

Introducción

Estudio que permita determinar la contribución ambiental de la química verde en el tema de producción y consumo sustentable

Introducción

A través de los años, la Química, la Física y la Biología, experimentaron un extraordinario desarrollo gracias a la importante contribución de nuevas herramientas matemáticas y tecnologías, las cuales han hecho posible gran cantidad de avances científicos y aplicaciones prácticas.¹ Los especialistas de la Química han garantizado los logros que han venido probando hasta la época actual, hay un gran número de personas que ven los productos químicos y la química muchas veces como algo a que temer, acotándola, y evitándola siempre que sea posible. Ninguna de estas perspectivas, posiblemente, puede capturar la visión completa de la química, porque abarca la caracterización, la interacción y la manipulación de toda la materia; por lo tanto, la verdadera naturaleza de la química, es compleja y extensa, como lo es su efecto.

La química ha dado lugar a la revolución en la medicina del siglo pasado en el que, tanto los medicamentos como los antibióticos se han utilizado para curar enfermedades que han asolado a la humanidad desde hace mil años. Estos avances provocados por la química, se han reflejado como resultando en la esperanza de vida media, pasando de 47 en 1900, a los 75 años en la década de 1990.² El suministro de alimentos del mundo, ha sido testigo de una explosiva expansión en este siglo, debido al desarrollo de los productos químicos que protegen los cultivos y mejoran el crecimiento. Prácticamente en todos los ámbitos y todos los aspectos de la vida material-transporte, comunicación, ropa, vivienda, etc., la química se ha traducido en una mejora, no sólo en los obstáculos de la vida, sino también en la calidad de la vida de los miles de millones de personas quienes ahora habitan el planeta. Estos logros casi increíbles han tenido un precio. Ese precio es el pasaje de la fabricación, uso y eliminación de productos químicos sintéticos que se han tenido en la salud humana y el medio ambiente.

Es decir, no podemos negar que la producción de todos estos materiales ha tenido un efecto negativo para el medio ambiente, que se ha manifestado de manera apreciable en el curso de la primera década del presente siglo. La emisión de gases tóxicos y el efecto invernadero, la contaminación de ríos y mares o la disminución de la biodiversidad, son los resultados perjudiciales que la industria, y especialmente la industria química, genera como resultado de la actividad productiva. En consecuencia, la sociedad posmoderna³ enfrenta en la actualidad grandes retos asociados con los cambios en los paradigmas políticos, económicos y culturales, pero especialmente ha empezado a ejercer un papel preponderante la problemática medioambiental, dado que la humanidad empieza a sentir con fuerza los avatares del cambio climático global. Así, ya se hace sentir con fuerza la crisis energética, la extinción de especies animales y

¹ Mangonon, P.L. Ciencia de materiales: selección y diseño. Prentice Hall, México, 2001

² Breslow, R. (1997). Chemistry Today an Tomorrow . American Chemical Society, Wasington, DC.

³ Zeraoui, Z. (comp.) Los paradigmas de la posmodernidad. Limusa, México, 2006.

vegetales, el agujero en la capa de ozono, devastadoras inundaciones y huracanes, entre otros aspectos que desencadenan la alerta social a nivel mundial.

En este escenario surgen, a partir de la década de los años sesenta, una serie de movimientos que, desde el sector científico, empiezan a advertir sobre la necesidad de revisar el rumbo que la sociedad ha venido tomando, como consecuencia del paradigma derivado de la revolución industrial ⁴ dado que no se hace viable o sostenible en el corto, pero especialmente en el mediano y largo plazo. Entre las muchas advertencias destaca la de Van Rensselaer Potter, fundador de la Bioética, que señala: *“La raza humana está en necesidad urgente de una nueva sabiduría que habrá de proveer el conocimiento sobre cómo usar el conocimiento para la supervivencia del hombre y para una mejora de calidad de la vida. Este concepto de sabiduría como una guía de la acción -el conocimiento de cómo usar el conocimiento para el bien social- puede ser llamado la ciencia de la supervivencia, con certeza el prerrequisito para mejorar la calidad de la vida.”*⁵

Estas inquietudes dieron origen a varias propuestas que tomaron cuerpo en la cumbre de Conferencia Mundial de Naciones Unidas sobre el Medio Humano (Estocolmo, Suecia), en 1972, donde se manifestó de manera seria la preocupación de la comunidad internacional alrededor de los problemas medioambientales y del desarrollo. La siguiente cumbre de mayor importancia fue la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (Río de Janeiro) en 1992. Durante el periodo transcurrido entre estos dos eventos, en 1987, la Comisión Mundial de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Desarrollo, formula la necesidad de establecer un modelo de desarrollo armónico con el medioambiente, que se denominó desarrollo sustentable, el cual toma en cuenta no sólo las necesidades de la generación presente, sino que también toma en consideración a las generaciones futuras, fundamentándose en que no podemos hipotecar el futuro de la raza humana para satisfacer nuestras actuales aspiraciones de desarrollo.⁶

Desde el propio ámbito de la Química, la respuesta al modelo de desarrollo sostenible se basa en 12 principios que conforman lo que se ha llamado química verde⁷. En la práctica, la estrategia de este enfoque consiste en el desarrollo de una serie de modalidades de acción respecto a la producción y manejo de productos químicos.

⁴ Ashton, T. S. La revolución industrial. Fondo de cultura Económica, México, 2001

⁵ Potter, V. R. Bioethics: Bridge to the future. Prentice Hall. Englewood Cliffs, NJ, 1971.

⁶ Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. UN Documents, 1987.

⁷ Lancaster, M. Green chemistry. Royal Society of Chemistry. Cambridge, UK, 2002.

Causas que obligan a cambiar la química

Causas que obligan a cambiar la química

Efectos negativos a nivel internacional

Es sólo recientemente que la cuestión del «impacto ambiental» provocado por las sustancias químicas ha entrado en el diálogo público y ha sido plenamente reconocido como un problema. En los años posteriores a la Segunda Guerra Mundial, no había regulaciones ambientales para hablar de qué poco se efectúa la manera en que las sustancias químicas pueden ser fabricadas, utilizadas o eliminadas. Se considera que, hasta finales de 1950 y principios de 1960, que la preocupación sobre cómo el desarrollo de sustancias químicas puede causar daño a la salud humana y al medio ambiente.

En 1962, Rachel Carson escribió el libro “Primavera Silenciosa” (Silent Spring), que detalla los efectos de determinados plaguicidas en los huevos de diversas aves.⁸ Se ilustra cómo el uso de DDT y otros pesticidas podría extenderse a lo largo de la cadena alimentaria, causando daños irreparables e imprevistos. Estos, perjudicaron a la naturaleza y causaron una protesta pública que dio lugar a los controles reguladores de los plaguicidas que se fabricaban y se usaban en los Estados Unidos.

En 1961, una sustancia llamada talidomida asustó toda Europa, ya que fue utilizada por mujeres embarazadas para disminuir los efectos de las náuseas y los vómitos durante el embarazo “enfermedad de la mañana”. Como resultado del uso de este medicamento, los hijos de las mujeres que tomaron el fármaco sufrieron severos defectos de nacimiento, en muchos casos en forma de falta de extremidades o gravemente deformados. Alrededor de 10 mil niños, nacieron en todo el mundo con este mal; cinco mil fueron de Alemania. (Las dudas sobre la seguridad del fármaco habían impedido su venta en los Estados Unidos). La tragedia llevó a estrictas regulaciones gubernamentales para probar nuevos medicamentos para los riesgos de malformación (inductores) teratogénicos. Estos “bebés de la talidomida”, como se les conoció, causaron una gran preocupación en el público en general, sobre los efectos de los productos químicos sintéticos y los efectos no deseados que podrían tener sobre los seres humanos.

En los dos casos anteriores, el público era muy consciente de que las sustancias en cuestión, fueron diseñadas por los científicos, las personas que el público sentía que tenía más conocimiento sobre lo que son los productos químicos que se estaban realizando. A pesar de la confianza que habían depositado en los científicos, para proporcionar innovaciones en la sociedad, el público comenzó a darse cuenta de que las consecuencias no deseadas y catastróficas, podrían resultar del uso de sustancias químicas. No estaba claro para el público si alguien podía controlar los efectos de estas, y el resultado fue que, el gobierno entró a controlar estas sustancias, a través del proceso de regulación. En las décadas posteriores de los años 1960s, 1970s y 1980s, surgió un patrón: un problema ambiental se manifestaría en sí, cuando las sustancias químicas estaban teniendo efectos adversos mucho más allá de su uso previsto, una protesta pública vocal seguiría, y las leyes y reglamentos, serían generadas para gobernar y abordar el problema de los productos químicos en el medio ambiente.

Estos ejemplos son consecuencias químicas imprevistas que terminan en tragedia, y de esta resulta la indignación pública, y de esta, el ultraje público que se traduce en la

⁸ Carlson, R (1962). Silent Spring. Houghton Mifflin Co., New York

legislación, para controlar la fabricación, uso o disposición de sustancias químicas. Sin embargo, la pregunta que debe hacerse a lo que ha generado estas nuevas leyes para el control de sustancias químicas, ¿son la única forma o la manera más eficaz de proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los resultados imprevistos?

La dilución es la solución a la contaminación

Durante el período anterior a la llegada de las leyes que controlan la liberación de sustancias químicas en el medio ambiente y la exposición significativa a las personas, no era infrecuente que las sustancias que se liberaran directamente a la atmósfera, el agua y la tierra, para su disposición final. En ese momento, se pensó que la mera disminución de la concentración de una sustancia en un medio en particular, sería suficiente para mitigar su impacto final. Esta práctica y el pensamiento subyacente, se resumen a veces como “dilución es la solución a la contaminación”. Por absurdo que esta filosofía resulte, ahora es conocida por ser desposada por un momento en factores; tales como, la toxicidad crónica, bioacumulación, e incluso carcinogenicidad, y no fueron tan bien entendidas como lo son ahora.

Tratamiento de residuos y disminución por medio de comando y control

Como punto final, la toxicidad y los efectos ambientales se hicieron más conocidos, las leyes ambientales reflejan este conocimiento, mediante el control estricto de las cantidades de una sustancia que podría ser liberada en cualquier cuerpo receptor en particular. Esta primera aproximación al método de “comando y control” de la regulación ambiental, a menudo utiliza los estándares o las concentraciones de referencia, por ejemplo, los límites máximos permisibles (mcgls por sus siglas en inglés), a lo que dictan los límites de una sustancia química en particular que pueden estar presentes en el agua sin humanos que afectar adversamente o al medio ambiente.

Uno de los principales defectos de este enfoque regulador es que por lo general no se consideran los efectos sinérgicos de otras sustancias presentes en el agua, con la de la sustancia regulada. Si una sustancia que se regula a una cierta concentración da lugar a efectos perjudiciales cuando está presente en el agua con una segunda no regulada. Un cierto nivel de concentración no puede proteger adecuadamente al público, contra la exposición a estas sustancias nocivas. El inconveniente de no ser capaz de regular los efectos sinérgicos de manera adecuada, es generalizar en toda la normatividad ambiental vigente y no es exclusivamente un problema con la regulación de las concentraciones de una sustancia, a través de comando y control.

A medida que avanzaban las regulaciones ambientales antes de su publicación, hubo un mayor énfasis en uno u otro tratamiento, o reducción de los residuos, posterior a su liberación, con el fin de mitigar los riesgos para la salud humana y el medio ambiente. A través del uso de tecnologías de tratamiento que van desde la neutralización de ácidos, lavadores de chimeneas de emisiones al aire y la incineración; las leyes ambientales requieren que los residuos se transformen en formas más inocuos con el fin de reducir al mínimo, los efectos de las sustancias químicas.

La prevención de la contaminación

En 1990, surge la Ley de Prevención de la Contaminación de los Estados Unidos (PPA por sus siglas en inglés), la cual establece una política ambiental nacional que indica que la opción de primera elección es prevenir la formación de residuos en la fuente. Mediante la utilización de una variedad de metodologías y técnicas, la contaminación se puede evitar, obviando así la necesidad de cualquier tratamiento o control de las sustancias químicas. (Fig.1)

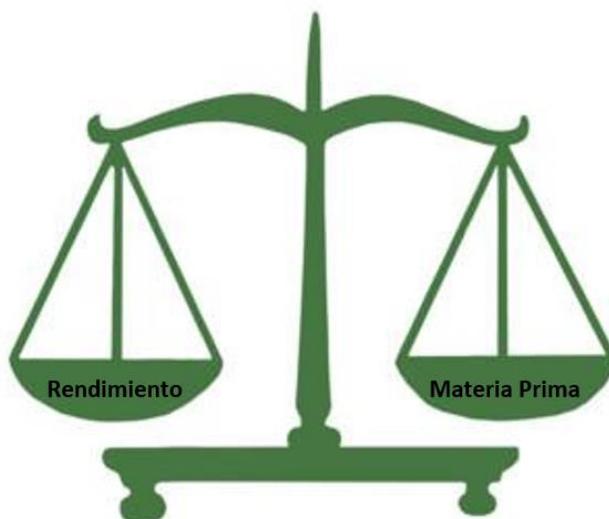


Fig.1 Balanza de la Productividad y de los recursos.

Muchas maneras diferentes se han desarrollado, para lograr la prevención de la contaminación, incluyendo los controles de ingeniería, lo que puede reducir al mínimo las cantidades de una sustancia que de otra forma se convierten en residuos. El control de inventarios y técnicas para reducir este tipo de problemas, como la evaporación del disolvente innecesaria, ha tenido un gran éxito en la reducción del volumen total de una sustancia química que finalmente termina en el flujo de residuos.

La química verde, implica el diseño y rediseño de síntesis químicas y productos químicos para evitar la contaminación y, por lo tanto, resolver así los problemas ambientales. Los especialistas de la química sintética desempeñan un papel central en el desarrollo de métodos químicos verdes para la prevención de la contaminación, en lugar del control al final del tubo.

La química verde, es el uso de los principios químicos y metodologías para la reducción de la fuente de contaminación, la forma más deseable de prevención de la contaminación. La química verde, incorpora prácticas de prevención de la contaminación en la fabricación de productos químicos y promueve la prevención de la contaminación y la ecología industrial. La química verde, es una nueva manera de ver los productos químicos y sus procesos de fabricación para minimizar los efectos ambientales negativos. En este momento, la revolución química verde está comenzando y es un momento motivante con nuevos retos para los químicos involucrados con el descubrimiento de la fabricación y el uso de productos químicos.

El papel de los especialistas de la química

Los especialistas de la química, han tenido siempre un papel en la química ambiental. Antiguamente, la química ambiental significaba control y la rehabilitación de sitio. Los químicos analíticos siempre han tenido un papel en la detección y seguimiento de los problemas ambientales. Los especialistas de la química-física, han estado involucrados en el desarrollo de modelos de fenómenos ambientales y; los especialistas de la química atmosférica, han estudiado el agotamiento del ozono estratosférico y el efecto invernadero.

Históricamente, los especialistas de la química sintética, son los encargados de diseñar nuevos productos químicos y procesos de fabricación que no han sido particularmente conscientes del medio ambiente. Esto se debe, principalmente al hecho de que los especialistas de la química sintética están en el comienzo del proceso, la identificación de las formas de hacer los productos químicos, mientras que los problemas que tradicionalmente se han identificado que se producen al final del proceso, la generación de residuos. El papel de los especialistas de la química sintética ha sido comprobadamente el del diseño de las rutas sintéticas para producir moléculas centrales por el mínimo coste en el mayor rendimiento. El público, por lo tanto, también ha llegado a pensar que los especialistas de la química sintética son los responsables de las sustancias químicas tóxicas y los residuos químicos que se generan durante la fabricación de los productos químicos. Ahora bien, se sabe cómo cada vez que, los problemas que tradicionalmente se han generado, se encuentran al “final de la cadena”; el especialista en química sintética aguas arriba, puede tener un impacto importante y positivo en la solución de estos problemas.

En la actualidad, los costos de un proceso sintético para un producto químico deben incluir no sólo los de las materias primas y equipos, sino también, el costo total del cumplimiento de la normativa, que son: el costo de la eliminación de residuos, los costos de responsabilidad y los costos de tratamiento, incluyendo las modificaciones de la planta para el tratamiento al final de la cadena. Estos costos adicionales, han impulsado los costos totales de muchas síntesis a niveles razonables; la contabilidad de costos totales, da nuevos estándares para la economía de la fabricación. Los especialistas de la química, tienen el poder de reducir estos costos indirectos de manera significativa, mediante el rediseño de productos químicos y sus procesos.

