

MODULO AMBIENTAL PARA EL DESEMPEÑO EN INGENIERIA QUIMICA

*Alejandro Ospina T.
Humberto Riveros R.
Iván García Q.
Diana M. Guío T.*

los cambios de esquemas y de actitudes, a las potencialidades de reducción o eliminación de los efectos indeseables sobre el medio ambiente.

ANTECEDENTES

El Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior, ICFES, a más de ser el ente rector de la educación superior en Colombia, oficina de punto focal, en el país, de la Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe, establecida por el PNUMA para impulsar e incentivar sus labores en la región. Dentro del propósito de incorporar la dimensión ambiental en la educación superior, dicho Instituto está desarrollando el Programa de Capacitación Ambiental dirigido a los profesores universitarios, conforme a los diagnósticos realizados en los diferentes seminarios adelantados con tal objeto.

Del foro de expertos realizado para la ejecución de la primera fase planeada para el desarrollo de este programa (Diciembre 16 de 1991), surge la necesidad de contar con diferentes módulos que apunten a la capacitación buscada. Dentro de ellos se prevé la elaboración de un Módulo Ambiental de desempeño profesional dirigido a la carrera de Ingeniería Química, en razón de la percepción de que en su ejercicio se encuentran acciones impactantes, en cuanto a las posibilidades de generación y, también, a través de

El Departamento de Ingeniería Química, de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional de Colombia, sede de Bogotá, se ha vinculado a este propósito, bajo la coordinación de los autores de este artículo y con la colaboración de la mayoría de los docentes adscritos al mismo. Es así como se ha culminado la elaboración del instructivo correspondiente, parte del cual es el componente esencial de esta publicación.

OBJETIVO

(Tomado textualmente de los términos de referencia del ICFES, de enero de 1992) «Lograr que los docentes universitarios reflexionen sobre su profesión, incluyan la Dimensión Ambiental en su quehacer y realicen acciones a corto y mediano plazo tendientes a formar al nuevo profesional dentro del marco de la interpretación, la planeación, el ordenamiento, y el desarrollo sustentable y por lo tanto contribuyan a mejorar la calidad de vida. Si el nuevo profesional integra la Dimensión Ambiental en su labor, adquiere un sistema más amplio de valores tanto éticos como económicos, estéticos, socioafectivos y de sensibilización y responsabilidad hacia su entorno.»

ESQUEMA DE APLICACION DEL MODULO

Para la aplicación de las diferentes componentes del módulo, se pretende actuar con los docentes en tres etapas sucesivas. El esquema de aplicación del módulo se presenta en la Figura 1.

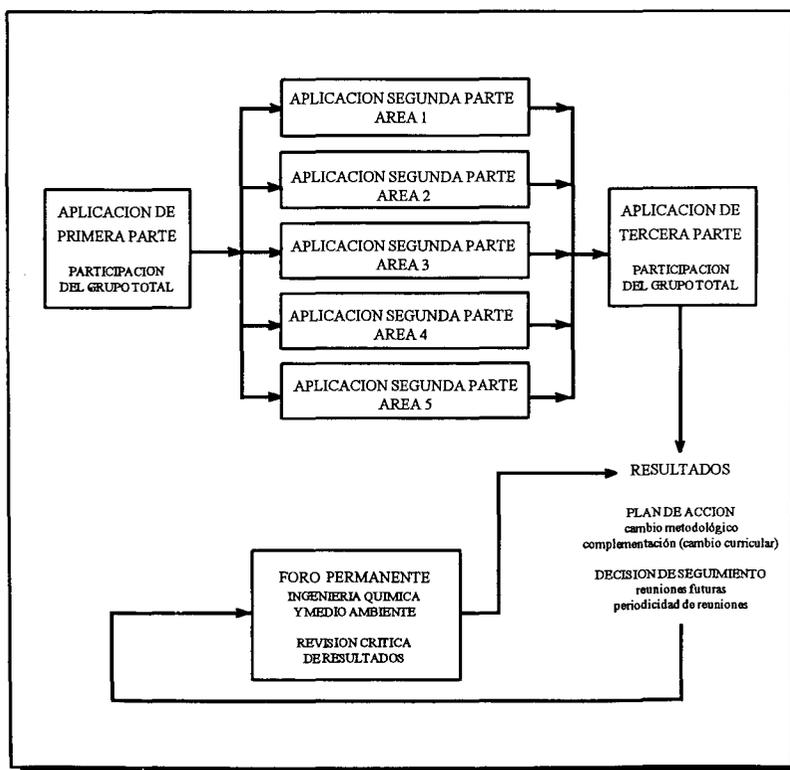
Una primera etapa dentro de un taller, con participación de todo el grupo de docentes de la carrera, dentro de la universidad en cuestión, de la que se espera la compenetración de los mismos con la realidad de los efectos negativos que los procesos de transformación físico-química, propios de las ejecutorias de los profesionales de esta rama de la ingeniería, ocasionan sobre el medio ambiente; también el logro de la visión del efecto global ambiental, en sus aspectos físicos y en sus aspectos sociales, junto con las repercusiones económicas en el mediano y largo plazos, y de la necesidad de un esquema de producción industrial sustentable.

A continuación, la segunda etapa correspondería a reuniones paralelas y simultáneas para cada una de las áreas curriculares de la carrera, con participación de los docentes correspondientes a ellas, dentro de las cuales se buscaría el reconocimiento de la ubicación de la generación y control de los diferentes tipos de contaminación dentro del conjunto de las operaciones y procesos típicos (unitarios) de la ingeniería química; también la identificación de las condiciones micro y macroeconómicas, dentro de las que se insertan las actividades de las industrias, en dos escenarios excluyentemente factibles: sin controles estrictos para las cargas contaminantes generadas (pero con inclusión de consideraciones de los costos sociales que, en este escenario, se ocasionan) y con controles de tales cargas en un esquema de producción y desarrollo sustentables. En fin, la comprensión de las posibilidades de

involucrar las consideraciones ambientales en cada una de las diferentes áreas componentes del curriculum de la carrera de ingeniería química.

