han abierto importantes campos de acción relacionados con el reciclado y el reúso de productos, la descontaminación de sitios y la restauración ambiental.

La especialidad de gestión ambiental se orienta al desarrollo y aplicación de planes, programas y estrategias para la solución de problemas ambientales. Se caracteriza por la aplicación de las técnicas para la identificación y evaluación de impactos y riesgos ambientales a nuevos proyectos industriales y desarrollos urbanos. También se dedica a la elaboración y actualización de planes de ordenamiento ecológico del territorio. La modelación matemática de sistemas ambientales y el transporte de contaminantes en el ambiente, es una de las nuevas áreas de desarrollo, en la que se basan los programas de gestión. Los programas de prevención y

minimización de la contaminación, así como los de cumplimiento de las normas ambientales (que dan lugar a la auditoría ambiental) son también una componente importante de esta especialidad.

Las oportunidades de trabajo en ingeniería ambiental

Hablar de la importancia de la protección del ambiente ahora es lugar común y, para muestra basta mencionar que en el Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2001-2006, se considera este tema como estratégico para el desarrollo del país. El mismo programa menciona que la gestión ambiental ha evolucionado a partir de su original enfoque sanitario, orientado exclusivamente al control de la contaminación del agua, aire y suelos, a un enfoque de sustentabilidad, participación social y protección del equilibrio ecológico. Esta tendencia se ha consolidado, y en el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012, el tema de sustentabilidad ambiental se ha elevado al nivel de eje de política pública, destacando la importancia que la temática de la protección ambiental ha cobrado actualmente y que se prevé será cada vez más importante.

En cuanto a la reducción de la contaminación del aire, agua y suelo, las tareas de los ingenieros ambientales serán en las siguientes vertientes: la atención de los pasivos ambientales derivados de décadas de inadecuadas prácticas de producción; la aplicación de medidas para minimizar los contaminantes que se siguen emitiendo al ambiente; la reutilización y el reúso de materias y productos en todas las actividades y aplicaciones donde sea posible; y la participación en la mejora de los procesos y métodos aplicados por las industrias del reciclado de materiales.

Para aquellos residuos que no tengan posibilidades de reúso o reciclado, y para todos aquellos residuos clasificados como peligrosos será necesario aplicar métodos apropiados para su disposición final, de manera que no se reincorporen contaminantes al ambiente.

El monitoreo ambiental y la aplicación de programas de gestión de estos sitios de disposición fi-