Como especialista en química, poner el lápiz sobre el papel para diseñar una nueva síntesis química, él o ella, está tomando decisiones intrínsecas: decisiones sobre si se utilizan sustancias peligrosas, si los materiales peligrosos deberán ser manejados por trabajadores, ya sean residuos peligrosos o subproductos, se requiere eliminación especial, y similares. Todas estas decisiones son inherentes en el proceso de síntesis. El objetivo de la química verde, o la química benigna, es el diseño de metodologías sintéticas que reducen o eliminan el uso o la generación de materiales de alimentación tóxicos, subproductos, disolventes y todos los demás productos asociados. Un especialista en química sintética que desarrolla una síntesis “química verde” es probable que produzca un producto más rentable cuando todos los costos directos e indirectos se contabilicen.

¿Qué es la Química Verde?

¿Qué es la química verde?

Es la síntesis química ambientalmente benigna, alterar las vías sintéticas nativas para la prevención de la contaminación, benignos por diseño: todas estas frases describen esencialmente el mismo concepto.

Es la utilización de un conjunto de principios que reduce o elimina el uso o generación de sustancias peligrosas en el diseño, fabricación y aplicación de productos químicos.

La química verde no es complicada, aunque a menudo es elegante. Se mantiene como su meta, nada menos de la perfección, aunque se reconoce que todos los avances e innovaciones hacia esta van a contener algún riesgo discreto. Es a través del incremento de estas mejoras continuas que, se realizarán los objetivos de la química verde.

Los especialistas de la química siempre han luchado por la eficiencia en sus metodologías sintéticas. Para poder llevar a cabo una transformación o construir una vía o una molécula de forma eficaz y confiable, esto es fundamental para el arte de la química sintética. La eficiencia es importante, no sólo como una medida de la calidad de un método de síntesis, sino también, como una consideración práctica y económica. Las consideraciones económicas, han jugado un papel importante en el diseño de síntesis que es utilizado como el más disponible y / o por debajo del costo de materia prima.

Las recientes adiciones y mejoras de los criterios anteriores, sólo han añadido a la definición de la elegancia sintética. Por ejemplo, la especificidad estereoquímica, sirve para aumentar la insistencia en la eficiencia. El concepto de “economía del átomo” ha reemplazado el tiempo cumplido, la métrica de “rendimiento” como norma para medir la calidad de una metodología de síntesis.⁹

La química verde, reconoce que estas normas deben tomarse como un paso más, para ser más completa. Al igual que los procedimientos y protocolos de Hipócrates, una metodología de química sintética, para ser verdaderamente elegante, debe “en primer lugar, no hacer daño”. Este criterio significa que incumbe a los especialistas de la química sintética, para incorporar las disposiciones del último efecto en la salud humana y el medio ambiente, en el diseño de cualquier nueva metodología.

Si bien, es demasiado fácil descartar este criterio como dominio de otra persona, los especialistas de la química ya no tienen ese lujo. En los días de degustación, pruebas y pipeteo por vía oral, puede haber habido una creencia razonable de que el nivel de conocimiento de los peligros químicos, entre los especialistas de la química, era demasiado bajo, como para justificar la responsabilidad. Esos días han pasado de largo. Los datos sobre riesgos son tantos, que se generan y se requieren por ley, los especialistas de la química de hoy son conscientes de los efectos potenciales y reales de su trabajo. No es más excusable para un bombero no saber que el fuego quema, o como un chef no saber que un cuchillo corta o qué, para los químicos, no conocer el uso apropiado de las herramientas de trabajo.

⁹ Trost, B.M. (1991) Science, 254, 1471-77

Equipado o cargado, con este conocimiento, el especialista en química debe hacer frente a las responsabilidades. Las consecuencias del tráfico de negocios e industriales, ya no pueden achacarse a mal uso por el hombre. Debido a que los especialistas de la química poseen la comprensión de la manipulación molecular y tienen la información necesaria para evaluar cómo esas manipulaciones pueden o no, poner en una situación de riesgo a la salud humana y al medio ambiente, que han entrado en una era en la que este conocimiento debe desempeñar un papel central en el cumplimiento de la operación.

Esta toma de conciencia por los proveedores de la química verde, se está viendo más como una oportunidad, que como una limitación.

¿Por qué esta nueva área de la química está recibiendo tanta atención?

Para responder a esta pregunta, primero debemos tener una comprensión básica del problema. Ha habido mucho debate durante la última generación sobre la naturaleza exacta de los riesgos ambientales que se han generado como resultado de la liberación de diversos productos químicos sintéticos en el medio ambiente. Hay poca duda de que hasta que los lazos de incertidumbre en los datos toxicológicos -exposición, el destino y los datos de transporte y los análisis de riesgo, se resuelven de manera inequívoca, este debate continuará, probablemente por lo menos durante la próxima generación. Por lo tanto, hay dos opciones lógicas a la comunidad científica. La primera, es permitir que las incertidumbres descritas anteriormente, son para seguir siendo alarmantes y no para intentar hacer frente a las preocupaciones por la salud humana y el medio ambiente. La segunda opción, que los estudiantes que siguen la nueva área de la química verde que han adoptado, es aceptar el hecho de que la liberación de productos químicos en el medio ambiente provoca un cierto aumento gradual en el riesgo para la salud humana y el medio ambiente. El riesgo puede ser eliminado, a través de los avances fundamentales en las metodologías químicas que sean técnicas y económicamente viables; entonces, la comunidad química debe seguirla la tendencia. Es tan cierto en la química verde, como lo es en todas las otras áreas de la ciencia que, sólo se puede operar con el estado actual de los conocimientos, pero, con el conocimiento de los peligros químicos que ahora existe, los especialistas pueden tratar de minimizarlos.

¿Por qué los especialistas de la química persiguen los objetivos de la química verde?

Una de las razones filosóficas básicas que los especialistas de la química deben tratar de hacerse en el trabajo es qué sustancias deben utilizarse de la mejor manera, ambientalmente benigna sea posible. Con el conocimiento de cómo manipular y transformar los productos químicos, junto con los datos básicos sobre los peligros a los que se puede acceder fácilmente a partir de la gran variedad de fuentes, los especialistas de la química, tienen en su poder, reducir o eliminar el riesgo que representa para ellos y la sociedad en general, en la empresa química.

Los investigadores en la vanguardia de la innovación en esta nueva área saben que estos objetivos pueden lograrse. Mientras que todo el mundo entiende que ninguna actividad puede ser completamente libre de riesgos, los objetivos alcanzados tanto en el banco de la investigación y en los procesos comercializados es que, se han disminuido en gran medida los problemas ambientales y de salud, mientras que se desarrollan los procesos y las metodologías más eficaces.

Sin embargo, otra razón, para que la comunidad de la química persiga vigorosamente la química verde, es debido a que se basa en la ciencia esencial molecular, que ofrece la raíz de la solución, en lugar de que la aplicación de un enfoque de vendaje o mosaico para la reducción del riesgo. En su nivel más básico, el riesgo puede ser descrito por la siguiente fórmula. (Fig.2)

Riesgo= f [Peligro por Número de exposición]

Fig.2 Descripción de la fórmula de riesgo

La forma tradicional de que la industria y la sociedad mediante la política ambiental nacional, se ocupe de la reducción del riesgo, es a través de la reducción de la exposición. Con un peligro fijo y una reducción de la exposición, el riesgo debe disminuir proporcionalmente. Mediante el uso de los peligros bien caracterizados (datos de toxicidad) y conocer la eficacia de cualquier método de control de la exposición que se está utilizando, el riesgo puede ser manipulado hasta que esté por debajo de un cierto nivel de identificación personal aceptable. Este "nivel aceptable", por necesidad, tiene que ser arbitrario, ya que la cuestión de "¿aceptable para quién?" a continuación, debe ser enfrentada.

Mientras que una relación 1: 1 000 000 de riesgo de cáncer por exposición a un determinado límite de una sustancia, puede ser definido por la sociedad en sus leyes y reglamentos como "aceptable", siendo ciertamente que no lo es, que "1" en 1: 1 000 000.

Otra limitación de la exposición de control para reducir riesgo, es que el uso y la liberación de una sustancia química pueda afectar a las personas que no usan esos controles. Por ejemplo, un trabajador químico puede ser el uso de guantes, gafas, etc., a fin de protegerse de la exposición a altos límites de cierta sustancia, se sabe que tienen efectos agudos. Pero ¿cómo estos controles de exposición afectan a alguien en la dirección del viento, que no esté protegido por controles de exposición? con alta incertidumbre de efectos crónicos, efectos bioacumulativos y los efectos extremadamente sinérgicos, para una amplia gama de sustancias en el marco del estado actual de la ciencia, el uso de controles de exposición para reducir el riesgo en la sociedad en general, se pone en duda.

Una última Razón por lo que los controles de exposición pueden ser limitados es, debido a que al final, puede haber fallas. Sin respirador, protector facial, gafas, guantes, gafas, o el traje de protección de la ONU es ideal. Con la falla de este equipo en la limitación de la exposición, el Individuo se encuentra en el máximo riesgo de peligro.

Contrastar las limitaciones anteriores a los principios de reducción de peligros de la química verde. La mayor diferencia entre los dos enfoques para la reducción del riesgo, es que la reducción de riesgos a través de la química verde, cuando se hace correctamente, no pueda fallar. Si a través de la variedad de técnicas y metodologías que se discuten en este libro (por ejemplo, materiales de alimentación alternativos o disolventes) el riesgo se reduce, no hay manera de que el riesgo pueda aumentar, a través de un aumento espontáneo en el peligro. En otras palabras, no hay manera de que una sustancia inocua va a ser arbitrariamente tóxica para la salud humana y el medio ambiente. Ahora bien, por supuesto que de la misma manera de que alguien podría ponerse gafas de seguridad al revés o poner los guantes protectores de goma en sus pies, es igualmente concebible que la química verde se puede realizar de forma incorrecta. Esto sería equivalente a la sustitución de una sustancia extremadamente tóxica para uno que es virtualmente no tóxico. Más allá de esta absurda excepción, la reducción del peligro a través de la química verde, debe reducir necesariamente el riesgo. Además, en contraste con el uso de controles de exposición para reducir el riesgo, el efecto de la exposición en los receptores de aguas abajo o a favor del viento del peligro químico, es menor. Debido a la naturaleza intrínseca de la sustancia en sí es menos peligroso, no hay riesgo diferencial a la persona que trabaja con la sustancia, contra el segundo individuo expuesto. Finalmente, el concepto de un nivel de riesgo aceptable se elimina como un objetivo y se reemplaza con el objetivo óptimo benigno con el medio ambiente. Si bien, se hablará más sobre este tema más adelante, el objetivo de hacer un producto químico o proceso “ambientalmente benigno” es una mera declaración de la ética de la mejora continua con más de lo que es una métrica en la que medir de la mejora.

Es debido a las razones arriba mencionadas y de que es preferible que la exposición a través del control del enfoque de la reducción del riesgo, se dé mediante la utilización de la química verde.

Siempre hay un costo asociado y que significa una derrama económica. Ya veremos los costos totales de la reducción del riesgo.

En contraste, una solución potencialmente podría ser la química verde, para la reducción del riesgo, esta tiene una variedad de beneficios económicos asociados con su implementación. Algunas posibilidades incluyen menores costos de materias primas, mayores tasas de conversión, tiempo de reacción más corto, mayor selectividad, separaciones mejoradas o bien, una reducción en consumo de energía. Si bien, no todas las soluciones de la química verde van a tener estos beneficios, estos potenciales económicos, esta economía potencial, beneficia justamente la derrama económica solamente de los controles de exposición. Cabe señalar que las ventajas de la química verde, se enlistan y relacionan directamente en los costos de operación. Las ventajas adicionales de costos indirectos, es otro tema que influye en la toma de decisiones.

La raíz de la innovación

Se ha dicho que la química verde es un enfoque “fundamental” a los problemas ambientales causados por la contaminación. ¿Qué significa eso exactamente? Ha habido muchos enfoques para hacer frente a los problemas ambientales en todo el mundo. En la era industrial moderna, estos enfoques han evolucionado a medida que el nivel de comprensión de los problemas por sí mismos. Aunque en la actualidad, estos enfoques a la contaminación, pueden parecer tan atrasados como el derramamiento de sangre que haría un médico, es importante revisar brevemente, con el fin de ver cómo los paradigmas dominantes en la protección del medio ambiente, han llegado a repercutir.

Cabe hacer mención que, a lo largo de los años, inmediatamente posteriores al final de la Segunda Guerra Mundial, la industria en los Estados Unidos y las otras naciones industriales crecieron a un ritmo sin precedentes. A mayor nivel de vida, muchas de las comodidades modernas y una gran cantidad de contaminación se han desarrollado significativamente. Dado que el tipo de seguimiento de la emisión de sustancias químicas en el medio ambiente que tenemos hoy, no existe, entonces sólo podemos extrapolar los datos en el pasado y correlacionarlos con los volúmenes de producción a la conclusión de que, las emisiones eran extremadamente altas. Cuales, sin embargo, más convincentemente era la forma en que trataron las emisiones químicas, sobre el análisis retrospectivo de la industria.

Limitaciones / obstáculos

La química verde desde un enfoque, trata uno de los problemas ambientales fundamentales del mundo, el problema de la contaminación.

La contaminación en prácticamente todos los contextos legales que se han mencionados con anterioridad, se define como la contaminación química. La liberación a la atmósfera, el agua, la tierra y de las sustancias que puedan provocar un riesgo para la salud humana y el medio ambiental, es la contaminación que las políticas ambientales que no solo en los Estados Unidos, sino a nivel mundial, han tratado de remediar. Muy a menudo el enfoque utilizado en las leyes ha sido controlar la cantidad de liberación de una sustancia química o el control de la concentración final de esa sustancia en el medio al que fue puesto en libertad. Este enfoque, aunque produciendo importantes mejoras a la calidad general del aire, el agua y la tierra, se ha encontrado con obstáculos filosóficos y logísticos significativos. Los obstáculos pueden ser mejor descritos por las preguntas que se plantean a continuación.

Pregunta: ¿Qué es un tambo de residuos peligrosos con una gota de champán, se llama?

Respuesta: Residuo peligroso

Pregunta: ¿Qué que es un tambo de champán con una gota de residuos peligrosos, se llama?

Respuesta: Residuo peligroso

Son tolerables para la salud humana y el medio ambiente. La química verde, sin embargo, se refiere a la situación anterior de manera algo diferente. En el transcurso de la última o segunda generación. Ha habido un gran volumen de investigación llevado a cabo en la aclaración de los peligros asociados con diferentes sustancias químicas. Parte del ímpetu para esa investigación fue la necesidad de disponer de datos sobre la toxicidad de las sustancias, de modo que los niveles de exposición aceptable pudieron determinarse. Cuando gran parte de la legislación ambiental se promulgó inicialmente; relativamente, pocos datos toxicológicos existían sobre las sustancias químicas. Con la generación de los datos subsiguientes que han tenido lugar en el enfoque de la química verde, ésta lo hace posible.

La química verde utiliza los datos disponibles en un gran número de compuestos en su evaluación de los productos químicos, la síntesis química, y todo el ciclo de vida de la empresa química. A través del reconocimiento, de que tanto la identificación de las sustancias, sean probables de contener un mayor peligro para la salud humana y el medio ambiente, y una mayor comprensión del mecanismo de acción por el cual, se deriva este peligro, los especialistas de la química conscientemente pueden diseñar más segura a la química y los diferentes productos químicos.

En lugar de utilizar el enfoque histórico de controlar las concentraciones o liberaciones de una sustancia química, en particular a través de los controles técnicos y procedimientos de tratamiento de residuos; la química verde en cambio, cambia la naturaleza intrínseca de las sustancias, mismas, con el fin de reducir o eliminar el peligro que estas representan. Esto es especialmente atractivo desde una ciencia de perspectiva filosófica por el nexo entre la química y la toxicología clásica mecanicista. En este nexo, el especialista de la química verde, puede equilibrar las características moleculares que son necesarias para las tareas a realizar con esas características moleculares y que son responsables del peligro intrínseco de la sustancia. Este equilibrio se puede aplicar igualmente al diseño de una molécula o a una ruta sintética entera.

Como dijo Paracelso, hace muchos años, “Todo es un veneno, dependiendo de la dosis”. Sería fácil de utilizar esto como una justificación para que simplemente levantando las manos de uno y diciendo así, sí, todo es tóxico, entonces, no hay nada que un especialista de la química pueda hacer. Este razonamiento, mientras que, sin fundamento, se utiliza a menudo para justificar la inactividad. Simplemente, porque todo tiene cierto peligro discreto, que es la esencia de lo que estaba diciendo Paracelso, eso no quiere decir que todo es igualmente peligroso. Como cuestión de hecho, los límites de toxicidad varían en muchos órdenes de magnitud. Además, los productos químicos tienen muchos puntos finales diferentes y mecanismos tóxicos de acción.