Finalmente, una tercera etapa que, como la primera, habrá de contar con la asistencia de todos los profesores participantes en el ofrecimiento del curriculum, en la cual se habrá de lograr el reconocimiento de pautas generales, orientadas hacia reenfoques o cambios de metodologías para incorporar la dimensión ambiental dentro de las actividades docentes cotidianas, dentro del curriculum existente en la actualidad. Además se intenta en esta etapa la identificación de vacíos dentro del curriculum de la carrera de ingeniería química que pudieran justificar una reforma al mismo, así como el logro del reconocimiento de la necesidad del trabajo continuado y crítico para la redefinición de metas, revisión de experiencias en la docencia y seguimiento de los trámites administrativos que se requirieren para la modificación del curriculum, con decisión acerca de la periodicidad de realización de foros o seminarios dentro de los cuales se atiendan tales acciones.

Figura 1. Esquema de aplicación del módulo.



EJEMPLO DE UNO DE LOS COMPONENTES DEL MODULO 2: AREA DE OPERACIONES DE TRANSFERENCIA

INTRODUCCION

El área de operaciones de transferencia puede ser considerada como eje central en el desarrollo del plan de estudios de Ingeniería Química. Es en sus asignaturas componentes en donde se imparten los conocimientos que

Con reuniones paralelas y simultáneas para cada una de las áreas curriculares de la carrera, y la participación de los docentes correspondientes a ellas, se buscará el reconocimiento de la ubicación de la generación y control de los diferentes tipos de contaminación dentro del conjunto de las operaciones y procesos unitarios de la ingeniería química.

establecen cómo se transforman materias primas y otros insumos en productos terminados. Tales transformaciones son posibles a través de una sucesión de etapas que pueden ser de naturaleza física o consistir en cambios químicos. En cada etapa puede haber una o más corrientes de entrada o de salida y la sucesión de etapas puede estar articulada en un proceso por cochedas o en un proceso continuo.

Ya sea en operaciones físicas o en procesos químicos, con la obtención de uno o más productos, particularmente en los procesos por cochedas y algunos continuos, es inevitable la ocurrencia de corrientes que no son de interés y que por tal razón son consideradas corrientes de desechos. Si anteriormente el destino de estas últimas corrientes no era motivo de preocupación, actualmente sí lo es, pues su efecto acumulativo en el tiempo permite observar cambios significativos en el medio ambiente. En las dos últimas décadas gran cantidad de literatura científica, técnica y no técnica, numerosos congresos y conferencias y muchas noticias de prensa, radio y televisión están informando permanentemente de acontecimientos que ponen de relieve el deterioro ambiental.

Es así como se sabe, por ejemplo, que el exceso de anhídrido carbónico y de otros gases responsables del efecto invernadero está acelerando el calentamiento global, que los compuestos fluorocarbonados están agotando la capa protectora de ozono en la atmósfera, que el exceso de agroquímicos (abonos, pesticidas, etc) y otras descargas de origen industrial (metales pesados, variados compuestos orgánicos, etc), están contaminando y degradando suelos y depósitos y corrientes de agua y llegan, inclusive, a contaminar los alimentos.

Como una parte significativa de la emisión de estos y otros contaminantes se origina en las actividades propias de la Ingeniería Química, puede decirse que al ingeniero químico le cabe una correspondiente cuota de responsabilidad en el problema. Para enfrentar de la mejor manera esta situación se hace conveniente y necesario que los futuros egresados de Ingeniería Química sean educados en una cultura proambiental que les lleve a tomar conciencia de que sus acciones deben ser compatibles con planes de desarrollo sostenible y equilibrado con el medio ambiente.

En lo que sigue y, en concordancia con este último planteamiento, se proponen a los docentes del área de operaciones de transferencia algunas consideraciones que buscan facilitar la incorporación de una componente ambiental en los diferentes cursos o asignaturas que la integran. Se trata de sugerencias propuestas a tres niveles:

1. Presentación de casos en los que operaciones y procesos en instalaciones industriales existentes originan corrientes ambientalmente indeseables.
2. Presentación de operaciones y procesos que puedan ser utilizados en métodos y sistemas de control de contaminación ambiental.
3. Inserción dentro de los temas del área de operaciones de transferencia de anotaciones y referencias que permitan relacionar el contenido de los programas con la temática ambiental.

De ninguna manera se pretende interferir el desarrollo de los programas con estas sugerencias. Desde luego que los docentes podrán juzgar lo apropiado y oportuno de ellas y, en caso de que así lo estimen conveniente, podrían desarrollar metodologías propias para incorporar la dimensión ambiental en la enseñanza de la Ingeniería Química.

CASOS DE OPERACIONES Y PROCESOS QUE GENERAN CORRIENTES CONTAMINANTES

El propósito de esta sección es el de que el docente pueda mostrar al estudiante algunos ejemplos típicos sobre operaciones y procesos químicos que suelen originar corrientes contaminadas y contaminantes con referencia a algunas industrias representativas de nuestro medio.

De esta presentación no se debe inducir un rechazo a las operaciones que generan corrientes contaminantes. Por el contrario, se busca que el ingeniero químico tome conciencia clara de esta situación y, por tanto, ponga en consideración la toma de acciones para eliminar o mitigar el efecto de deterioro que de otra manera tendrían esas corrientes al ser arrojadas al medio ambiente. El que una corriente llegue a tener efectos nocivos y degradantes para el medio ambiente no reside únicamente en su constitución o naturaleza sino en

el manejo (más o menos adecuado o seguro) que se haga de ella.