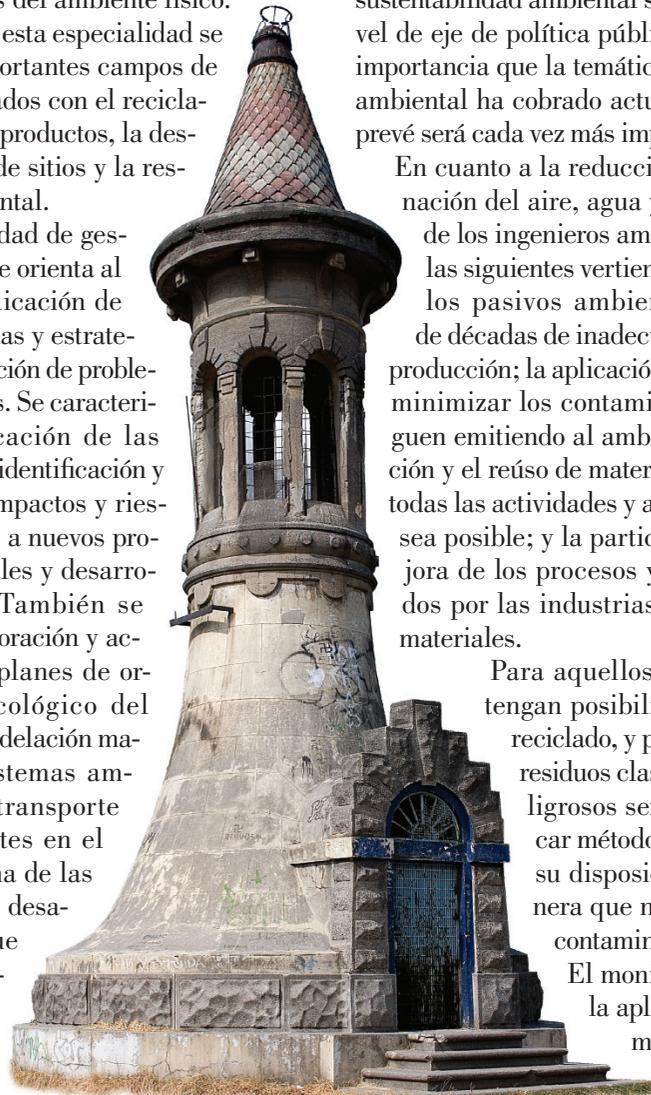




TABLA 1 CIENCIAS QUE LA INGENIERÍA AMBIENTAL APLICA PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS	CIENCIAS DE LA TIERRA	CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y AFINES
<ul style="list-style-type: none"> • Matemáticas • Física • Química • Biología 	<ul style="list-style-type: none"> • Geografía • Geología • Geofísica • Geoquímica • Edafología • Meteorología • Climatología • Química atmosférica • Hidrología • Limnología • Oceanografía • Ecología 	<ul style="list-style-type: none"> • Hidráulica • Fenómenos de transporte • Ingeniería de procesos • Ingeniería de sistemas • Bioquímica • Biotecnología • Epidemiología • Toxicología

nal requerirá de personal entrenado para ponerlos en práctica.

El manejo y tratamiento de residuos sólidos municipales es un problema amplio y complejo que, en nuestro país requiere de la atención de personal capacitado, y necesita de nuevos y mejores métodos para enfrentar los problemas de una población urbana cada vez mayor.

Los estudios de impacto y riesgo ambiental seguirán siendo actividades importantes para los ingenieros ambientales. Es importante señalar que en este tema se requiere el desarrollo de nuevas y mejores metodologías que incorporen el potencial del modelado de sistemas a la evaluación cada vez más precisa de impactos y riesgos ambientales.

La implantación y operación de sistemas de gestión ambiental, serán acciones de los ingenieros ambientales que redundarán en mejoras del desempeño y fomentará la responsabilidad ambiental de las empresas. También, seguirán participando en el diseño de políticas públicas, programas y estrategias para armonizar el desarrollo económico con el cuidado del ambiente, incorporando las

herramientas de la profesión en el proceso de planeación.

En cuanto a la investigación, el desarrollo de nuevos y mejores procesos de tratamiento y manejo de los contaminantes y residuos (líquidos, sólidos y gaseosos) que se producen por los nuevos procesos productivos, así como el estudio de los efectos que éstos puedan tener, representa un amplio campo de acción para los futuros ingenieros ambientales. Por mencionar sólo algunos ejemplos, será necesario evaluar el efecto ambiental de los disruptores endocrinos, las hormonas sintéticas y los nanomateriales, que se están utilizando ya en forma generalizada en nuestro mundo actual.

En síntesis, el diseño y operación de sistemas de tratamiento de residuos, la descontaminación y restauración ambiental, el reciclaje y el reúso de materiales, la minimización y prevención de la contaminación ambiental, así como el uso de metodologías de identificación y evaluación de impactos y riesgos ambientales, la gestión y la administración ambiental, así como la investigación y desarrollo para mejorar los procesos utilizados, son y serán el campo de acción de esta disciplina de la ingeniería.

GLOSARIO

Beneficio mineral

Operaciones metalúrgicas con objetivo de producir metales o concentrados de valor económico a escala industrial.

Biodegradable

Capaz de descomposición por materia viva.

Bioingeniería

Actividad orientada a la investigación básica, estrechamente relacionada con la biotecnología y con la ingeniería genética. Se ocupa de la modificación de células animales y vegetales, o partes de ellas, buscando una mejora en los organismos.

Biomagnetismo

Es el magnetismo generado por los seres vivos, por ejemplo, la diferencia de potencial a través de las membranas celulares. También se ha usado esta palabra en referencia al estudio de los efectos de los campos magnéticos sobre los organismos.