Es un hecho que, si bien, están disponibles para miles de compuestos químicos, sus datos toxicológicos, esto representa sólo un pequeño porcentaje de los millones de compuestos conocidos hoy en día. Esto, sin embargo, ignora el hecho de que las correlaciones dentro de las clases químicas han sido extensivamente esclarecidas, y, aunque puede que no haya datos toxicológicos exhaustivos sobre una sustancia química específica, es tanto una suposición razonable y eficaz que se comportará de forma similar a otra, los compuestos de la misma clase química.

¿Cómo puede tomar conciencia de estos datos toxicológicos un especialista en química sintética, sobre todos estos compuestos, sin llegar a ser un toxicólogo y dedicarle mucho tiempo y energía, en búsqueda de información sobre los peligros y no en la investigación química? Hay muchas fuentes de datos fácilmente disponibles, sobre la toxicidad de los productos químicos, que van, desde las referencias de un solo volumen para las bases de datos en línea. Otro enfoque, para la utilización de la información como también es examinar las listas de productos químicos que han sido desarrollados por los distintos servicios de salud, médicos, o de las agencias reguladoras. También, hay listas dedicadas que identifican las sustancias, que químicos son de alto riesgo para la salud humana y el medio ambiente.

Herramientas clave para desarrollar la química verde

Herramientas clave para desarrollar la química verde

A medida que los efectos ambientales y sanitarios de un proceso químico o químicos han empezado a considerarse en las etapas de diseño, los enfoques y el desarrollo de técnicas son muy variadas relativamente. Dado que los tipos de productos químicos y de transformaciones son tan diversos; también, las soluciones de química verde que se propondrán a futuro. Estas, sin embargo, se pueden dividir en varias categorías.

Con un diseño alternativo sintético, no viendo el fin de la molécula, pero si, la ruta sintética utilizada para crearla. Mediante la modificación de la síntesis, podemos llegar a la misma, como producto final, sin embargo, reducir o eliminar los materiales tóxicos de partida, subproductos y residuos. Dos de los principales componentes de síntesis química, son materias primas y condiciones de reacción, éstas, pueden ser cambiadas para producir químicas alternativas (y mejoradas).

Materias primas alternas/materiales de partida

Gran parte de la naturaleza de un tipo de reacción o vía de síntesis, está determinado por la selección inicial de los materiales de partida. Una vez hecha la selección, luego de muchas opciones, la decisión cae por su cuenta, como una consecuencia necesaria. La selección de un material de alimentación tiene un efecto importante, tanto en la eficacia de la ruta sintética, sino también sobre los efectos ambientales y de salud dentro del proceso. La selección de materia prima para la fabricación de un producto, determina qué riesgos se enfrentan cuando los trabajadores están manejando esta situación, los proveedores, y los cargadores son el transporte de la sustancia. Significativamente grandes productos químicos básicos, la selección muy particular de un material de alimentación en el papel del mercado, puede impulsar tal como materia prima, su principal razón de ser. Por lo tanto, la selección de la materia prima es una parte principal de la química verde en el proceso de toma de decisiones.

Actualmente, el 98% de todos los productos químicos orgánicos en los Estados Unidos, están hechos de materiales de alimentación de petróleo. La refinación de petróleo ocupa el 15% de la energía total utilizada en los EE.UU., y su consumo de energía va en aumento debido a que el petróleo crudo de baja calidad disponible, ahora requiere más energía para el refinamiento. Durante la conversión a los productos químicos orgánicos útiles, el petróleo sufre una oxidación, la adición de oxígeno o un equivalente; esta etapa de oxidación, ha sido históricamente, uno de los pasos más contaminantes del medio ambiente en todas las síntesis químicas. Como resultado, es importante considerar, reducir el uso del petróleo en los productos, mediante el uso de materias primas alternas.

En general, las materias primas agrícolas y biológicas, pueden ser excelentes materias primas alternativas. Muchas, ya están altamente oxigenadas, por lo que su uso, en lugar de materiales de alimentación de petróleo, eliminando la necesidad de realizar la etapa de oxigenación contaminante. Por otra parte, la síntesis se puede lograr, ya que son significativamente menos peligroso que cuando se realiza con productos derivados del

petróleo. En la actualidad, las investigaciones han demostrado que una gran cantidad de productos agrícolas puede ser transformados en productos de consumo, productos como el maíz, papas y la soya, se están transformando a través de una variedad de procesos en productos tales como textiles, nylon, entre otros.

La exploración de fuentes biológicas de materias primas alternas, no debe limitarse a los productos agrícolas: residuos o biomasa agrícola, y bioproductos no relacionados con los alimentos que a menudo se componen de una variedad de materiales lignocelulósicos, ya que estos, pueden proporcionar importantes materias primas alternas.

Otras clases de materias primas alternas, también están surgiendo, como la luz. Por ejemplo, los metales pesados, que se utilizan a menudo en los procesos de oxidación de petróleo, también son muy tóxicos y carcinógenos, pueden provocar daños en los sistemas neurológicos. Se descubrió recientemente modificar la síntesis nativa y sustituir a los reactivos por metales pesados, por el uso de la luz para llevar a cabo las transformaciones químicas necesarias.

Reactivos Alternos

En la transformación de la materia prima seleccionada en la molécula central, el especialista en química sintética ya ha trabajado a cabo las modificaciones estructurales que son necesarias. Si bien, el objetivo de cada etapa de síntesis es claro, el reactivo necesario para llevar a cabo ese paso puede tener aún para ser seleccionado. Es en este punto que el especialista en química sintética debe equilibrar los criterios de eficiencia, la disponibilidad, y el efecto a fin de evaluar el mejor reactivo para llevar a cabo la transformación.

Las transformaciones tienen que ser evaluadas, para determinar si son estequiométricas o catalíticas, si son atómicas económicas o no, y cuáles serán las características de los residuos que se generarán a través del uso del reactivo. La selección de un reactivo particular, frente a otro, para la misma transformación red, puede tener un efecto en todos los factores anteriores.

Disolventes alternos

Un área importante de la investigación de química verde, se ha centrado en la selección de un medio en el que lleve a cabo una transformación sintética. Debido a que el paradigma dominante de la síntesis química se ha basado en la química de la solución, la cuestión suele estar planteada “¿El disolvente debe ser utilizado?”. La redacción del texto, por supuesto, plantea la pregunta, “¿Debería utilizarse un disolvente para todos?”. Muchos de los disolventes utilizados comúnmente son algunos de los compuestos orgánicos volátiles que se sabe, causan el smog cuando se libera al aire. Estos disolventes, se enumeran en la Ley de Aire Limpio de los Estados Unidos, como sustancias que deben evitarse. Se están realizando investigaciones que persiguen a la química y que se han hecho anteriormente en un disolvente, descubriendo una manera de hacer la misma química en diversos sistemas sin disolvente.

Una vez que se ha determinado, qué es necesario un disolvente o que, por cualquier razón, es preferible para una síntesis particular, el especialista de la química debe seleccionar entre una serie de alternativas. Mientras que los disolventes orgánicos tradicionales alternos son bien conocidos, caracterizados y utilizados; tales como, sistemas acuosos, líquidos iónicos, disolventes inmovilizados, dendrímeros y polímeros estrella anfífilos y fluidos supercríticos que se están aplicando cada vez más en la síntesis. Los fluidos supercríticos son gases a una combinación de alta presión y baja temperatura. Cuando se mezclan los gases con el medio ambiente, se convierten en fluidos supercríticos y se utilizan como las salidas de sol, se obtienen beneficios ambientales. Un buen ejemplo, es el de dióxido de carbono que actualmente está siendo utilizado como un fluido supercrítico, para proporcionar solvatación, para una variedad de reacciones químicas.

Mientras, en última instancia, el profesional en la química puede tomar diferentes decisiones con respecto a disolventes sobre una base, caso por caso; y la información que se genera actualmente, muestra la utilidad de estas alternativas para una amplia variedad de clases de químicas y tipos de reacción que está resultando útil, para el investigador de la química y el profesional en la química en el desarrollo del proceso.

Productos alternos/molécula objetivo

Si bien, una síntesis química es a menudo impulsada por la búsqueda de una molécula objetivo, también es frecuente en el caso de que lo que realmente se persigue es la capacidad de tomar cualquier sustancia química que pueda servir para una función particular o tener un cierto criterio de rendimiento. Durante muchos años, la industria farmacéutica ha estado haciendo investigaciones en el diseño de los productos químicos más seguros. Con los productos farmacéuticos, el objeto es el de maximizar los beneficios terapéuticos de una molécula y reducir al mínimo los efectos secundarios tóxicos. Estos mismos principios, se pueden aplicar a toda la gama de aplicaciones químicas.

En los casos en los que la función, es la principal motivación, la manipulación molecular, preserva la eficacia de la función, al tiempo que mitiga la toxicidad u otros riesgos, siendo este, el objetivo de la química verde. A través de estos esfuerzos y otras investigaciones toxicológicas, a menudo es posible identificar la parte o partes de una molécula que produce efectos tóxicos. Del mismo modo, a través de la investigación química, somos capaces de identificar aquellas partes de la molécula que se requieren para dar con la función deseada del producto químico a fin de que pueda servir a un uso específico, deseado.

En el diseño de los productos químicos más seguros, se identifica la parte tóxica indeseable de una molécula y disminuye o elimina su toxicidad, mientras se mantiene la función de la molécula. En muchos casos, la superposición de las porciones de tóxicos y funcionamientos crean un desafío digno para el especialista en química sintética.

Procesamiento en química analítica

Por procesamiento de química analítica, nos referimos a la medición en tiempo real de las condiciones de reacción durante la síntesis química, junto con la capacidad de alterar la reacción en función del resultado de los análisis. Por ejemplo, imaginemos que X contaminante está siendo generado en una reacción en cantidades estimadas, pero se forma en cantidades mayores si la temperatura y la presión son demasiado altas. El uso del procesamiento de química analítica, se podría medir en la concentración de contaminantes X constantemente durante una reacción e inmediatamente podrían cambiar las condiciones de reacción, si la cantidad de X se vuelve inaceptablemente alta. Una cantidad considerable de investigación se está haciendo actualmente en el campo del proceso de la química analítica. La técnica es particularmente aplicable a la síntesis de biotecnológicos; las reacciones implicadas son por lo general bastante complejas y el valor del producto resultante es alto, lo que hace rentable el procesamiento de la química analítica.

El contexto en el que se evalúa un catalizador, puede determinar en gran medida el resultado de dicha evaluación. Por ejemplo, si se evalúa un catalizador cuando la alternativa es una reacción estequiométrica, puede obtener una respuesta. Si se evalúa el mismo catalizador para evaluar su toxicidad y peligro ambiental, es posible llegar a una respuesta muy diferente. Al igual que muchas áreas de prevención de la contaminación y la protección del medio ambiente, las soluciones de compromiso entre el rendimiento y el riesgo, no puede ser ignoradas.

Catalizadores alternos

Algunos de los mayores avances en la química, especialmente la química industrial, sobre la generación pasada, han sido en el área de la catálisis. La catálisis no sólo ha avanzado el nivel de eficiencia, sino que también ha dado lugar a beneficios ambientales coincidentes. A través del uso de nuevos catalizadores, los especialistas de la química, han encontrado la manera de eliminar la necesidad de grandes cantidades de reactivos que de uno u otro modo habrían sido necesarios para llevar a cabo las transformaciones, y en última instancia, han contribuido a la corriente de residuos. También, es cierto que varias clases de catalizadores, tales como los catalizadores a base de metales pesados, se han encontrado ser extremadamente tóxicos.

Principios de la química verde

Principios de la química verde

La química verde se ha definido de forma concisa en párrafos anteriores, y mientras que la química verde también ha sido descrita como el juramento hipocrático para el especialista en la química “En primera línea, no hacer daño”, la verdadera definición de una subdisciplina o un área de investigación proviene de la misma y los logros que se realicen. Es esta la definición del cultivo ecológico que no sólo responde a la pregunta “¿Qué es la química verde? “, Sino que también proporciona el alcance y la gama de la química verde, para poder ver que, la química verde se puede hacer y se va a llegar a ella en un futuro.

La lista de los “doce principios de la química verde” debería ser vista como un reflejo de la ciencia que se ha hecho dentro de este campo emergente en el pasado más reciente, así como una dirección que ha sido establecida por algunos de los científicos pioneros que han sentado las bases, para el futuro.

1. Es mejor evitar los residuos que tratar o limpiar los residuos después de su formación

Siempre se ha anticipado y esperado que existen costos “normales” asociados con la fabricación y el uso de sustancias y productos químicos. Ciertamente, usted tiene que pagar por los materiales de partida y reactivos que serán una parte intrínseca del producto. Sin embargo, un costo que ha cobrado una importancia significativa en los últimos 20 años es el costo del tratamiento y eliminación de sustancias químicas. La más peligrosa es la sustancia, más costoso es la sustancia a tratar. Esto es generalmente cierto, lo está discutiendo un fabricante de productos químicos de gran tamaño o un pequeño laboratorio académico.

Es asombroso imaginar que, en muchas de las grandes empresas químicas en los Estados Unidos, los gastos en investigación y desarrollo son iguales a los gastos en salud y seguridad ambiental. En esta declaración, se encuentra la ilustración de las verdaderas víctimas de los costos de utilización y generación de sustancias peligrosas, es el mayor crecimiento e innovación de la ciencia y la industria de la química. Universidades y colegios pequeños, están cumpliendo con el reto de los costos de eliminación de residuos de laboratorios de química, a la vez que el educativo y de la investigación, ya sea, mediante la reducción del número de laboratorios o la reducción de la escala en la que se ejecutan los experimentos de laboratorio.

Los costos de tratar con sustancias peligrosas, ya sea a través de la manipulación, tratamiento o eliminación, han seguido aumentando sustancialmente. Estos costos ahora tendrán que tenerse en cuenta a menos que se eviten. La única forma de evitar estos costos derivados, es evitar el uso o generación de sustancias peligrosas mediante el diseño de la química a través de la utilización de la química verde, desde los controles de ingeniería para el equipo de protección personal y el cumplimiento de la normativa, se pueden minimizar, si no se evitan, incluyendo los gastos asociados.

Un tipo de residuo de producto que es a la vez común y con frecuencia de los más evitables, es el material de partida o reactivo sin convertir. Una herramienta que permite evaluar la falta de lógica de perder el material de partida bajo las estructuras de costos, hoy en día, es el simple pensamiento de que “Cuando uno desecha el material de partida, uno está pagando el doble de la sustancia; una como materia prima y otra, como un desperdicio y es que así, no se logra la utilidad de la sustancia”. A menudo, el costo de eliminación de residuos, puede ser muchas veces, el coste del material de partida virgen. Puesto en estos términos, la reflexión de la ecuación es intolerable dondequiera que sea evitable.

2. Los métodos sintéticos deben ser diseñados para maximizar la incorporación de todos los materiales utilizados en el proceso del producto final

En todos los textos del siglo 20 en la química orgánica no han ofrecido ecuaciones químicas balanceadas. Las reacciones que se representan rara vez, representan los subproductos y coproductos que se generan necesariamente en el curso de una transformación sintética. La evaluación clásica de la eficacia y eficiencia de la síntesis, es el rendimiento. El “Rendimiento” también ignora totalmente el uso o la generación de cualquiera de los productos indeseables que son una parte intrínseca de la síntesis. Es posible y muy a menudo el caso de que una vía de síntesis, o incluso una etapa de síntesis, puedan alcanzar 100% y generar residuos que es mucho mayor en masa y en volumen del producto deseado. Esto es cierto porque el cálculo se basa en el concepto de mol de moles de material de partida frente a moles de producto. Si una mol de material de partida produce una mol de producto deseado, el rendimiento es 100% y la síntesis se considera perfectamente eficiente por este cálculo. Esta misma transformación, sin embargo, podría producir una o más moles de residuos por cada mol de producto. Cada mol de los residuos podría ser muchas veces el peso molecular del producto deseado. Por lo tanto, una síntesis “perfectamente eficiente”, según el cálculo de porcentaje de rendimiento, podría generar cantidades considerables de residuos y esto sería invisible utilizando sólo esta ecuación evaluativa.

Un ejemplo ya clásico de este defecto en el enfoque de rendimiento es el de la reacción de Wittig. El Wittig introduce una funcionalidad con un peso molecular significativamente menor que el peso molecular de los residuos. Esta reacción todavía puede proceder con un rendimiento del 100%. Es a causa de esta discrepancia, que se utiliza el concepto de economía del átomo. La economía del átomo, es una evaluación en la que se mira a todos los reactivos para medir el grado en que cada uno de ellos se incorpora en el producto final. Por lo tanto, si todos los reactivos se incorporan en el producto completamente, se dice que la ruta sintética es 100% átomo económica. Los tipos de transformación estándar de síntesis, se pueden evaluar de forma genérica para determinar la economía del átomo intrínseca de cada tipo.