En la descripción que se hace a continuación se consideran las operaciones físicas en un sentido muy amplio en relación con el número que de ellas se hace mención en cursos de operaciones unitarias.

MANEJO DE SÓLIDOS

En general las operaciones de manejo de sólidos, especialmente la reducción de tamaño (trituration y molienda), el almacenamiento, el transporte y el empaque, son generadoras de corrientes ambientalmente indeseables. Este aspecto se observa comúnmente en industrias de minería extractiva, de siderurgia, de cemento, de cerámica, de caucho, de pinturas, de plásticos, centrales térmicas a base de carbón y ciertos tipos de procesadoras de alimentos (trilladoras, harineras, etc.). En esas operaciones se producen materiales finamente divididos cuyo manejo puede escapar al control y constituirse en contaminantes de la atmósfera, ocasionando (algunos de ellos) problemas de salud (silicosis y otras enfermedades) entre personal de operarios, trabajadores y residentes en zonas cercanas y daños a la vegetación y al paisaje de zonas aledañas.

También se producen residuos sólidos en operaciones como el pelado, descascarado y limpieza de ciertos vegetales (papa, café, etc.) que son usados en fabricación de alimentos procesados. Los residuos resultantes, aunque no son tóxicos, pueden ser contaminantes si no se les dispone o utiliza apropiadamente.

El que una corriente llegue a tener efectos nocivos y degradantes para el medio ambiente no reside únicamente en su constitución o naturaleza sino en el manejo (más o menos adecuado o seguro) que se haga de ella.

El efecto más crítico del proceso de combustión es la emisión de dióxido de carbono, principal responsable del efecto de invernadero, causante del calentamiento global.

MANEJO DE FLUIDOS

La aparición de corrientes contaminantes en operaciones de manejo de fluidos está básicamente asociada con los escapes que pueden ocurrir en las tuberías de conducción, en los sellos de las válvulas, compresores y bombas y también en operaciones de muestreo. La alta presión de vapor de muchos compuestos producidos en la refinación del petróleo o utilizados en las industrias de plásticos y de pinturas explica su presencia en la atmósfera. Estos compuestos, generalmente de naturaleza orgánica, ocasionan enfermedades de ojos, piel y del tracto respiratorio. Algunas de esas sustancias son cancerígenas y mutagénicas.

Cuando los escapes ocurren en tuberías subterráneas puede tener lugar contaminación de suelos y fuentes de agua.

COMBUSTION

El efecto más crítico del proceso de combustión es la emisión de dióxido de carbono, principal responsable del efecto de invernadero, causante del calentamiento global. Otros efectos se deben al contenido de azufre (piritas, compuestos orgánicos y ácido sulfhídrico) que se oxida hasta dióxido de azufre; este gas emitido a la atmósfera se transforma en partículas de sulfatos o ácido sulfúrico que al precipitar dan carácter ácido a algunas lluvias lesivas para la vegetación y la fauna acuática. Proveniente también de la combustión es el «smog» fotoquímico, una nube gris y densa que aparece sobre ciudades con elevado número de vehículos; los gases de la combustión producen óxido

nítrico, que en presencia de luz reacciona con hidrocarburos presentes en la atmósfera, generando ozono y otros gases dañinos para la respiración y la vegetación (es de advertir la importancia del ozono como filtro de las radiaciones peligrosas que inciden en el globo terráqueo, papel que realiza en las capas altas de la atmósfera, pero a nivel de la superficie su presencia es nociva). Adicionalmente, el monóxido de carbono emitido por la combustión incompleta, al ser respirado, disminuye la asimilación de oxígeno por la sangre.

OPERACIONES SOLIDO-LIQUIDO

La operación de sedimentación produce habitualmente volúmenes apreciables de sólidos (lodos) como puede evidenciarse en plantas de tratamiento de efluentes líquidos. En una gran cantidad de industrias (productos cerámicos, alimentos, cervecera y destilerías, plásticos, pulpa y papel y productos químicos misceláneos) se practica la filtración, ya sea para separar sólidos de una corriente líquida o para eliminar líquido de una suspensión de sólidos. En cada caso se produce una corriente sólida o líquida cuyo destino final puede ser fuente de problemas ambientales. Otras operaciones, la evaporación y la cristalización producen corrientes líquidas (licores y aguas madres) concentradas y por ende, contaminantes como ocurre en la producción de sal de mesa y de azúcar de caña. Las operaciones de perforación en campos petroleros generan contaminación por residuos sólidos y líquidos (lodos de perforación).

OPERACIONES LIQUIDO-GAS

La destilación (en procesos de cochada y algunos continuos) produce residuos contaminantes, generalmente productos de fondo. Tales son los casos de la destilación y rectificación. En la producción de etanol por fermentación se producen vinazas y flemazas que son corrientes calientes de alta carga orgánica (alcoholes, cetonas, ácidos, hidrocarburos). Algo similar ocurre en la producción de metanol y de ácidos grasos; en este último caso se obtienen mezclas de glicéridos, jabones, aldehidos, etc.

En la producción de ácido sulfúrico la torre de absorción permite el escape al aire de dióxido de azufre con la corriente gaseosa. También ocurren escapes con una gran variedad de aditivos en las torres de despojamiento de las industrias de caucho y detergentes; algunos de estos aditivos son carcinógenos.

OPERACIONES SOLIDO-GAS

La principal operación gas - sólido, el secado, causa la presencia de material particulado con el efluente gaseoso en industrias de cemento, caucho y plásticos. Otra operación que produce residuos sólidos es la de separación de polvo (separadores electrostáticos, ciclones, precipitadores por gravedad).

OPERACIONES VARIAS

Existe un gran número de operaciones (no típicas o clásicas) que son fuente de corrientes ambientales indeseables. La mención que aquí se hace cubre apenas una mínima parte de ellas.

La operación de extrusión en la producción de caucho y plásticos genera gran cantidad de residuos sólidos. También se producen residuos sólidos en operaciones de mezclado y tanques de agitación como ocurre en la industria de pinturas.

En la operación de pulpeado en la industria de pulpa de papel se producen emisiones contaminantes. En el digestor y en el lavador se produce dióxido de azufre que es liberado a la atmósfera. El tamizado y evaporación del baño (contiene sulfitos, sulfatos, soda, ácidos y solventes orgánicos) genera también contaminación. Igual fenómeno ocurre en el blanqueo de la pulpa con los compuestos de cloro usados.

En el procesamiento de productos lácteos se usa una gran cantidad de agua (entre 2 y 5 veces el volumen de leche procesada) en operaciones de lavado de equipos, de enfriamiento, de calentamiento, etc; los efluentes líquidos de este proceso tienen una alta carga orgánica.

Una industria particularmente lesiva al medio ambiente es la de curtiembres. No tiene

prácticamente operación ni proceso que no contamine. La gran variedad de reactivos usados (cal, solventes orgánicos, polímeros, grasas, colorantes, curtiembres, etc.) y la operación de lavado de equipos en un proceso por cochadas son fuentes de residuos sólidos (pelambre, recortes de piel, reactivos, etc) y líquidos (baños soluciones, etc).

PROCESOS QUIMICOS

Se mencionan aquí sólo algunos considerados ilustrativos de reacciones químicas generadoras de corrientes contaminantes.

La industria de plásticos usa agua, como agente emulsificante o solvente, en los reactores de polimerización en suspensión o en emulsión. Al abandonar el reactor la corriente líquida arrastra fracciones de los diferentes aditivos (solventes, iniciadores, plastificantes, emulsificantes, estabilizadores, etc), usados en el proceso. Esta corriente es, entonces, altamente contaminante. Otra corriente también contaminante, proveniente de los reactores de polimerización, es la del gas que sale por los orificios de venteo; este gas arrastra muchos aditivos, principalmente aquellos componentes de presión de vapor elevada.

Como corrientes efluentes del reactor además deben considerarse los residuos sólidos de catalizador y materiales de relleno que también son contaminantes.

En la industria siderúrgica los procesos de sinterización y del alto horno, así como el proceso de reducción directa, producen gases y material particulado que salen a la atmósfera generando contaminación. También se usa agua para refrigeración y purificación de gases en el alto horno; esta corriente de agua, al ser evacuada, aporta contaminación térmica y por material particulado. El alto horno genera, además, residuos sólidos, escoria y lodos que contienen álcalis y metales.

Las industrias que usan procesos electrolíticos (baterías de plomo y celdas de mercurio en la obtención de cloro e hidróxido de sodio) pueden emitir estos metales pesados al medio ambiente por manejo inadecuado. Un fenómeno similar ocurre en las industrias de revestimientos metálicos (cromado y niquelado).

OPERACIONES Y PROCESOS USADOS EN CONTROL DE CONTAMINACION

No deja de ser curioso que siendo la práctica de la Ingeniería Química una circunstancia pródiga en acciones que atentan contra la calidad del medio ambiente, sea ella también una disciplina en cuyos principios se apoyan variados métodos de control y mitigación de situaciones de deterioro de nuestro entorno.

En la sección anterior se hizo énfasis en el papel de varias operaciones y procesos de Ingeniería Química como generadores de corrientes ambientalmente indeseables. Ahora se tomarán estos elementos en cuanto pueden ser utilizados en métodos de uso difundido para el control de la contaminación ambiental. Se requiere aquí que, según sea el grupo de operaciones de transferencia, el respectivo docente genere la mejor metodología (tareas, exposiciones, conferencias, etc) para presentar el tema, dado que algunas de las operaciones puestas en consideración no suelen ser tratadas con las de tipo tradicional en los programas de asignaturas del área de operaciones. En menor escala algo similar podría decirse de los procesos de reacción.

Por comodidad, la presentación del uso de operaciones y procesos en el control de contaminación se hará considerándola en tres niveles tradicionales: aire, agua y por desechos sólidos.

AIRE

Las emisiones de materiales contaminantes al aire son de dos tipos:

- a. Materiales finamente divididos (particulados): Sólidos, como polvo, humo, cenizas o líquidos, atomizados o como neblinas. Su naturaleza puede ser química (ácidos, sales, metales., etc) o biológica (polen, virus, bacterias, etc.).
- b. Gases (óxidos de azufre y de nitrógeno, hidrocarburos, monóxido y dióxido de carbono, ácido sulfhídrico, ozono, etc.).

Estas emisiones pueden tener causas naturales o pueden ser originadas por el hombre. Aunque la atmósfera tiene mecanismos naturales de depuración del aire (dispersión, sedimentación, absorción, adsorción, lluvia, etc.), el enfoque presentado en esta sección se dirige a las operaciones diseñadas por el hombre para controlar las fuentes generadoras.

CONTROL DE MATERIAL PARTICULADO

Las operaciones más comúnmente usadas en la retención de material particulado son la precipitación por gravedad, la centrifugación, la colección húmeda (torres de atomización, ciclones depuradores), la precipitación electrostática (basada en la atracción de partículas por su carga) y la filtración mediante telas.

En la tabla 1 se presentan algunos ejemplos de aplicación de estas operaciones.