2.1 Reordenamientos

Por definición, una reacción de transposición es una reorganización de los átomos que forman una molécula. Por lo tanto, por necesidad, esta es una reacción económica átomo de 100%, donde todos los reactivos se incorporan en el producto.

2.2 Adición

Debido a las reacciones de adición, se suman los elementos del reactivo a un sustrato con total inclusión (por ejemplo: cicloadiciones, bromación de olefinas) son atómica económica.

2.3 Sustitución

Cuando se efectúa una reacción de sustitución, el grupo sustituyente desplaza un grupo saliente. El grupo saliente es necesariamente un producto de residuo de la reacción que no está incluido en el producto final y por lo tanto disminuye la economía del átomo de la transformación. El grado exacto en el que la reacción es no-átomo económico, ya que esta depende de los reactivos y los sustratos específicos usados.

2.4 Eliminación

Las reacciones de eliminación transforman el sustrato mediante la reducción de los átomos, para generar el producto final. En este caso, cualquier reactivo utilizado no se convierte en parte del producto final y los átomos eliminados se pierden como residuos. Esto es, por lo tanto, intrínsecamente el átomo menos económico de las transformaciones sintéticas básicas.

3. Siempre que sea posible, las metodologías de síntesis deberán diseñarse, para utilizar y generar sustancias que tengan poca o ninguna toxicidad para la salud humana y el medio ambiente

La base fundamental de la química verde es la incorporación de minimización de riesgos o la eliminación en todos los aspectos del diseño de la química.

A diferencia de muchos intentos en el pasado para proteger el medio ambiente a través de la limitación, regulación, o eliminación de la química y los productos químicos; sin embargo, el enfoque de química verde en realidad abarca la química como la solución y no el problema. La química verde reconoce que es a través de las habilidades y conocimientos de los químicos que, el mundo de hoy puede tener los modernos avances tecnológicos que, han llegado de la comunidad científica para brindar seguridad a la salud humana y a al medio ambiente.

Hay una necesidad intrínseca de riesgo a considerar en el diseño de la química para el medio ambiente. Sólo hay dos maneras de minimizar el riesgo de daño de cualquier tipo: reducir al mínimo la exposición o reducir al mínimo el peligro. Minimizar la exposición puede tomar una variedad de formas, tales como ropa de protección, controles de

ingeniería, respiradores, etc. Aquellos que sienten que el riesgo no debe ser incluido en la evaluación y el diseño de la química a menudo creen que, dado que “saben mejor cómo manejar los riesgos”, debido a sus conocimientos químicos, deben utilizar cualquier sustancia que elijan independientemente del peligro (Por ejemplo, toxicidad, inflamabilidad).

La razón pragmática de que el riesgo se debe considerar es doble. En primer lugar, es prácticamente imposible para controlar la exposición sin incrementar el coste de un proceso. Todos los mecanismos de control, ya sean prendas de vestir, los controles de ingeniería, etc., cuestan algo. Por lo tanto, uno es la suma del coste innecesariamente. En segundo lugar, los controles de exposición pueden fallar y así querido riesgo aumenta proporcionalmente con ese fracaso. El peligro, sin embargo, es una característica intrínseca de que no va a cambiar, por lo que el riesgo no aumentará de forma espontánea.

Hay respuestas adicionales a la pregunta: “¿Por qué debemos tener en cuenta peligro?” Desde un punto de vista ético, una respuesta es, “porque podemos hacerlo”. Los químicos tienen el conocimiento y las habilidades para minimizar el peligro que enfrenta el público, el medio ambiente, y los usuarios de los productos químicos en general. Con la posesión de ese conocimiento, hay una responsabilidad de asegurar que no se haga daño siempre que sea posible. Eso no significa que dejando de lado el conocimiento, para evitar todo daño posible, esto signifique que el uso de los conocimientos químicos, ya tienen a seguir las futuras innovaciones en formas que, sean más seguros para la salud humana y el medio ambiente.

Una respuesta igualmente válida a la pregunta es, “porque debemos hacerlo”. Debemos, pues, si usted lo mira desde un medio ambiente, punto de vista económico, legislativo, o social, la química, los especialistas de la química y la industria química no tienen otra opción. El medio ambiente ha sufrido enormes daños debidos al mal uso y la falta de visión de algunos miembros de la empresa química y la sociedad en general. La industria química y las universidades están siendo debilitadas económicamente por los costos de hacer frente a estos peligros. Legislativo, las leyes cada vez más restrictivas tienen el potencial para estrangular la innovación, si las soluciones científicas no los desplazan a ellos. Y, social, el papel de los especialistas de la química, se ha convertido en una división de ser considerados tanto como los innovadores o los contaminadores. Ninguna de estas circunstancias, que generalmente describen el status quo, es aceptables. Mediante el diseño de la química que reduce o elimina los peligros, la química verde ofrece la opción científica para hacer frente a cada una de estas circunstancias o problemáticas.

4. Los productos químicos deberán ser diseñados para preservar la eficacia de la función al tiempo que reduce la toxicidad

4.1 ¿Qué es el diseño de productos químicos más seguros?

Esta área de la química verde se refiere a menudo simplemente como “el diseño de los productos químicos más seguros”. A través del conocimiento de la estructura molecular,

los químicos pueden determinar, obviamente, un poco acerca de las características del compuesto. Ciertamente, el campo de la química ha desarrollado gran cantidad de herramientas que permitan medir y estimar las propiedades de los productos químicos. Estos productos pueden ser tan diversos como tintes, pinturas, adhesivos, o productos farmacéuticos, y las propiedades evaluadas tan variadas como el color, la resistencia a la tracción, el potencial de entrecruzamiento, y la actividad antitumoral.

Al mismo tiempo los especialistas de la química, toxicólogos, y farmacólogos han estado desarrollando otras herramientas para usar el conocimiento de las estructuras químicas para caracterizar la toxicidad de moléculas. Estos puntos finales pueden ser tan diversos como la carcinogenicidad, mutagenicidad, neurotoxicidad, reproductividad y toxicidad para el desarrollo.

El equilibrio entre maximizar el rendimiento deseado y la función del producto químico, al tiempo que garantiza que la toxicidad y el riesgo se reducen a su nivel más bajo posible es el objetivo de diseñar productos químicos más seguros. Afortunadamente, estos objetivos son alcanzables precisamente por el hecho de que los químicos han estado persiguiendo las metodologías para la caracterización y la manipulación de la estructura molecular.

4.2 ¿Por qué ahora es posible?

Este enfoque para el diseño de los productos químicos más seguros ahora es posible porque no han sido tantos grandes avances en la comprensión de la toxicidad química. Siempre ha sido sencillo medir las características de rendimiento de un producto químico para ver si se puede realizar la función que está diseñado para tal efecto. No siempre ha sido fácil de identificar de qué se compone la molécula que es responsable de la toxicidad. Ha habido una gran cantidad de esfuerzo durante la última generación para identificar los mecanismos de acción de las sustancias en el cuerpo y en el medio ambiente. Estos mecanismos en detalle, muestran las reacciones exactas que tienen lugar en el cuerpo o el medio ambiente para lograr el efecto tóxico. Al conocer el mecanismo en detalle, a continuación, los químicos pueden modificar la estructura para que estas reacciones ya no lo sean posible, reduciendo así la toxicidad.

Hay varios enfoques básicos para el diseño de los productos químicos más seguros. Si una cierta reacción es esencial para el mecanismo tóxico para llevarse a cabo, un cambio estructural se podría hacer para asegurar que la reacción no tenga lugar. Por supuesto, las modificaciones estructurales garantizarían que la función y el rendimiento de la molécula aún se conserven.

El segundo nivel se utiliza en los casos donde no se conoce el mecanismo exacto. En estos casos, una correlación aún puede existir entre la estructura química (por ejemplo, presencia de grupos funcionales) y la existencia de un efecto tóxico. En este caso, la funcionalidad relacionada con el efecto tóxico se evita, reduce al mínimo, o elimina con el fin de reducir o eliminar el punto final tóxico.

Un tercer nivel se llevaría a cabo a través de la minimización biodisponibilidad. Sin embargo, si una sustancia es tóxica, no puede alcanzar su órgano central (por ejemplo, el estómago, los pulmones, el hígado), donde se manifiesta su toxicidad, se ha de

visualizar inofensivamente para todos los efectos. Dado que los químicos tienen una larga tradición de saber cómo cambiar las propiedades físicas y químicas de una molécula, tales como la solubilidad en agua y la polaridad, que pueden manipular fácilmente las moléculas para que sean difíciles o imposibles de ser absorbido a través de las membranas y tejidos biológicos. Mediante la eliminación de la absorción y la biodisponibilidad, la toxicidad se reduce al mismo tiempo. Por lo tanto, siempre que el cambio en las propiedades para hacer la molécula menos biodisponible, no perjudica la función prevista y el uso de la molécula, que será a la vez, eficaz y menos tóxico.

5. El uso de sustancias auxiliares (por ejemplo, disolventes, agentes de separación) debe hacerse siempre que sea posible innecesario e inocuo cuando se usa

5.1 El uso general de sustancias auxiliares

En la fabricación, el procesamiento y el uso de productos químicos; hay sustancias auxiliares utilizadas en cada paso. Una sustancia auxiliar puede ser definida como una que ayuda en la manipulación de un producto químico o productos químicos, pero no es una parte integral de la propia molécula. El uso de estas sustancias está diseñado para superar obstáculos específicos en la síntesis o producción de una molécula o producto químico. Muchas sustancias auxiliares han entrado en el uso generalizado de que rara vez hay una evaluación en cuanto a si son o no necesarias. Esto es cierto en muchos casos de disolventes; así como, para los agentes de separación en muchas operaciones. A menudo, estos auxiliares pueden poseer propiedades que son de importancia para la salud humana y el medio ambiente.

5.2 La preocupación por disolventes

En el caso de los disolventes que se utilizan comúnmente, hay una serie de problemas asociados a ellos; disolventes halogenados tales como cloruro de metileno, cloroformo, percloroetileno, y tetracloruro de carbono, durante mucho tiempo han sido identificados sospechosamente como carcinógenos humanos. A través de un mecanismo diferente, el benceno y otros hidrocarburos aromáticos también se han implicado en la etiología o promoción del cáncer en los seres humanos y otros animales. Todas estas sustancias son ampliamente utilizadas y de gran valor debido a sus excelentes propiedades de solvencia en una amplia gama de aplicaciones. Estos beneficios, sin embargo, se acoplan con los riesgos de salud anteriormente mencionados.

5.3 Medio Ambiente

Las preocupaciones sobre los disolventes se extienden más allá de las implicaciones directas para la salud de los seres humanos y la vida silvestre, en el reino de los efectos sobre el medio ambiente y el ecosistema en el que todos residen. Tal vez la más conocida de las implicaciones ambientales de los disolventes es el de la disminución del ozono estratosférico. Los clorofluorocarbonos (CFC) se han usado ampliamente para una buena parte del siglo 20. No hay duda de su eficacia probada en los usos previstos, a partir de un disolvente de limpieza y repelente al agente de expansión para espumas de plástico moldeado a la refrigeración. También es cierto que los CFC tienen muy baja toxicidad directa para los seres humanos y la vida silvestre, y poseen un bajo potencial

de accidentes porque ambos son no inflamables y no explosivos. Sin embargo, el efecto de los CFC que agotan la capa de ozono y los efectos ambientales resultantes, ha sido ampliamente publicitado.

Los compuestos orgánicos volátiles (COV), que representan una amplia gama de hidrocarburos y sus derivados, se han usado como disolventes en un gran número de aplicaciones. Esta clase de productos químicos se ha implicado en la generación de ozono atmosférico, conocido comúnmente como “smog”. A través de la creación indirecta de este efecto medioambiental muchos individuos con problemas respiratorios sufren una gran angustia.

Muchas de las regulaciones han sido construidas bajo la Ley de Aire Limpio de los Estados Unidos, así como una variedad de otras autoridades legales, para controlar muchas clases de productos químicos utilizados como disolventes. Debido a las disposiciones reglamentarias que a menudo cuestan a las empresas cantidades significativas de dinero para cumplir, están buscando en cualquiera de las sustancias, alternativas para su uso, como disolventes, o, en un enfoque más fundamental, alternativas al uso de ellos en primer lugar.

También, existen preocupaciones de las sustancias auxiliares utilizadas en llevar a cabo las separaciones. La mayoría de estas preocupaciones no se centran en clases o tipos de sustancias específicas, como fue el caso con disolventes, pero son más genéricos. Un ejemplo de las características de mayor preocupación en los agentes es la de separación, por las necesidades del material. Los materiales utilizados para lograr o facilitar la separación de los productos, coproductos u otras sustancias relacionadas, pueden ser bastante extensas; así como, costosos. Además, las metodologías de separación también pueden requerir una gran cantidad de energía, a través de los mecanismos de procesamiento mecánicos o térmicos. Por último, cuando se alcanzan las separaciones después de su transformación, estos materiales auxiliares son parte de la corriente de residuos, con insuficiencias de algún tipo de tratamiento o eliminación.

Un tipo común de la metodología de separación / purificación, es el uso de recristalización, lo que requiere el uso de energía y / o sustancias que se añaden para cambiar la solubilidad de los componentes disueltos, con el fin distinto de obtener la precipitación. Los materiales y la necesidad de la energía utilizada que deben evaluarse, no sólo por su contribución a la corriente de residuos, sino también para cualquier peligro intrínseco que puedan poseer.

Otro tipo muy común de separación utilizado en toda la química es la cromatografía. Mientras la cromatografía es implementada estrictamente para el análisis y caracterización, esta, utiliza sólo pequeñas cantidades de posturas sub auxiliares, las separaciones de mayor escala afectan proporcionalmente de forma más significativa. Los materiales asociados con las fases móviles y estacionarias pueden tener algunas de las preocupaciones de riesgo asociados con ellos. Incluso en los casos en peligro, no es una preocupación significativa, las consideraciones de residuos y la energía, necesitan ser incorporados en la evaluación de los efectos que las sustancias auxiliares están teniendo en el proceso químico global.

5.4 fluidos supercríticos

Es cierto que existen alternativas al uso tradicional de sustancias auxiliares, que están siendo tratados por la razón de impulsar a todos los elementos de la química verde. Algunas de las alternativas a los disolventes orgánicos tradicionales incluyen el uso de fluidos supercríticos o de fase densa, como el dióxido de carbono supercrítico. Este sistema tiene la ventaja no sólo de ser inocuos desde un punto de vista de la salud humana y del medio ambiente, sino también, del uso en el aumento de la facilidad de separación y selectividad.

Los fluidos supercríticos, se forman sometiendo por lo general pequeñas moléculas, tales como dióxido de carbono a la temperatura apropiada y la presión para alcanzar el punto crítico, lo que resulta en las moléculas que poseen el carácter de un fluido que se describe mejor como un cruce entre un líquido y un gas. Este líquido tiene la propiedad de ser un disolvente sintonizable, lo que significa que las propiedades del disolvente, se pueden ajustar mediante el ajuste de los parámetros de temperatura y presión. Esto permite que los sistemas de disolventes supercríticos puedan sustituir a una variedad de otros disolventes que pueden poseer un peligro o ser altamente regulados.

5.5 Sin disolvente

Los sistemas sin disolventes tienen la ventaja más obvia para la salud humana y el medio ambiente en cuanto a la consideración de peligro se concentra. Muchas empresas y científicos en el mundo académico están desarrollando métodos en los que los reactivos y materias primas sirven como disolvente también. Los reactivos y materias primas de la reacción en el estado fundido tienen otros sistemas, para asegurar una mezcla adecuada en condiciones de reacción óptimas. No es un trabajo innovador, donde se llevan a cabo las reacciones, estas, tienen lugar en las superficies sólidas tales como arcillas especializadas. Todos estos enfoques obvian la necesidad de la sustancia auxiliar (disolvente), para ser utilizada en el proceso.

5.6 Acuoso

Los sistemas acuosos han sido investigados por razones de eficacia y selectividad en los últimos años y que el trabajo ha proporcionado una excelente base para el uso de estos sistemas como disolventes ambientalmente benignos. Es obvio que el agua es posiblemente la sustancia más inocua en la Tierra y, por tanto, es posiblemente el disolvente más seguro. Las consideraciones adicionales de los métodos que utilizan sistemas acuosos como disolventes y el costo de la separación de los productos y subproductos después de la fabricación, Estas son importantes, ya que hay una necesidad de asegurar que el efluente de un proceso no contiene realmente un aumento de la concentración de contaminantes, en comparación con el que estarían presente con disolventes tradicionales. El uso de agua como disolvente tiene claras ventajas, sin embargo, serán examinadas en una base de caso por caso por su impacto medioambiental global.