CONTROL DE GASES

La mayoría de los procesos actualmente disponibles para el control de las emisiones gaseosas a la atmósfera (principalmente óxidos de azufre y nitrógeno, hidrocarburos, ácidos inorgánicos y orgánicos, ozono), se basan en operaciones como la absorción, adsorción, condensación y combustión.

En la operación de absorción los gases se retiran con solventes líquidos como amoníaco y soluciones acuosas de óxido de magnesio o de calcio, de carbonato de calcio y de hidróxido de magnesio. Los equipos usados son torres de atomización, torres empacadas o de platos y depuradores (Scrubbers).

INDUSTRIA	FUENTE EMISORA	MATERIAL PARTICULADO	METODO DE CONTROL
Acerías	altos hornos sinterizadores hornos de acero	óxido de hierro polvo, humo	ciclones, precipitadores electrostáticos, filtros de mangas, colectores húmedos.
Metalurgia no ferrosa	hornos y fundiciones	humos metálicos, aceites, grasas	precipitadores electrostáticos, filtros de lona.
Refinerías	regeneradores catalíticos, incineradores de lodos.	polvos catalíticos, cenizas	ciclones, precipitadores electrostáticos, depuradores, filtros de lona.
Cemento	hornos, secadores y sistemas de manejo de materiales.	álcalis y polvos de proceso	filtros de tejidos, colectores de gravedad, precipitadores electrostáticos.
Pulpa de papel	hornos de recuperación, tanques de fusión.	polvos químicos.	precipitadores electrostáticos y depuradores de venturi.
Acidos sulfúrico y fosfórico	procesos térmicos, molienda, acidulación	polvo y neblinas ácidas.	Precipitadores electrostáticos, mallas eliminadoras de neblina.
Vidrio y fibra de vidrio	hornos de formado y curado, manejo	neblinas ácidas, óxidos, polvos aerosoles	filtros de tela, posquemadores.

*Tabla 1.
Aplicaciones típicas
de operaciones a
control de
contaminación
atmosférica por
material
particulado.
Fuente: Peavy, H.,
Rowe, D. &
Tchobanoglous, G.,
Environmental
Engineering., Mc
Graw Hill Book Co,
N.Y., 1985.*

En la operación de adsorción los gases son retenidos por adsorbentes sólidos (carbón activado, alúmina, bauxita, sílica gel, tamices moleculares, etc). Los equipos de adsorción pueden ser de lecho fijo o de lecho fluidizado.

La combustión suele ser usada para eliminar hidrocarburos y monóxido de carbono. Se efectúa por llama directa (teas) como combustión térmica o combustión catalítica. Esta última operación se suele practicar para el control de emisiones gaseosas de fuentes móviles (vehículos automotores).

AGUA

Las corrientes líquidas efluentes generadas en actividades domésticas, industriales o de otra índole, normalmente tienen como destino un depósito o una corriente de agua. Por ello, en la medida en que un vertimiento líquido cambie significativamente las características naturales del

agua, puede decirse que hay contaminación de la misma. Esta contaminación se puede medir por medio de una serie de parámetros físicos, químicos y biológicos.

La medición de los parámetros y la utilización de recursos de la química analítica permiten establecer el tipo y cantidad de la contaminación y determinar las acciones a tomar para un control adecuado de la misma.

La tabla 2. muestra las características físicas, químicas y biológicas de aguas contaminadas y las posibles fuentes de origen.

Muchos de los contaminantes relacionados en la Tabla 2.3. están presentes en las aguas superficiales (mares, lagos, ríos) desde mucho tiempo antes de la aparición del hombre. La existencia de ciertos procesos naturales de purificación (físicos, químicos y biológicos) es una de las razones de supervivencia de muchas formas de vida dependientes del agua.

Estos procesos naturales ya no son suficientes para la depuración de las aguas. La producción industrial de los países desarrollados ha multiplicado el número de productos químicos con muy variados campos de aplicación cuyo destino final es una fuente de agua. La consiguiente aparición de niveles de contaminación acuática no observados antes ha llevado al hombre a crear y practicar métodos de tratamiento y depuración para disponer de agua de buena calidad.

Por su naturaleza estos métodos se pueden clasificar principalmente como fisicoquímicos y biológicos. Se usan además métodos de carácter netamente físico como el tamizado, el mezclado y la compensación de carga orgánica.

Un sistema de tratamiento generalmente combina varios métodos. Los métodos fisicoquímicos están basados en operaciones como coagulación y floculación, sedimentación, flotación, filtración, transferencia de gas

CARACTERISTICAS	FUENTE
<p>Físicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - color - olor - sólidos - temperatura 	<p>Desechos industriales y domésticos. Descomposición natural de materia orgánica.</p> <p>Desechos industriales y descomposición de materia orgánica.</p> <p>Desechos industriales y domésticos. Erosión de tierras</p> <p>Desechos industriales y domésticos.</p>
<p>Químicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Orgánicas: <ul style="list-style-type: none"> . Carbohidratos proteínas grasas y aceites . Fenoles . Surfactantes . Pesticidas - Inorgánicas: <ul style="list-style-type: none"> . Alcalinidad . Cloruros . Dureza . Metales . PH . Nutrientes . Azufre . Tóxicos . Acido sulfhídrico . Metano - Biológicas: <ul style="list-style-type: none"> . Bacterias . Virus . Algas 	<p>Desechos industriales, comerciales y domésticos.</p> <p>Desechos industriales</p> <p>Desechos industriales y domésticos</p> <p>Desechos agrícolas</p> <p>Infiltración de agua subterránea. Desechos industriales y domésticos.</p> <p>Desechos domésticos, infiltración ,suavizadores de agua.</p> <p>Desechos industriales, infiltración.</p> <p>Desechos industriales</p> <p>Desechos industriales</p> <p>Desechos domésticos y agrícolas</p> <p>Desechos industriales</p> <p>Desechos industriales</p> <p>Descomposición de desechos domésticos</p> <p>Descomposición de desechos domésticos.</p> <p>Desechos domésticos y plantas de tratamiento.</p>

Tabla 2. Características físicas, químicas y biológicas de aguas contaminadas y sus fuentes. Fuente: Peavy, H., Rowe, D. & Tchobanoglous, G., Environmental Engineering., Mc Graw Hill Book Co, N.Y.,1985.