5.7 inmovilizado

Un problema importante con muchos disolventes en relación con la salud humana y el medio ambiente, es su capacidad para volatilizar y por lo tanto tienen un efecto perjudicial mediante la exposición de las personas y contaminan el aire. Una solución que se está investigando, es el uso de disolventes inmovilizados. La inmovilización ha tomado varias formas, pero la meta de cada uno es el mismo para mantener la solvencia de un material mientras que es no volátil y no exponer a los seres humanos o el medio ambiente a los riesgos de esa sustancia. En algunos casos esto se puede hacer mediante la inmovilización de la molécula de disolvente a un soporte sólido o, mediante la construcción de la molécula de disolvente directamente a la cadena principal de un polímero. En otros casos, las nuevas sustancias poliméricas que se están desarrollando tienen propiedades disolventes, sin embargo, no poseen las propiedades que los harían un peligro.

6. Las necesidades de la energía deben ser reconocidas por su impacto medioambiental y económico, deben reducirse al mínimo

6.1 El uso de energía en la industria química

La generación y consumo de la energía, desde hace tiempo se sabe que incluye un importante efecto ambiental. Las transformaciones de la química, deben desempeñar y desempeñan un papel importante en la captura y la conversión de sustancias en la energía, así como la conversión de las fuentes actuales de energía, en forma que sea útil a la sociedad. Y por supuesto, debe ser un compromiso continuo para lograr que el proceso tenga un perfil sostenible, a diferencia del estado actual de las cosas. También, debe reconocerse que, en las circunstancias actuales, la industria utiliza una gran parte de todo el consumo de energía en las naciones industrializadas.

6.2 ¿Cómo se usa la energía?

A menudo, hubo un predominio para tratar con las reacciones que requieren la entrada de energía en una manera similar del uno al otro. Si el material de partida y reactivo se disuelven bien en un solvente particular, entonces, aquella mezcla de reacción será simplemente calentada al reflujo para el tiempo asignado o hasta que la reacción se complete. Hay a menudo una falta de análisis en las exigencias de calefacción y una puede ser la reacción particular para el diseño de una síntesis. A menudo se deja al ingeniero de procesos, el factor en cualquier energía o exigencias termales que hagan al proceso eficiente.

6.3 La necesidad de acelerar las reacciones con el calor

En los casos en que una reacción se conduce a su producto termodinámico, a menudo es el caso que esto se logra mediante el uso de energía térmica. Esto se utiliza para superar cualquier energía de activación y que necesita ser atravesado a fin de llevar la reacción hasta su finalización. Una de las grandes ventajas de los catalizadores es que, mediante la reducción de la energía de activación necesaria para llevar a cabo un tipo de reacción en particular, es la cantidad de energía térmica que sea necesaria para realizar una transformación se reduca al mínimo.

6.4 La necesidad de controlar la reactividad a través de la refrigeración

En algunos casos, las reacciones son tan exotérmicas que es necesario controlar la reacción por la refrigeración. Esta manera termal de controlar el costo de la reacción es a menudo necesaria para estudiar las reacciones que son excepcionalmente rápidas y ocurren en microsegundos. También, en la fabricación de producto químico, el frenado del costo de reacción por la refrigeración es a veces necesario para prevenir cualquier posibilidad de tener una reacción “fugitiva” o incontrolada que podría causar un severo accidente químico. En cualquier caso, hay gastos, tanto ambientales como monetarios, que son incurridos con el enfriamiento y exactamente igual como hay con la calefacción.

6.5 requisitos de energía de separación

Unos de los procesos con gran intensidad de energía en la industria química, es el proceso de separación y la purificación. Si la purificación / la separación, se realiza por la destilación, la recristalización, o la ultrafiltración; la energía va a ser gastada para asegurar la separación de la impureza del producto. Para el diseño de un proceso que reduzca al mínimo la necesidad de las separaciones de esta clase, el especialista también debe asegurarse de que principalmente, no va a haber mucha energía termal, eléctrica, o de otras formas que serían necesarias para obtener el producto.

6.6 Microondas

El empleo de energía microondas, es una técnica que está siendo utilizada para efectuar transformaciones químicas rápidamente, y a menudo en el estado sólido, que clásicamente ha sido conducido en soluciones líquidas. En muchos casos, las técnicas microondas han mostrado ventajas distintas en el no requerir la calefacción prolongada para realizar una reacción. Además, las reacciones realizadas en el estado sólido también evitan la necesidad de la calefacción adicional de todo el solvente auxiliar que requieren cuando la química se está realizando en la solución.

6.7 Acústico

Ciertos tipos de transformación (cicloadiciones, reacciones pericíclicas) han sido estudiadas, para su capacidad de ser catalizada por el empleo de energía ultrasónica (sonicación) en un sonicador. Por el empleo de esta técnica, las condiciones del entorno local de la especie que reacciona, son cambiadas suficientemente para promover una transformación química. Esto, como cualquier otra forma de energía, tendría que ser evaluada para cada reacción, para ver si es más eficiente en el logro del objetivo sintético.

6.8 La optimización de la reacción debería significar la reducción al mínimo de las exigencias de energía

Los especialistas en la química a menudo se esfuerzan por “Optimizar” una reacción o ruta sintética toda vez que se ha demostrado que funciona. Este empleo de la optimización del término, es por lo general una sugerencia para esforzarse en aumentar la producción o la conversión de porcentaje de la reacción de materiales de partida al producto. Que no a menudo es considerado, es la necesidad de la energía en el esquema sintético, del tipo mencionado anteriormente. Y esto a menudo, es dejado al ingeniero de proceso para equilibrar las exigencias de energía. Sin embargo, tal como en el caso de las sustancias peligrosas y los residuos peligrosos usados y generados según un esquema de reacción, el especialista en la química que diseña la reacción tiene el mayor efecto sobre lo que las exigencias de energía requieren, para una síntesis dada o para la fabricación del proceso. Mientras que estos requisitos se pueden ajustar y optimizar, es sólo a través del diseño del sistema de reacción que los requisitos inherentes de energía se pueden cambiar fundamentalmente. Por lo tanto, siempre que sea factible, los especialistas deben incluir los requerimientos de energía de todas las diversas etapas del proceso de síntesis, en su proceso de evaluación deben tratar de minimizarlos.

7. Una materia prima o material de alimentación deben ser renovables en lugar de ozono, siempre que sea técnica y económicamente posible

7.1 ¿Qué materias primas son renovables vs las de ozono?

No ha sido un foco importante dentro de las comunidades científicas, industriales y ambientales, el uso de los recursos renovables. La diferencia entre un recurso renovable y uno ozono puede ser descrita simplemente como “tiempo”. Los recursos de ozono, son generalmente considerados como los combustibles fósiles. Excepto por el hecho de que necesitaría millones de años en producirse, los combustibles fósiles a precisión podrían describirse renovables, en la medida de que la vegetación, una vez más se pudiera convertir en petróleo. Dado que esto no es generalmente considerado en la práctica, se consideran los combustibles fósiles en ozono. Uno de los verdaderos recursos de ozono que tenemos es el poder del Sol y la energía solar, pero que una vez más está sujeta al criterio de tiempo. Dado que el Sol va a durar millones de años, se refiere a menudo como una fuente infinita de energía, aunque, a diferencia de los combustibles fósiles, una vez que se hayan agotado, nunca se repongan.

Las materias primas renovables son más a menudo asociadas con los materiales biológicos de partida y de origen vegetal. El término, sin embargo, se puede aplicar igualmente a las sustancias que se regeneran fácilmente dentro de los marcos de tiempo que se puede acceder a la vida humana. Dado que las sustancias tales como el bióxido de carbono se pueden generar a partir de un suministro de fuentes universales, tanto naturales como sintéticas, el CO₂ puede ser referido como un recurso renovable. El mismo argumento se puede hacer en relación con gas metano, ya que hay una variedad de fuentes naturales, incluyendo grandes mamíferos y materia vegetal en descomposición como hierba del pantano.

7.2 Sustentabilidad

La preocupación más obvia para la amplia utilización de los recursos limitados que los agotan es el hecho de que, por definición, pueden agotarse o extinguir. Esto es inevitable, por lo tanto, no se considera sustentable, sea a partir de un medio ambiente o un punto de vista económico. Una definición de Sustentabilidad, es la capacidad de mantener el desarrollo de la calidad de vida sin comprometer la capacidad de nuestra generación, para hacer lo mismo. Por lo tanto, si nuestra generación fuera a consumir recursos del petróleo en la medida en que ya no eran una opción viable y utilizable para las generaciones futuras, esto, violaría los objetivos de la sustentabilidad.

7.3 Los efectos ambientales directos

El impacto ambiental del uso de combustibles fósiles ha tenido históricamente un efecto pronunciado sobre la salud humana y el medio ambiente. Ha habido un legado ambiental, que incluye pulmón negro y la destrucción del hábitat en relación con la minería del carbón; los derrames de petróleo y la contaminación del aire relacionada con la refinación de petróleo.

7.4 efectos ambientales indirectos

Un efecto menos evidente en la salud humana y el medio ambiente se deriva de la naturaleza de petróleo como el bloque de construcción por excelencia para la industria química en la última mitad del siglo XX. Los hidrocarburos de petróleo son por lo general en su forma, completamente reducida y, por tanto, requieren de ellos para funcionar y derivar, el uso de la química de oxidación, con el fin de hacer una variedad de otros productos útiles. La oxidación química, ha sido parte de la química más contaminante que ha contribuido al riesgo para la salud humana y el medio ambiente, principalmente a través del uso de metales pesados como los agentes oxidantes, por ejemplo, cromo.

7.5 La oferta limitada crea una presión económica

Una segunda preocupación obvia cuando se utilizan los recursos y se agotan, en contraposición a los recursos renovables, es el hecho de que, ya que los suministros se extinguen, las leyes de la oferta y la demanda, determinan que el costo de esta materia prima debe aumentar. Es cierto que el precio de un barril de aceite, es más o menos lo mismo que lo fue hace 20 años al ajustar la inflación, pero los principios de la economía subyacente son indiscutibles. A medida que se consumen los suministros de petróleo, la economía impondrá otras opciones para todos los productos derivados del petróleo que se encuentran actualmente en el mercado. También, a medida que los precios del

petróleo aumentan, la gente va impulsado cada vez más a la utilización de estas materias primas para productos de mayor valor, en lugar de quemarlos como combustible. Uno de los usos de mayor valor se ha presentado en los productos básicos en la construcción de química de bloques y en los intermedios de sustancias más complejas. Actualmente, se está estudiando el uso de materias primas biológicas para la construcción de las mismas sustancias químicas y productos intermedios de mayor valor y, en algunos casos, comercializado en forma ambientalmente benigna.

7.6 Los efectos políticos de petróleo

Se ha dicho que el costo total de petróleo nació por el mercado, el verdadero precio de los productos derivados del petróleo, como la gasolina, sería muchas veces mayor y es el caso actualmente. Algunos de estos costos son ambientales, algunos son militares, y algunos son políticos. Como un ejemplo, si los gastos de proteger el petróleo que se embarca en las rutas fueran factores en el precio de gasolina, ¿sobre qué pondría ser un precio? Si los gastos de limpieza ambiental de derrames de petróleo o fugas de tanques de almacenaje subterráneos, fueran directamente traducidos en el precio de un barril de aceite, ¿cuál sería el precio?

7.7 Las preocupaciones acerca de materias primas biológicas

7.7.1. “Oferta estacional”

Las materias primas biológicas y renovables no están exentas de problemas, tanto económicos como ambientales. También, una preocupación económica es la disponibilidad de una materia prima biológica cuando se requiere. La virtud de los recursos renovables que se genera rápidamente en tiempo real se convierte en un tornillo de banco, cuando una gran cantidad de material de alimentación es continuamente necesaria y que, debido a la sequía o la pérdida de la cosecha, el suministro de materia prima desaparece. Sería inviable para las ruedas de la industria, a tal imprevisibilidad, moler a un alto grado. (Se podría, sin embargo, hacer la pregunta, ¿es más impredecible que los vientos políticos de algunas de las regiones productoras de petróleo del mundo?)

7.7.2 Tierra / uso de la energía

Una segunda preocupación, es la cantidad de uso de la tierra que se requeriría para sostener los productos industriales que nos hemos acostumbrado y el uso de productos agrícolas como la base. Ciertamente, los cultivos clásicos como materias primas, necesitan tierra y extensa para producir energía, hasta el punto en que sería poco práctico para su uso como materia prima. Es por ello que muchos productos y procesos biológicos no tradicionales, están siendo desnivelados y se utilizan para hacer factibles las materias primas renovables.

8. Derivación innecesaria (grupo, la protección/desprotección de bloqueo, modificación temporal de los procesos físicos/químicos) debe evitarse siempre que sea posible

8.1 La prevalencia de la práctica en la química

A medida que el arte y la síntesis de la ciencia de la química, especialmente la síntesis de la química orgánica, se ha vuelto más compleja y los problemas que trata de resolver son más desafiantes, se han desarrollado métodos que requieren la manipulación significativa para atravesar los obstáculos. Si el obstáculo es lograr estereo control, efectuando una reacción en presencia de un grupo lábil funcional, o algún otro reto, el enfoque que se ha desarrollado a menudo requiere la generación de una modificación molecular o un derivado de la sustancia necesaria con el fin de llevar a cabo una transformación en particular.

8.2 Grupos de bloqueo/protectores

Una de las técnicas más comúnmente utilizados es el uso de grupos de bloqueo. El bloqueo, o protección, los grupos se utilizan para proteger un resto sensible de las condiciones de la reacción, que pueden poner en peligro la funcionalidad si se deja sin protección. Un ejemplo típico de este tipo de transformación sería la protección de un alcohol, haciendo que el éter de bencilo con el fin de llevar a cabo una oxidación en otra parte de una molécula sin afectar el alcohol. Después de que se completó la oxidación, el alcohol puede ser regenerada fácilmente a través de la escisión del éter bencílico. Derivatización de este tipo es particularmente común en la síntesis de productos de química fina, productos farmacéuticos, pesticidas y ciertos tintes. Obviamente, en el ejemplo anterior, cloruro de bencilo (un peligro conocido) necesita ser manejado y utilizado en la generación del material y luego regenerado como residuo tras la desprotección.

8.3 Adición de sales, para facilidad de procesamiento

Es común que ciertas sustancias deben formularse o mezclado con otras sustancias con el fin de efectuar sus propiedades de macro o de rendimiento. Propiedades tales como la viscosidad, dispersabilidad, presión de vapor, polarizabilidad, y solubilidad en agua que a menudo deben ser modificados temporalmente con el fin de permitir diversas

necesidades de procesamiento. Estas modificaciones pueden ser tan simples como haciendo que el derivado de sal para permitir la facilidad de procesamiento. Una vez más, cuando se ha completado el requisito funcional, tal como con grupos protectores, el compuesto original se puede regenerar fácilmente. Obviamente, este proceso utiliza material para hacer la sustancia y genera una pérdida en la regeneración de la sustancia original.

8.4 Adición de un grupo funcional sólo para reemplazarlo

Cuando se trata de diseñar una metodología sintética, un químico se esfuerza para alta selectividad en cada reacción. Cuando hay varios sitios reactivos en una molécula, a menudo es aconsejable para dirigir la reacción en el sitio que se desee. Esto se puede lograr por derivatizar primero el sitio de una manera que hará que sea más atractivo para las especies inquietos y proporcionará un buen grupo saliente. Por ejemplo, es común el uso de derivados halogenados para llevar a cabo reacciones de sustitución nucleófila. El halógeno hace que el sitio más atractivo por lo que es más electropositivo y el halógeno en sí sirve como un buen grupo saliente. No hace falta decirlo, existe entonces una necesidad de formar el derivado, que consume los reactivos, y la reacción

de la sustancia a continuación, genera residuos halógenos durante el curso de las reacciones deseadas.

9. Catalizadores emplean (Lo Más selectivos Posible) hijo Superiores a los Reactivos estequiométricos

Hay pocas reacciones en las que el reactante A y el reactivo B forma del producto C en el que todos los átomos contenidos dentro de A y B ahora residen en C, y no se necesitan otros reactivos. En aquellos casos raros, las reacciones estequiométricas son igualmente ambientalmente benigno desde el criterio de uso de material como cualquier otro tipo de reacciones. Sin embargo, es más a menudo el caso con las reacciones estequiométricas que:

- a). Uno de los materiales de partida, A o B, es un reactivo limitante y por lo tanto no habrá material de partida sin reaccionar sobrante, incluso en una reacción con un rendimiento del 100%;
- b). Uno o ambos de los materiales de partida son sólo parcialmente necesario para el producto final y por lo que el equilibrio de las moléculas de ir a la corriente de residuos; o
- c). Se necesitan reactivos adicionales para llevar a cabo o facilitar la reacción y tendrán que ser desechados en el flujo de residuos cuando se ha completado la reacción de los reactivos.