(absorción y adsorción) intercambio iónico y procesos de separación por membrana (ósmosis, ultrafiltración y diálisis). La oxidación y la precipitación son procesos más químicos.

Los métodos biológicos se basan en la remoción de contaminantes por la actividad biológica de microorganismos: los contaminantes son utilizados como alimento, luego son metabolizados y finalmente quedan incorporados como material celular o degradados hasta CO_2 , H_2O y amoníaco. El proceso de transformación es realmente una oxidación bioquímica de los contaminantes y por ello el crecimiento de los microorganismos se puede modelar como una reacción química. La cinética de crecimiento de los microorganismos, de consumo de sustrato, de formación de productos y la enzimática, permitirá diseñar los recipientes apropiados (reactores químicos) para que en ellos ocurran cómodamente los procesos biológicos deseados.

La Tabla 3. ilustra la utilización de operaciones y procesos en la remoción de contaminantes acuáticos.

Los compuestos orgánicos tóxicos como derivados clorados de benceno, etano, naftaleno, fenoles, etileno y propano, los halometanos, los nitrofenoles, las nitrosaminas, los ésteres de ftalato, los hidrocarburos aromáticos polinucleares, los pesticidas y herbicidas y los bifenilos policlorados suelen ser removidos por despojamiento con vapor de agua o aire, con adsorción y con procesos biológicos. Otros procesos utilizados en el control de estas sustancias tóxicas son la incineración y el intercambio iónico. Es conveniente reconocer que todos estos compuestos tóxicos son de origen industrial.

RESIDUOS SÓLIDOS

Esta denominación incluye los desechos sólidos o semisólidos, en general, sin discriminación de su fuente de origen, clasificación, composición y propiedades.

Los desechos sólidos pueden ser de tipo convencional (residuos de alimentos y materiales variados como papel, cartón, plásticos, telas,

CONTAMINANTE	OPERACIONES Y PROCESOS
Sólidos suspendidos	Sedimentación Tamizado Filtración Flotación Coagulación y sedimentación
Materia orgánica biodegradable	Procesos biológicos: - Lodos activados - Lagunas aireadas - Filtros anaerobios - Filtros percoladores - Lagunas de estabilización Filtración Oxidación
Organismos patógenos	Oxidación (ozonización) Cloración
Nutrientes: - Nitrógeno	Procesos biológicos Despojamiento de NH_3 con aire Intercambio iónico Oxidación con cloro
- Fósforo	Coagulación/sedimentación Procesos biológicos
Compuestos orgánicos refractarios	Adsorción con carbón activado Oxidación química
Metales	Precipitación Adsorción (cromo +3) Intercambio iónico Ósmosis inversa
Sólidos inorgánicos	Intercambio iónico Ósmosis inversa Electrodialisis Destilación

Tabla 3. Operaciones y procesos usados en la remoción de los contaminantes en aguas residuales.
Fuente: Peavy, H., Rowe, D. & Tchobanoglous, G., *Environmental Engineering*, Mc Graw Hill Book Co, N.Y., 1985.

caucho, cuero, madera, vidrio, cerámica y envases metálicos). Otros desechos convencionales son cenizas y restos de materiales combustibles, materiales de demolición, desechos de barrido de calles, sólidos provenientes de plantas de tratamiento (lodos) y residuos de actividades agropecuarias.

Un importante grupo de residuos son los llamados peligrosos por el riesgo que de ellos se puede derivar para la vida. Estos residuos pueden ser no solo sólidos sino también líquidos y gaseosos; sin embargo, su consideración suele ser incluida por la literatura en el tema de los residuos sólidos.

La peligrosidad de un residuo la determinan una o más de las siguientes características: inflamabilidad, corrosividad, reactividad y toxicidad. Los residuos peligrosos tienen su origen en la mayoría de las actividades industriales; por ésto, su manejo reviste especial consideración en la práctica de la Ingeniería Química y en tal carácter debe ser inducido en las actividades docentes de esa disciplina.

Los métodos de control de contaminación por residuos sólidos utilizan una variada gama de

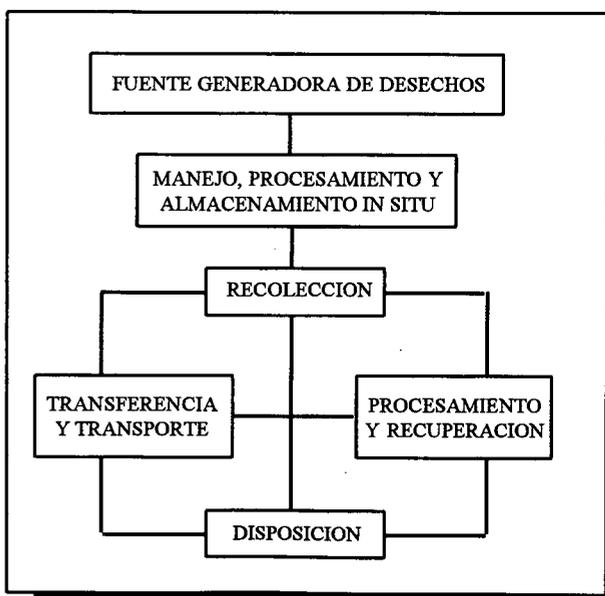


Figura 2. Elementos funcionales de un sistema de manejo de residuos sólidos

procesos y operaciones de la Ingeniería Química cuya pertenencia será mejor entendida con la Figura 2. que muestra la concatenación entre los elementos que deben integrar un sistema de manejo de residuos sólidos.

El sitio de generación es el punto donde se establece cuáles materiales no tienen valor y pueden ser desechados. El manejo físico, almacenamiento y procesamiento in situ corresponden a actividades para encauzar los residuos a los contenedores de almacenaje y al procesamiento preliminar para recuperar materiales reusables, reducir el volumen y alterar el aspecto para alistarlos para la recolección. Vehículos pequeños de recolección llevan los residuos a estaciones de transferencia para cargarla en vehículos mayores, que los transportan a los sitios de procesamiento o disposición final.

Dentro de este esquema de manejo de los residuos sólidos producidos en diferentes sectores de la actividad humana (doméstico, institucional, comercial, industrial) es necesario hacer ver al estudiante de Ingeniería Química la importancia de practicar la reutilización de productos y recuperación de materiales para reprocesamiento o para obtener energía antes de decidir disponer cualquier desecho generado. Sólo de esta manera se podrá desacelerar el agotamiento de los recursos naturales no renovables y de paso reducir las necesidades de sitios de disposición.

Para poner en práctica un modelo como el anterior hay disponibles muchas operaciones y procesos, varios de ellos comunes en Ingeniería Química. En la Tabla 4. se presentan operaciones para el procesamiento de residuos sólidos y en la Tabla 5. se enumeran procesos y operaciones para la recuperación de materiales a partir de desechos sólidos.

Los residuos peligrosos también son susceptibles de ser procesados con el objeto de recuperar materiales útiles y disminuir la cantidad de desechos a disponer.

Para el procesamiento de residuos peligrosos, se utilizan prácticamente todos los procesos químicos y biológicos y operaciones físicas conocidas, adicionalmente a la incineración

OPERACION	FUNCION
Separación manual	Separación de componentes recuperables en la fuente.
Almacenamiento y transferencia	Almacenamiento y transferencia para procesamiento.
Reducción mecánica de volumen	Compactación de desechos en vehículos.
Reducción química de volumen	Reducción de volumen por incineración.
Alteración mecánica de tamaño y forma	Uso de cortadores, molinos, etc., para cambiar la forma.
Separación mecánica de componentes: - tamizado - separación por aire - cribado - separación neumática - flotación - tablas agitadas	Separación de materiales recuperables livianos y pesados por separación de tamaños
Separación magnética y electromecánica.	Separación de materiales ferrosos y no ferrosos.
Secado y reducción mecánica	Remoción de humedad de los residuos sólidos

*Tabla 4. Operaciones utilizadas para el procesamiento de desechos sólidos.
Fuente: Peavy, H., Rowe, D. & Tchobanoglous, G., Environmental Engineering, Mc Graw Hill Book Co, N.Y., 1985.*

y la pirólisis. Para la aplicación de estos métodos se requiere tener los residuos peligrosos como líquidos.

El objeto principal de tales métodos es la reducción de volumen, aunque también pueden usarse para separación de componentes, destoxificación y almacenamiento.

Una de las circunstancias más propicias para practicar una concepción de manejo de residuos peligrosos son los cursos de laboratorio. Allí los profesores podrían diseñar el procedimiento de manejo de los residuos de los reactivos.

PUNTOS DE POSIBLE INSERCIÓN DE ASPECTOS DE LA TEMÁTICA AMBIENTAL

En esta última sección se sugieren algunos puntos concretos por medio de los cuales se podría intentar introducir la temática ambiental en el desarrollo de los siguientes temas del área de

operaciones: balance de materiales, flujo de fluidos, manejo de sólidos, transferencia de masa, laboratorios de operaciones y diseño de reactores.

Las opciones planteadas son sólo algunas de muchas posibles, pues no se quiere ni sería posible agotar todas las circunstancias previsibles para dar la visión ambiental que se pretende. El docente debe interpretarlas como lo que son: sugerencias. El decidirá la conveniencia o pertinencia de las actividades propuestas, las modificará o implementará, las desechará o introducirá otras que crea más apropiadas.

Lo que sí es imprescindible es generar en los estudiantes de Ingeniería Química esa norma de conducta que los lleve a actuar en su vida personal y profesional en perfecta armonía con el medio ambiente.

BALANCE DE MATERIALES

- El principio de conservación de masa podría ser ilustrado con la descripción (más cualitativa que cuantitativa) de uno o dos

ciclos de elementos (C, O, N, S, P) o del agua a nivel global. A la par con la satisfacción del balance en la descripción se pueden destacar ideas sobre la utilidad de estas sustancias y sobre las formas de afectación de los ciclos. Los otros ciclos pueden asignarse como trabajo fuera de clase.

- En la discusión sobre mezclas gaseosas y el sistema aire-vapor de agua se pueden introducir aspectos del comportamiento de la atmósfera: sus diversas capas, perfil de temperatura, componentes y contaminantes, regímenes de vientos, efectos del océano sobre el clima, etc.

- En aplicaciones de balances a procesos de combustión hacer énfasis sobre las características de los combustibles (carbón, etc.) sobre emisiones de óxidos de azufre y nitrógeno y llamar la atención sobre las consecuencias de la presencia de estas sustancias en la atmósfera. De ser posible citar casos.