Es por estas razones que los catalizadores, cuando estén disponibles, ofrecen algunas ventajas notables sobre las reacciones típicas estequiométricas en muchos casos.

El papel de los catalizadores es el de facilitar una transformación que se desee sin ser consumida como parte de la reacción y sin ser incorporado en el producto final. Este “facilitación” puede tomar varias formas diferentes, incluyendo:

La mejora de la selectividad. Ha habido una gran cantidad de esfuerzo y enfoque en el área de la selectividad que se ha centrado en la catálisis. La catálisis selectiva se ha alcanzado para asegurar que el grado de reacción que tiene lugar se controla (por ejemplo, monoadiciones vs. múltiple), el sitio de reacción se controla (por ejemplo, C-metilaciones frente a O-metilaciones), y es controlada la estereoquímica (por ejemplo, R vs. S enantiómero). Con los avances en la selectividad catalítica, hay beneficios simultáneos para la química verde. Este es el caso debido a que tanto la utilización de material de partida se ha mejorado y la producción de residuos se reduce al mínimo.

La minimización de la energía. Además de los beneficios en el uso de materiales y la generación, la catálisis ha logrado avances significativos en el área de uso de energía. Al reducir la energía de activación de una ruta de reacción, Los sistemas catalíticos no sólo logran el control, sino también reducen las temperaturas que son necesarias para efectuar una reacción. En los procesos químicos a gran escala de productos básicos, el balance de energía puede ser el factor más importante, tanto desde el punto de vista de evaluación de impacto ambiental, como económico.

En comparación, la catalítica contra los procesos estequiométricos, en mención, la ventaja de catálisis es que, por lo general, mientras que un reactivo estequiométrico

genera un tipo de producto para cada tipo de reactivo usado, un catalizador no realizará miles, sino millones de transformaciones antes de que sea agotado.

10.Productos químicos se diseñarán de manera que al final de su función no persistan en el ambiente y se transformen en productos de degradación inocuos

10.1 La situación actual

Una preocupación importante con respecto a los productos químicos en el medio ambiente es el de los llamados “productos químicos persistentes” o “bioacumuladores persistentes”. Esto significa simplemente que, después de que hayan sido descartados o liberados en el medio ambiente de otro modo, este tipo de sustancias químicas permanecen en la misma forma en el medio ambiente o son absorbidos en varias especies de plantas y animales y se acumulan en sus sistemas. A menudo, esta acumulación es perjudicial para la especie en cuestión, ya sea a través de efectos directos o indirectos a través de la toxicidad.

Dado que el uso que el producto químico fue diseñado para probablemente no dar cuenta de la forma en que afectaría la salud humana y el medio ambiente después de haber sido eliminados, hay muchos problemas heredados a tratar, debido a la existencia de productos químicos que persisten más allá de su tiempo de vida útil.

10.2 La persistencia en el medio ambiente

10.2.1 Plásticos

Los plásticos son una clase común de compuesto que históricamente han sido aclamados por su durabilidad y larga vida. El resultado, sin embargo, fue que, en los vertederos, los océanos y otros medios acuáticos, plásticos causadas preocupaciones ambientales, a menudo como resultado de sus atributos físicos en oposición a sus características químicas. Las aves marinas que ingieren los plásticos no digeribles y similares se convirtieron en un problema y no hubo un esfuerzo por hacer que el plástico se rompiera en el medio ambiente, plástico conocido como “biodegradable”.

10.2.2 Los pesticidas

Muchos pesticidas son estructuras basados en organohalógeno. Estos productos químicos, mientras son eficaces, también tienden a bioacumularse en muchas especies de plantas y animales, a menudo en el tejido adiposo, o células de grasa. Esto puede causar daños tanto a la propia, o, si se consume esa especie, a los seres humanos especie. El pesticida DDT fue uno de los primeros pesticidas de este tipo que se visualizará al exhibir una amplia gama de comportamientos que iban en detrimento de esta manera.

10.2.3. Del mismo modo que el diseño para la función, tenga en cuenta la degradación como una función

Siempre que un producto químico esté siendo diseñado, la primera cosa que se hace, es una evaluación de las propiedades que la sustancia tiene que poseer. En el acercamiento al problema de bioacumulación persistente, las consideraciones de química verde, deberían dirigir la disposición de la sustancia después de que su función es completada,

así como el diseño de la sustancia para alcanzar su función primaria. Si un plástico tiene que servir como una bolsa de basura, por ejemplo, esto tiene que poseer ciertas propiedades y, además de aquellas propiedades, debería ser diseñado de modo que no deje en el tacto, su estado físico en el entorno después de que su tiempo de servicio es terminado.

10.2.4 Diseño de biodegradabilidad

En el diseño de un producto químico para la biodegradabilidad, hay que evaluar en que sustancias, el producto parental se descompondrá. Es posible colocar rasgos y grupos funcionales en la estructura molecular de un producto químico que facilitará su desmontaje. La funcionalidad, que es susceptible al hidrólisis, la fotólisis, u otra hendidura, asegurar que ha sido usada satisfactoriamente y que los productos van al biodegrade.

Es igualmente importante, sin embargo, reconocer que los productos de degradación, mismos pueden poseer toxicidad u otros riesgos que deben evaluarse. Es obvio que, si algunos productos están diseñados para degradarse, en el que las sustancias que representan un mayor riesgo para la salud humana y el medio ambiente, entonces, el objetivo de la química verde no se ha logrado. Al igual que con cualquier otro tipo de producto de la química verde o proceso, los procesos de biodegradación deben incluir los efectos sobre la salud humana, los ecosistemas, la fauna, y la carga total de contaminación.

11. Las metodologías analíticas deben desarrollarse aún más para permitir en tiempo real, durante el proceso de monitoreo y control antes de la formación de sustancias peligrosas

Los químicos analíticos han caracterizado y detectado problemas ambientales desde el inicio del movimiento ambiental. Actualmente un área de interés dentro de la comunidad analítica, es el desarrollo de métodos y tecnologías que permitan la prevención y minimización de la generación de sustancias peligrosas en los procesos químicos.

El desarrollo de la química analítica de procesos para la química verde se basa en la premisa de que “No se puede controlar lo que no se puede medir”. Con el fin de efectuar cambios en los procesos durante su funcionamiento, es necesario tener sensores, monitores y técnicas de análisis precisos y fiables para evaluar los peligros que están presentes en la corriente de proceso.

Con el fin de lograr los objetivos de la química verde, El análisis de las técnicas que se están desarrollando se puede utilizar tanto en el proceso y en tiempo real. El uso de estas características de un proceso químico se puede monitorear para la generación de subproductos peligrosos y las reacciones secundarias. Cuando se detectan estas sustancias tóxicas incluso en los niveles de trazas más pequeñas, puede ser posible ajustar los parámetros del proceso para reducir o eliminar la formación de estas sustancias. Si los sensores están interconectados directamente con controles de proceso, esta minimización de riesgos muy bien puede ser automatizado.

12. Las sustancias y la forma de una sustancia que se utiliza en un proceso químico, deben elegirse de modo que se minimice el potencial de accidentes químicos, incluidos las emanaciones, explosiones y neumáticos

La importancia de la prevención de accidentes en la química y la industria química no puede ser exagerada. Ha habido una serie de accidentes químicos notables que han dado lugar a la movilización de la opinión pública, para controlar el uso de productos químicos. Los accidentes en Bhopal, India y Seveso, Italia, y otros, han dado como resultado la pérdida de cientos de vidas humanas. Los peligros planteados por la toxicidad, explosividad, inflamabilidad y de más, deben ser abordados en el diseño de productos y procesos químicos. Los objetivos de la química verde deben involucrar a toda la gama de riesgos y no enfocarse simplemente en la contaminación o ecotoxicidad.

Es posible aumentar el potencial de accidentes inadvertidamente mientras minimizando la generación de residuos en la prevención de la contaminación. En algunos casos en los que el reciclaje de un disolvente a partir de un proceso puede tener ventajas desde el punto de vista de la prevención de la contaminación y su liberación al medio ambiente, sino que también puede aumentar la posibilidad de un accidente químico o un incendio. Un proceso debe equilibrar el deseo de prevención de la contaminación con el de prevención de accidentes.

Los enfoques para el diseño de la química inherentemente más seguros pueden incluir el uso de sólidos o sustancias de baja presión de vapor en lugar de líquidos volátiles o gases que están asociados con la mayoría de los accidentes químicos. Otros enfoques, incluyen evitar el uso de halógenos moleculares en gran cantidad mediante reactivos sustitución que llevan los halógenos para ser transferidos de una manera más inocua.

La utilización de técnicas de “just-in-time” consiste en la generación y el consumo rápido de sustancias peligrosas contenidas dentro de un proceso. Mediante el empleo de esta tecnología, una empresa química puede eliminar la necesidad de grandes reservas de inventario de sustancias peligrosas que pueden suponer un riesgo significativo de accidente.

Desarrollo Sustentable

Desarrollo Sustentable

El concepto de desarrollo sustentable, tal como se difunde actualmente, puede ubicarse en 1983, cuando la Organización de las Naciones Unidas (ONU) creó la Comisión Sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, presidida por Gro Harlem Brundtland, quien fuera primer ministro de Noruega. El equipo de trabajo, también denominado Comisión Brundtland, efectuó estudios, disertaciones, análisis, debates y consultas públicas, por todo el mundo, durante tres años aproximadamente, finalizando en abril de 1987, con la publicación y divulgación del informe llamado Nuestro Futuro Común mejor conocido como El Informe Brundtland.

En este documento se señala con claridad que la sociedad debe modificar su estilo y hábitos de vida, si no se quiere que la crisis social y la degradación de la naturaleza se extiendan de manera irreversible. Nuestro Futuro Común reconoce que hay asimetrías entre los países y que se profundizan con la pobreza de las naciones en desarrollo; a pesar de esto, la Comisión Brundtland propone objetivos comunes, en un intento de generar una amplia aceptación para unificar las posiciones e intereses de países y sociedades diversas que hacen compleja la interpretación de la idea de sustentabilidad. En el Informe Brundtland se define el concepto de “Desarrollo Sustentable”, de la siguiente manera:

El desarrollo sustentable es el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras, para satisfacer sus propias necesidades. Encierra en sí, dos conceptos fundamentales:

- El concepto de “necesidades”, en particular la necesidad esencial de los pobres a los que debería otorgarse prioridad preponderante;
- La idea de limitaciones impuestas por el estado de la tecnología y la organización social entre la capacidad del medio ambiente para satisfacer las necesidades presentes y futuras

Por consiguiente, los objetivos del desarrollo económico y social se deben definir desde el punto de vista de su sustentabilidad.¹⁰

Esta definición es la más conocida y, de hecho, es la raíz de la cual se desprenden otras conceptualizaciones respecto de la sustentabilidad.

La intención básica del desarrollo sustentable es crear un proceso que permita el desarrollo social, pero de una manera en la que, para las generaciones venideras, deben seguir permaneciendo los recursos naturales y los ecosistemas que garanticen un bienestar y una calidad de vida adecuados.

El desarrollo sustentable no deja de ser desarrollo, pero con un adjetivo que lo califica: sustentabilidad; es decir, debe tener una serie de atributos y características que le permitan su capacidad de permanecer y reproducirse a niveles cada vez más amplios.

Al hablar de un “tipo de desarrollo que permita satisfacer las necesidades de la generación presente, sin poner en riesgo la capacidad de las generaciones futuras para

¹⁰ CMMAD, Nuestro Futuro Común, Madrid, Alianza Editorial, p. 67.

satisfacer las suyas”, es posible observar dos planteamientos; por un lado, existe un componente ético relativo al hombre, pues al pensar en generaciones futuras y no sólo en las generaciones actuales la única razón a la que puede recurrirse es al principio de solidaridad, que es un principio ético; por otro lado, tenemos un componente ecológico relativo a la naturaleza, al hablar de la necesidad de mantener la capacidad de recuperación del ecosistema. Ambos planteamientos se unen en el desarrollo sustentable pensando en una relación en donde los dos salgan beneficiados.

El desarrollo sustentable requiere de una política donde toda actividad productiva se ocupe de satisfacer las necesidades de la población actual, y se preocupe por atender las necesidades de las generaciones futuras, en función de los recursos disponibles, lo que implica orden y límites que deben establecerse a la organización social actual.

A pesar de que en el Informe Brundtland se especifica lo que es Desarrollo Sustentable, el tema queda abierto a distintas interpretaciones pues, en su apartado de conclusiones, Nuestro Futuro Común señala sólo vaguedades para hacerlo operativo:

En su sentido más amplio, la estrategia para el desarrollo sustentable tiende a promover las relaciones armoniosas de los seres humanos entre sí y entre la humanidad y la naturaleza. La consecución de un desarrollo sustentable requiere:

Un sistema político democrático que asegure a sus ciudadanos una participación efectiva en la toma de decisiones;

Un sistema económico capaz de crear excedentes y conocimiento técnico sobre una base autónoma y constante;

Un sistema de producción que cumpla con el imperativo de preservar el medio ambiente;

Un sistema tecnológico capaz de investigar constantemente nuevas soluciones;

Un sistema internacional que promueva modelos duraderos de comercio y finanzas; y,

Un sistema administrativo flexible y capaz de corregirse de manera autónoma.¹¹

A partir de estas recomendaciones se puede establecer que, para lograr la sustentabilidad, es cuestión de buena voluntad, sobre todo de los gobiernos del mundo, ignorando o bien omitiendo deliberadamente, que se vive en un mundo donde los sistemas económicos y políticos contradicen todo principio de sustentabilidad. Lo que cuenta es la sinceridad en la persecución de dichos objetivos y la eficacia con que se corrigen sus desviaciones. En este sentido, el desarrollo sustentable es un proceso de estudio y adaptación, más que un estado definitivo¹² por tanto podemos afirmar que nunca se alcanzará.

Al plantearse de forma tan amplia, el concepto de desarrollo sustentable da espacio, por la falta de certeza en cuanto a la escala geográfica y temporal de su aplicación, a que se genere un debate en torno a su interpretación.

¹¹ Ibidem, pp. 91-92

¹² Ibidem, p. 92.

Sin embargo, el desarrollo sustentable se ha convertido en el referente obligado al que se ha sumado la mayoría de las naciones y sus gobiernos; pues el discurso se legitimó, oficializó y difundió ampliamente a partir de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, llevada a cabo en Río de Janeiro en 1992, conocida como "Cumbre de la Tierra".

La Agenda 21 es un marco de referencia para normar el proceso de desarrollo, acorde con los principios de la sustentabilidad. Fue el resultado más importante de la Cumbre de Río.

De esta forma, desarrollo sustentable ha pasado a ser una expresión que no debe faltar en los discursos políticos o académicos, a sabiendas de que quienes la enuncian por lo regular ignoran cuál es su significado y nunca harán ningún esfuerzo por convertir esas palabras en realidad tangible.

Los distintos enfoques

Como es lógico, dada su carga moral, el desarrollo sustentable tiene aceptación universal y no tendría por qué presentarse a debate, pero la unanimidad en torno al concepto no ha significado la unanimidad de criterios, de hecho, de él se dan varias interpretaciones, algunas incompatibles entre sí. El desarrollo sustentable es un concepto que, por su falsa sencillez, provoca confusiones, algunas verdaderas, otras deliberadas y unas, producto de la ignorancia pues, sin conocimiento de causa, actualmente hay grupos, individuos y Estados que declaran ser "sustentables", porque equivale a ser "actual", defensor de la naturaleza y con cualidades morales muy por encima de los mundanos intereses de la política.

Así es como existe una discusión estéril entre lo que es sostenible y lo que es sustentable, se buscan las diferencias entre los términos y existe quien llega a sacar conclusiones sorprendentes, aunque, lamentablemente, sin valor alguno; como las siguientes: sostenible se refiere a lo local, sustentable a lo global; sostenible es la teoría, sustentable es la aplicación; sostenible es permanente en el tiempo y el espacio, sustentable es lo inmediato y concreto.

Las disertaciones anteriores son resultado de la falta de información, pues la única diferencia entre una y otra denominación es la traducción que se hizo del término en inglés sustainable development, algunos hablantes hispanos lo tradujeron como sostenible y otros como sustentable, de hecho, lo que denota el término sustentable es su origen mexicano, pues es en México donde se emplea, mientras que en el resto del mundo de habla hispana se prefiere hablar de desarrollo sostenible.

Lo que sí es un hecho es la abundancia de definiciones parciales, manipuladas, confusas o erróneas que deforman la idea verdadera. Habiendo así una disputa por la comprensión e interpretación del desarrollo sustentable.

El doctor Paolo Bifani, en su obra Medio Ambiente y Desarrollo, opina que las múltiples definiciones de sustentabilidad por lo general aíslan algunos elementos del cuerpo orgánico conceptual del cual son parte integral, de esta manera Bifani distingue y describe cuatro enfoques:

El enfoque ecologista

Este enfoque reduce el concepto a la mera sustentabilidad ecológica, preocupándose solamente de las condiciones necesarias para mantener la vida humana a lo largo de las generaciones futuras y desentendiéndose del aspecto distributivo. Enfatiza los límites ecológicos y la imposibilidad de crecimiento continuo en un planeta finito. No resalta la solidaridad con las generaciones futuras y no considera los aspectos distributivos entre las generaciones actuales.

La idea subyacente es que el desarrollo sustentable requiere que la magnitud del sistema económico se mantenga dentro de los márgenes de la capacidad de carga de la naturaleza. La sustentabilidad sólo puede entenderse como desarrollo sin aumentos cuantitativos por ser éstos imposibles, más allá de una escala que exceda la capacidad de carga.

El enfoque puramente ecológico no identifica los requisitos económicos y sociales de la sustentabilidad, limitándose, por consiguiente, a la prescripción de un crecimiento poblacional y económico cero, sostiene que una gran parte de la contaminación y del daño a la naturaleza es causado por las tendencias de la sociedad hacia el incremento de la producción y el consumo.

El enfoque intergeneracional

En este enfoque el desarrollo sustentable se refiere a la necesidad de preservar la naturaleza, a fin de que las generaciones futuras puedan maximizar sus opciones en su aprovechamiento e incrementar así su bienestar. La definición se centra en la responsabilidad de la actual generación respecto de las futuras. El desarrollo sustentable consiste en ser justo con el futuro, por lo que la generación presente debe desarrollar los medios para que los que vendrán hereden los mismos recursos con los que hoy se cuenta.

El enfoque intergeneracional ignora la posibilidad de aumentar el acervo de recursos por nuevos descubrimientos, mayores conocimientos y avances tecnológicos y la posibilidad de sustituir recursos escasos por otros abundantes.

El enfoque puramente intergeneracional es también controvertido por el énfasis en la solidaridad con el futuro, ignorando el presente. Se ignora el aspecto distributivo, pues hay un énfasis en la equidad intergeneracional, en detrimento de la equidad intrageneracional.

Enfoque económico

Este enfoque puede argumentarse a partir del informe Brundtland que dice lo siguiente:

“Vemos la posibilidad de una nueva era de crecimiento económico que ha de fundarse en políticas que sostengan y amplíen la base de recursos del medio ambiente; y creemos que ese crecimiento es absolutamente indispensable para aliviar la gran pobreza que

sigue acentuándose en buena parte del mundo en desarrollo”.¹³ El crecimiento económico a ultranza se ve como condición del desarrollo sustentable.

Se dice que el desarrollo sustentable debe combinarse con el crecimiento económico, con el fortalecimiento de la competitividad, con una mejor gestión de la naturaleza y con la biodiversidad, así como con un descenso, en términos absolutos, de las emisiones peligrosas para el medio ambiente. Esta concepción apuesta por un “crecimiento inteligente” de la economía, suponiendo que disminuye la presión general sobre el medio ambiente.

Se sostiene que es natural que la humanidad luche por el continuo crecimiento de la producción y el consumo. La idea básica es que el crecimiento económico es una condición necesaria para aumentar la protección y la renovación medioambiental. El crecimiento económico se considera vital para el desarrollo sustentable del mundo.

Enfoque sectorial

La sustentabilidad es en esta perspectiva sólo una de las propiedades o criterios para medir el desempeño de una actividad productiva en concreto. En este sentido se refiere a que un sector productivo en específico será sustentable, si es que el proceso productivo no impacta al medio ambiente y, a la vez, sea redituable en lo económico. El enfoque sectorial se limita sobre todo a planear adecuadamente las actividades a desarrollar, realiza planes diversos de uso de recursos naturales, efectúa estudios regionales de ordenamiento de recursos, estudios costobeneficio de proyectos de desarrollo, estudios de riesgo y de impacto ambiental, con un rango micro de regionalización y seleccionando la tecnología menos dañina a la naturaleza. Además, los procesos productivos deben ser compatibles con la vocación de uso del suelo, a la vez que, en la organización social se toman decisiones consensuadas y los beneficios económicos de la producción se distribuyen equitativamente entre los actores participantes del proceso productivo.

Este enfoque es sumamente restringido, tanto en espacio como en actividad y en número de individuos involucrados; sin embargo, hasta el momento ha sido la única manera de hacer operativas algunas ideas de la sustentabilidad, pero es claro que casos aislados, en pequeña escala y sectoriales, no son, ni llevarán nunca a un desarrollo sustentable. Actividades como la agricultura sustentable, el ecoturismo la industria limpia, la pesca sustentable, etc, son resultado de enfoques sectoriales del desarrollo sustentable.

Un enfoque más que Bifani no considera, pero que también existe, es el de la sustentabilidad por gestión.

Sustentabilidad como gestión

El punto de partida de este enfoque es que la humanidad está obligada a cultivar y conservar la tierra como un buen gestor. Los riesgos medioambientales del crecimiento económico no se consideran insuperables y existe un optimismo generalizado sobre la disponibilidad futura de recursos naturales. Según este enfoque, se encontrarán las

¹³ Ibidem, pp. 21-22.

soluciones tecnológicas para la mayoría de los problemas ambientales. Los cambios ecológicos y económicos graduales producirán los resultados necesarios y asegurarán una gestión aceptable del mundo natural. La política ambiental se ve como un impulso necesario y bienvenido para el cambio, para la renovación técnica, económica y cultural. Se considera que el desafío del desarrollo sustentable es una causa decisiva de innovación y mejoramiento de la estructura económica. La contribución de las nuevas tecnologías a la consecución de objetivos medioambientales es amplia. Se cree que la integración del medio ambiente y la economía se realizarán por medio de revoluciones tecnológicas.

El desarrollo sustentable tiene que ver, por consiguiente, con la formulación, concertación y gestión de un nuevo tipo de políticas públicas, así como con el potenciamiento de los actores sociales colectivos, de tal suerte que las decisiones concertadas y planificadas, que guíen las actuales y futuras inversiones públicas y privadas, tomen en cuenta los criterios de balance y resguardo de la capacidad reproductiva y regenerativa de los distintos tipos de capital: el humano, el natural, la infraestructura física, el económico y financiero y, finalmente, el institucional.

Por todo lo anterior se puede mencionar que, a partir de los principales enfoques podemos observar que las posiciones extremas oscilan entre las que creen que es posible crecer físicamente y aquellas que consideran que el desarrollo sustentable tiene que ver más con la protección y conservación de la naturaleza. Cada uno de ellos es una expresión cerrada, de un punto de vista particular, de un grupo que enfoca "su verdad", pero que no toma en cuenta la verdad que encierran los puntos de vistas de los demás, las diversas interpretaciones se determinan por el contexto socioeconómico, político, científico e ideológico que rodea a quien expone su posición sobre la sustentabilidad. Esto hace concluir que se trata de un concepto difuso, de difícil delimitación y definición absoluta, cuyo atractivo consiste en que pretende solucionar los dos grandes problemas causados por el crecimiento económico la desigualdad social y la crisis ecológica sin renunciar al desarrollo.

A pesar de su rápida aceptación y divulgación como expresión concentrada de un estilo de desarrollo más humano y equitativo, se destaca el carácter ambiguo de esta tesis, lo que ha condicionado la aparición de múltiples definiciones del desarrollo sustentable, en función de los intereses de los actores y de las circunstancias concretas de cada caso.

A pesar de dichas divergencias, que se mantienen hasta ahora, la discusión ha contribuido, al menos, a la aceptación de que el desarrollo sustentable constituye un concepto multidimensional que involucra, como mínimo, dimensiones económicas, sociales y ambientales. Es decir, se trata de una idea amplia y compleja, que desborda el constructo teórico tradicional de las ciencias y que, a la vez, es una idea que no puede materializarse, por lo que es necesario un ejercicio interdisciplinario de acercamiento y reconocimiento en un intercambio racional de ideas de las diversas ramas del conocimiento en torno a la propuesta de sustentabilidad, pues ésta puede y debe abordarse desde diversos ángulos y saberes para dar solución al deterioro social, económico y ecológico.

Por ello, el desarrollo sustentable envuelve tres ámbitos fundamentales de acción: el bienestar humano, el bienestar ecológico y sus interrelaciones. Se trata de un enfoque sistémico o integrador del desempeño económico y medioambiental, en el que el crecimiento económico debe ser suficiente para resolver el problema de la pobreza y, al mismo tiempo, ser sustentable para evitar una crisis medioambiental. Igualmente se toma en consideración la equidad entre generaciones, esto es, una toma de conciencia por parte de la generación actual, de que sus acciones pueden poner en riesgo la calidad de vida de las generaciones futuras. El propósito es dirigir la acción de los actores sociales para que los recursos naturales sean administrados con justicia y sabiduría, como un principio para el establecimiento y el sostenimiento de la paz.

El concepto de desarrollo sustentable es un concepto fluido que continuará evolucionando a través del tiempo, e incluso puede cambiar de denominación; sin embargo, todo parece indicar que la idea de fondo, la de hacer compatible el medio ambiente con el desarrollo, seguirá vigente mientras la humanidad no supere esta contradicción, pues la idea de un medio ambiente amenazado, ha pasado a formar parte de la conciencia colectiva.

Es importante el desarrollo de productos químicos seguros que cumplan su función sin causar riesgos a la salud o al medio ambiente, y en cuya manufactura se optimice el uso de los combustibles para disminuir la emisión de gases tóxicos, o reemplazar dichos recursos por energías alternativas como la energía solar o la eólica.

Además, el desarrollo, sustentable a través de la química verde busca promover el manejo de materias primas renovables o productos de la naturaleza como aquellos que provienen de la siembra y cosecha vegetal, de origen animal, agua, aire, suelo, puesto que oxígeno, agua, sílice y similares, son los únicos desechos que admite este enfoque.

Finalmente, se debe hacer un esfuerzo por desarrollar métodos de análisis que permitan controlar las emisiones tóxicas de las plantas químicas, con el objeto de contar con los mejores indicadores que permitan tomar los correctivos cuando sea necesario.

Pero, ¿qué se está haciendo para promover la química verde? Las respectivas propuestas se están generando desde entidades académicas de prestigio internacional, sociedades de química, agencias o ministerios de protección del medioambiente y en las propias universidades y centros de investigación. Asimismo, desde la Universidad de Los Andes también se adelantan investigaciones basadas en la filosofía de la química verde y, desde varios laboratorios de Química, se propone el uso de la catálisis bifásica, un proceso químico que utiliza agua como disolvente en el mejoramiento de combustibles.

También se están desarrollando procedimientos de análisis con el objeto de controlar la calidad del agua y el aire, así como de los desechos residuales de las industrias; incluso, se están adelantando investigaciones sobre celdas de combustible, como una propuesta alternativa en la generación de energía limpia, pues se obtiene como desecho simplemente agua. Sin embargo, aún falta mucho por hacer, quedan muchos campos de investigación por apoyar, para dar una respuesta inteligente a los graves problemas medioambientales mediante la química verde, que es, sin lugar a dudas, una nueva forma de hacer química.

Áreas de atención

Áreas de atención

Las áreas de interés, provenientes de la industria, para la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) son:

- Producción y manejo de sustancias químicas con características de peligrosidad.
- Residuos peligrosos.
- Emisiones a la atmósfera.

La siguiente imagen (Fig. 3), muestra el escenario ideal que beneficiaría el sistema social, medioambiente y económico, con mayor énfasis en las áreas de interés de la Dirección General de Industria de la SEMARNAT.

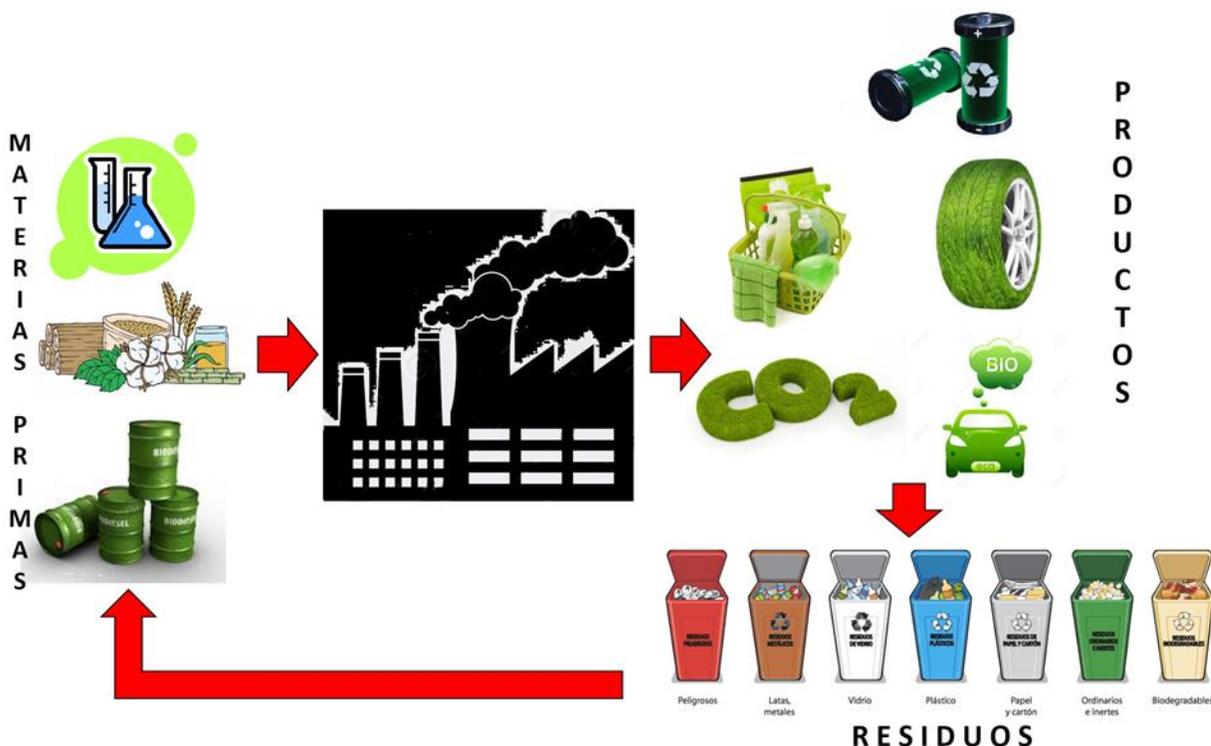


Fig. 3 Ciclo ideal que incita a la práctica de la química verde

Dichas áreas, se abordarán con los enfoques correspondientes que contribuyan al desarrollo sustentable con base en los 12 principios de la química verde que se definieron teóricamente en párrafos arriba.

El Sector industrial (empresas manufactureras) lo integran 2,665 empresas, en las que en su mayoría el personal tiene contacto con alguna sustancia química peligrosa y las cuales en sus procesos emiten contaminantes que pongan en peligro al medio ambiente.

La Industria Química

La importancia de la Industria Química radica en la transformación del petróleo y gas para producir una gran variedad de productos que incluyen desde materiales de uso generalizado, hasta materiales de alto contenido tecnológico y de vanguardia para otras industrias. Es una industria clave para integrar cadenas productivas, ya que demanda insumos de más de 30 ramas industriales y provee a más de 40 ramas industriales, de las cuales se pueden mencionar algunas como: automotriz, textil, vestido, construcción, agricultura, electrodomésticos, entre otras.

En 2014, México ocupó el 4to. lugar en valor de mercado en el continente americano con 35.8 mil millones de dólares (mmdd), es decir, 3.8% del valor del mercado químico, detrás de EE.UU. con 602.2 mmdd (64.3%), Brasil con 167.3 mmdd (17.9%) y Canadá con 47.9 mmdd (5.1%).

En 2015, esta industria ocupó el 3er. lugar en valor del PIB dentro de las manufacturas con 10.7%, sólo detrás de la industria alimentaria con 20.8% y la de fabricación de equipo de transporte con 19.1%.

Inversión Extranjera Directa

De 2007 a 2015, los países del Tratado de Asociación Transpacífico (TPP) canalizaron 7,288.4 Millones de dólares (Mdd) de inversiones directas hacia la industria química de México, lo que representa el 48.6% del total de IED recibida en esta industria.