PROCESO	MATERIAL RECUPERADO
Biológicos:	
- Compostaje	Compost (humus)
- Digestión anaerobia	Metano
- Fermentación	Glucosa, furfural
- Conversión biológica	Productos orgánicos celulares y no celulares.
Químicos:	
- Incineración	Energía (vapor de agua)
- Gasificación	Energía en gases
- Pirólisis	Energía en gas o aceite
- Hidrólisis	Glucosa, furfural
- Conversión química	Acetato de celulosa, gas, aceite.

Tabla 5. Procesos utilizados en la recuperación de materiales a partir de desechos sólidos.
Fuente: Peavy, H., Rowe, D. & Tchobanoglous, G., *Environmental Engineering*, Mc Graw Hill Book Co, N.Y., 1985.

- Al analizar sistemas de flujo en operaciones y procesos de Ingeniería Química normalmente sólo hay una (o unas pocas) corrientes de interés (el producto que se desea obtener). Sería conveniente mirar las otras corrientes (generadores de subproductos o desechos) para analizar la destinación que tienen y ver en ellas posibles fuentes de contaminación.

- Evidenciar cómo los principios que rigen la estequiometría de las reacciones y los balances permiten hacer la estimación de grandes flujos de contaminantes.

FLUJO DE FLUIDOS

- En la descripción del flujo de fluidos alrededor de cuerpos de cierta geometría se podría ejemplificar la influencia que pueden llegar a tener los edificios en la dispersión de las columnas de humo de chimeneas adyacentes. Un tema similar puede plantearse en torno a la influencia de colinas cercanas a chimeneas de industrias rurales. La finalidad de este enfoque es el estudio de la dispersión de los contaminantes transportados en los chorros de humos.

- Utilización de la ley de Stokes para analizar situaciones de dinámica de partículas en lo relacionado con mecanismos de remoción de partículas que están contenidas o son arrastradas por corrientes gaseosas o líquidas. Articular esta presentación con la eliminación de materiales particulados contaminantes en cámaras de sedimentación y separadores ciclónicos.

MANEJO DE SÓLIDOS

- Ilustración de cubrimiento de temas como las separaciones sólido-líquido y sólido-gas con situaciones de necesidad de eliminación de materiales contaminantes. Esta aplicación va dirigida a cálculos en procesos de sedimentación, centrifugación, flotación y filtración.

- En la asignación de temas de investigación bibliográfica podría promoverse el conocimiento y la utilización de procesos de separación por membrana: ultrafiltración, ósmosis inversa, electrodiálisis en la solución de problemas de contaminación.

- Una situación que vale la pena considerar desde el punto de vista ambiental es la operación de manejo de sólidos por reducción de tamaño en la que se suele generar material contaminante finamente dividido. Otro tanto puede decirse del secado de sólidos. La discusión se puede acompañar con ejemplos obtenidos de la industria (Ej. fabricación de cementos).

TRANSFERENCIA DE MASA

- Convendría hacer ver las operaciones de transferencia de masa como herramientas fundamentales en la separación y aislamiento de materias o sustancias contaminantes que puedan estar contenidas en corrientes efluentes de procesos industriales.

- Como una aplicación práctica de la difusión de gases examinar la dispersión de una corriente de gases efluentes de una chimenea en la atmósfera circundante.

- Buscar la incorporación de algunas situaciones de requerimientos de transferencia de gas (oxígeno) a cuerpos de agua (aguas contaminadas) al tema de la operación de absorción.

- En el tratamiento de la operación de destilación convendría hacer referencia a un problema común en nuestras destilerías. En la destilación primaria y en la rectificación se producen residuos de fondo de las torres, las vinazas y las flemazas. Estos residuos son vertidos sin tratamiento (excepción hecha de algunos casos) lo cual es fuente de alta contaminación.

- Las consideraciones del punto anterior se pueden extender al planteamiento de corrientes contaminantes que sean efluentes

de otras operaciones de transferencia de masa: las extracciones líquido-líquido y sólido-líquido. Algunos ejemplos podrían ser la extracción de minerales con solventes y la extracción de minerales líquidos con solventes.

- También, desde similar punto de vista se podría considerar la operación de absorción. Por ejemplo, mediante absorción pueden purificarse corrientes de aire contaminadas con gases como amoníaco, dióxido de azufre, etc.

- A manera de reflexión general, al estudiante se le puede hacer ver que su capacitación en operaciones de transferencia lo habilita como Ingeniero Químico para participar en solución de problemas de descontaminación.

A manera de reflexión general, al estudiante se le puede hacer ver que su capacitación en operaciones de transferencia lo habilita como Ingeniero Químico para participar en solución de problemas de descontaminación.

LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS

- En las prácticas que así lo permitan (filtración, viscosimetría, molienda, hidrociclón, destilación, etc) promover un trabajo cuidadoso que motive a no contaminar aguas y otros recursos con residuos de las prácticas de laboratorio.

- Destacar la importancia de ciclones e hidrociclones como dispositivos útiles y eficientes en la separación de material particulado de las corrientes líquidas y

y gaseosas que pueden ser fuentes de contaminación.

- Para que el estudiante compruebe por sí mismo el potencial contaminante de algunas corrientes generadas en el laboratorio podría determinarse la carga orgánica y los sólidos suspendidos en los productos de cola de la destilación alcohólica.

- Buscar la posibilidad de que los estudiantes formulen prácticas fundamentadas en operaciones de transferencia de masa que tengan como propósito u objetivo alterno la descontaminación.

DISEÑO DE REACTORES

Esta asignatura es fundamental para comprender los procesos biológicos de tratamiento de aguas contaminadas. Se practican procesos biológicos correspondientes a cada uno de los diferentes modelos de reactores químicos. Se sugiere, entonces, matizar el curso con solución de problemas de reactores biológicos.