Los países inversionistas son, principalmente, EE.UU. (95.6%); Japón (2.1%); y Canadá (1.6%); Perú, Chile, Australia, Singapur y Nueva Zelandia aportaron el 0.7%.

Impacto ambiental y social

Se entiende por impacto ambiental el efecto que produce una determinada acción humana sobre el medio ambiente en sus distintos aspectos. El concepto puede extenderse, con poca utilidad, a los efectos de un fenómeno natural catastrófico. Técnicamente, es la alteración de la línea de base, debido a la acción antrópica o a eventos naturales.

Las acciones humanas, motivadas por la consecución de diversos fines, provocan efectos colaterales sobre el medio natural o social.

La industria química es la más contaminante del planeta, responsable de todas las grandes empresas y fábricas que contaminan el mundo. Desde la fabricación de autos, obtención y refinación del petróleo, etc., sin embargo, actualmente la humanidad parece depender demasiado de ella, todos usamos shampoo, jabón, comemos embutidos, enlatados, etc., todo desarrollado por la industria química, además de utilizar auto, etc.

La química industrial influye de forma permanente al aumento de la calidad de vida en nuestra sociedad, pero esta posee un aspecto negativo común a todas las actividades industriales, y es la gran generación de productos de residuo, y la contaminación ambiental, que aunque es un tema que se intenta controlar en la actualidad, necesita una continuada revisión. Otro tema importante actualmente son los plaguicidas, utilizados para las mejoras en la eficacia de la agricultura, pero tienen el inconveniente de que pueden incorporarse en nuestros alimentos y ser ingeridos.

Todo lo que existe en el Universo está construido con 118 elementos. Sin embargo, no todas las personas tienen una imagen clara de la importancia de la química en la vida diaria. La química es, desde el punto de vista científico, el origen de la materia, todo lo que es materia, lo que se puede palpar es la base de la química'. La química se encuentra en prácticamente todos los productos que se utilizan en las actividades del ser humano: en los detergentes, jabones, cremas, champúes; en la comida enlatada, al usar una computadora, en el motor del auto, en los perfumes y lociones. Actualmente continúa generando productos de alto rendimiento por medio de la creación de moléculas a través de nanotecnología, como el caso de las cerámicas y las pinturas.

Tierra se empezó a contaminar a partir de la invención del fuego, pero fue con la revolución industrial que el ser humano empezó a incorporar al ambiente un sinnúmero de sustancias y elementos químicos que han deteriorado la calidad del ambiente de forma impresionante. Esto ha dado origen a una serie de enfermedades de todo tipo, predominando las enfermedades alérgicas, pero también producen enfermedades crónicas, anomalías congénitas y trastornos en la reproducción, envenenamientos, dermatitis, problemas en el crecimiento y desarrollo integral y en el aprendizaje, entre otros. Entre los principales contaminantes están gases tóxicos como el ozono o el monóxido de carbono, los hidrocarburos, las partículas de metales, los aerosoles.

Contaminación del medio ambiente

- Agua: los desechos de las compañías químicas y que generan residuos tóxicos que, aunque deben estar regulados por las leyes.
- Aire: gases tóxicos producidos por las actividades de todas las industrias fármaco químicas y químicas por el consumo de energéticos fósiles (que se generan en todas las actividades del hombre hoy en día) y residuos de producción.
- Tierra: contaminación por organofosfatos utilizados en la industria agropecuaria que fueron producidos más concentrados y "mejores" para que las cosechas fueran mejores.

En la naturaleza existen algunos elementos que debido a su estructura o en combinación con otros en forma de compuestos, son perjudiciales al hombre, ya que son agentes contaminadores del medio ambiente; en especial del aire, agua y suelo, o bien, porque ocasionan daños irreversibles al ser humano, como la muerte.

Se puede concluir que el uso de elementos y de compuestos dentro de la industria química es muy importante ya que estos se usan para realizar producto de necesidad en la sociedad, y que, aunque puedan generar grandes ganancias tanto a las industrias como a los países; el uso indebido o el no acatar reglas para el correcto desecho de las sustancias puede generar grandes catástrofes ambientales. Es por esto que se debe de mejorar los procesos y buscar alternativas que sean amigables con el ambiente, así como también acatar las leyes ambientales, para así frenar un poco el daño al medio ambiente.

Los residuos peligrosos

Con base en Ley General de Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR), Artículo 5 FRACC. XXXII: Son aquellos con características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, (Fig. 3) o agentes infecciosos que le confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio.

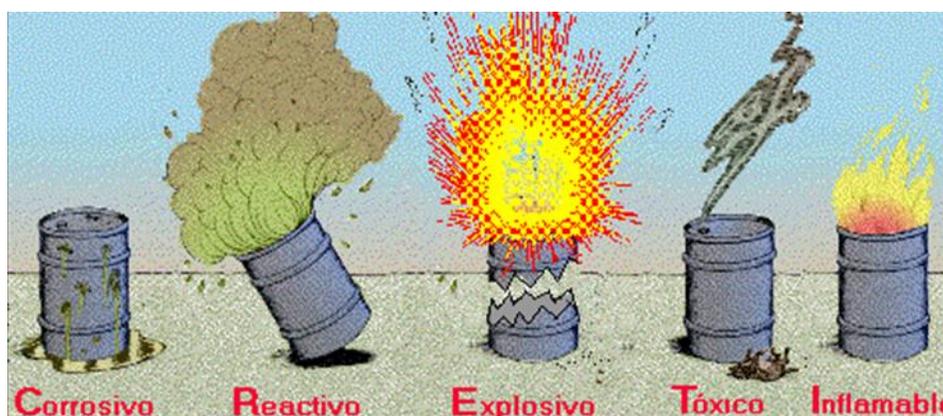


Fig. 4 Características que hacen a un residuo peligroso

Es Corrosivo cuando una muestra representativa presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

- Es un líquido acuoso y presenta un pH menor o igual a 2,0 o mayor o igual a 12,5.
- Es un sólido que cuando se mezcla con agua destilada presenta un pH menor o igual a 2,0 o mayor o igual a 12,5.
- Es un líquido no acuoso capaz de corroer el acero al carbón, tipo SAE 1020, a una velocidad de 6,35 milímetros o más por año a una temperatura de 328 K (55°C).



Fig. 5 Pictograma de corrosividad

Es Reactivo cuando una muestra representativa presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

Es un líquido o sólido que después de ponerse en contacto con el aire se inflama en un tiempo menor a 5 minutos sin que exista una fuente externa de ignición.

- Cuando se pone en contacto con agua reacciona espontáneamente y genera gases inflamables en una cantidad > 1 lt / kg de residuo por hora.
- Es un residuo que en contacto con el aire y sin una fuente de energía suplementaria genera calor.
- Posee en su constitución cianuros o sulfuros liberables, que cuando se expone a condiciones ácidas genera gases en cantidades > a 250 mg de ácido cianhídrico por kg de residuo o 500 mg de ácido sulfhídrico por kg de residuo.
- Es Explosivo al producir una reacción o descomposición detonante o explosiva solo o en presencia de una fuente de energía o si es calentado bajo confinamiento.
- Esta característica no debe determinarse mediante análisis de laboratorio, la identificación sólo debe estar basada en el conocimiento del origen o composición del residuo.



Fig. 6 Pictograma de explosividad.

Es Tóxico Ambiental cuando:

- El extracto PECT, obtenido mediante el procedimiento establecido en la NOM-053-SEMARNAT-1993, contiene cualquiera de los constituyentes tóxicos listados en la Tabla 2 de esta Norma en una concentración mayor a los límites ahí señalados.



Fig. 7 Pictograma de toxicidad ambiental

Es Inflamable cuando una muestra representativa presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

- Es un líquido o una mezcla de líquidos que contienen sólidos en solución o suspensión que tiene un punto de inflamación inferior a $60,5^{\circ}\text{C}$, medido en copa cerrada
- Es un líquido o una mezcla de líquidos que contienen sólidos en solución o suspensión que tiene un punto de inflamación inferior a $60,5^{\circ}\text{C}$, medido en copa cerrada.
- No es líquido y es capaz de provocar fuego por fricción, absorción de humedad o cambios químicos espontáneos a 25°C .
- Es un gas que, a 20°C y una presión de $101,3\text{ kPa}$, arde cuando se encuentra en una mezcla del 13% o menos por volumen de aire, o tiene un rango de inflamabilidad con aire de cuando menos 12% sin importar el límite inferior de inflamabilidad.
- Es un gas oxidante que puede causar o contribuir más que el aire, a la combustión de otro material.



Fig. 8 Pictograma de inflamabilidad.

Los Residuos Peligrosos Biológico Infecciosos (RPBI): Materiales generados durante los servicios de atención médica que contengan agentes biológico-infecciosos, y que puedan causar efectos nocivos a la salud y al ambiente.



Fig. 9 Pictograma de residuos peligrosos biológico infecciosos

Emisiones a la atmósfera

También, se entienden por contaminación atmosférica a la presencia en la atmósfera de sustancias en una cantidad que implique molestias o riesgo para la salud de las personas y de los demás seres vivos, vienen de cualquier naturaleza, así como que puedan atacar a distintos materiales, reducir la visibilidad o producir olores desagradables. El nombre de la contaminación atmosférica se aplica por lo general a las alteraciones que tienen efectos perniciosos en los seres vivos y los elementos materiales, y no a otras alteraciones inocuas. Los principales mecanismos de contaminación atmosférica son los procesos industriales que implican combustión, tanto en industrias como en automóviles y calefacciones residenciales, que generan dióxido y monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y azufre, entre otros contaminantes. Igualmente, algunas industrias emiten gases nocivos en sus procesos productivos, como cloro o hidrocarburos que no han realizado combustión completa. La contaminación atmosférica puede tener carácter local, cuando los efectos ligados al foco se sufren en las inmediaciones del mismo, o planetario, cuando por las características del contaminante, se ve afectado el equilibrio del planeta y zonas alejadas a las que contienen los focos emisores.

La contaminación atmosférica puede tener carácter local, cuando los efectos ligados al foco se sufren en las inmediaciones del mismo, o planetario, cuando por las características del contaminante, se ve afectado el equilibrio del planeta y zonas alejadas a las que contienen los focos emisores.

Contaminantes atmosféricos primarios y secundarios

Los contaminantes primarios son los que se emiten directamente a la atmósfera como el dióxido de azufre SO_2 que daña directamente la vegetación y es irritante para los pulmones. Los contaminantes secundarios son aquellos que se forman mediante procesos químicos atmosféricos que actúan sobre los contaminantes primarios o sobre especies no contaminantes en la atmósfera. Son importantes contaminantes secundarios el ácido sulfúrico, H_2SO_4 , que se forma por la oxidación del SO_2 , el dióxido de nitrógeno NO_2 , que se forma al oxidarse el contaminante primario NO y el ozono, O_3 , que se forma a partir del oxígeno O_2 .

Ambos contaminantes, primarios y secundarios pueden depositarse en la superficie de la tierra por precipitación. El nitrometano es un compuesto orgánico de fórmula química CH_3NO_2 . Es el nitrocompuesto o nitroderivado más simple. Similar en muchos aspectos al nitroetano, el nitrometano es un líquido ligeramente viscoso, altamente polar, utilizado comúnmente como disolvente en muchas aplicaciones industriales, como en las extracciones, como medio de reacción, y como disolvente de limpieza. Como producto intermedio en la síntesis orgánica, se utiliza ampliamente en la fabricación de productos farmacéuticos, plaguicidas, explosivos, fibras, y recubrimientos. También se utiliza como combustible de carreras de coches modificados para sufrir grandes aceleraciones (dragsters), y en motores de combustión interna usados para coches en miniatura, por ejemplo, en los modelos de radio-control. deposición seca o húmeda e impactar en determinados receptores, como personas, animales, ecosistemas acuáticos, bosques, cosechas y materiales. En todos los países existen unos límites impuestos a determinados contaminantes que pueden incidir sobre la salud de la población y su bienestar.

En España existen funcionando en la actualidad diversas redes de vigilancia de la contaminación atmosférica, instaladas en las diferentes Comunidades Autónomas y que efectúan medidas de una variada gama de contaminantes que abarcan desde los óxidos de azufre y nitrógeno hasta hidrocarburos, con sistemas de captación de partículas, monóxido de carbono, ozono, metales pesados, etc.

Principales tipos de contaminantes del aire

Contaminantes gaseosos: en ambientes exteriores e interiores los vapores y contaminantes gaseosos aparece en diferentes concentraciones. Los contaminantes gaseosos más comunes son el dióxido de carbono, el monóxido de carbono, los hidrocarburos, los óxidos de nitrógeno, los óxidos de azufre y el ozono. Diferentes fuentes producen estos compuestos químicos pero la principal fuente artificial es la quema de combustible fósil. La contaminación del aire interior es producida por el consumo de tabaco, el uso de ciertos materiales de construcción, productos de limpieza y muebles del hogar. Los contaminantes gaseosos del aire provienen de volcanes, e industrias. El tipo más comúnmente reconocido de contaminación del aire es la niebla tóxica (smog). La niebla tóxica generalmente se refiere a una condición producida por la acción de la luz solar sobre los gases de escape de automotores y fábricas.

Gases contaminantes de la atmósfera

CFC

Desde los años 1960, se ha demostrado que los clorofluorocarbonos (CFC, también llamados "freones") tienen efectos potencialmente negativos: contribuyen de manera muy importante a la destrucción de la capa de ozono en la estratosfera, así como a incrementar el efecto invernadero. El protocolo de Montreal puso fin a la producción de la gran mayoría de estos productos.

- Utilizados en los sistemas de refrigeración y de climatización por su fuerte poder conductor, son liberados a la atmósfera en el momento de la destrucción de los aparatos viejos.

- Utilizados como propelente en los aerosoles, una parte se libera en cada utilización. Los aerosoles utilizan de ahora en adelante otros gases sustitutivos, como el CO₂.

Monóxido de carbono

Es uno de los productos de la combustión incompleta. Es peligroso para las personas y los animales, puesto que se fija en la hemoglobina de la sangre, impidiendo el transporte de oxígeno en el organismo. Además, es inodoro, y a la hora de sentir un ligero dolor de cabeza ya es demasiado tarde. Se diluye muy fácilmente en el aire ambiental, pero en un medio cerrado, su concentración lo hace muy tóxico, incluso mortal. Cada año, aparecen varios casos de intoxicación mortal, a causa de aparatos de combustión puestos en funcionamiento en una habitación mal ventilada.

Los motores de combustión interna de los automóviles emiten monóxido de carbono a la atmósfera por lo que en las áreas muy urbanizadas tiende a haber una concentración excesiva de este gas hasta llegar a concentraciones de 50-100 ppm, tasas que son peligrosas para la salud de las personas.

Dióxido de carbono

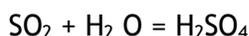
La concentración de CO₂ en la atmósfera está aumentando de forma constante debido al uso de carburantes fósiles como fuente de energía y es teóricamente posible demostrar que este hecho es el causante de producir un incremento de la temperatura de la Tierra - efecto invernadero- La amplitud con que este efecto puede cambiar el clima mundial depende de los datos empleados en un modelo teórico, de manera que hay modelos que predicen cambios rápidos y desastrosos del clima y otros que señalan efectos climáticos limitados. La reducción de las emisiones de CO₂ a la atmósfera permitiría que el ciclo total del carbono alcanzara el equilibrio a través de los grandes sumideros de carbono como son el océano profundo y los sedimentos.

Monóxido de nitrógeno

También llamado óxido de nitrógeno (II) es un gas incoloro y poco soluble en agua que se produce por la quema de combustibles fósiles en el transporte y la industria. Se oxida muy rápidamente convirtiéndose en dióxido de nitrógeno, NO₂, y posteriormente en ácido nítrico, HNO₃, produciendo así lluvia ácida.

Dióxido de azufre

La principal fuente de emisión de dióxido de azufre a la atmósfera es la combustión del carbón que contiene azufre. El SO₂ resultante de la combustión del azufre se oxida y forma ácido sulfúrico, H₂SO₄ un componente de la llamada lluvia ácida que es nocivo para las plantas, provocando manchas allí donde las gotitas del ácido han contactado con las hojas.



La lluvia ácida se forma cuando la humedad en el aire se combina con el óxido de nitrógeno o el dióxido de azufre emitido por fábricas, centrales eléctricas y automotores que queman carbón o aceite. Esta combinación química de gases con el vapor de agua forma el ácido sulfúrico y los ácidos nítricos, sustancias que caen en el suelo en forma de precipitación o lluvia ácida. Los contaminantes que pueden formar la lluvia ácida pueden recorrer grandes distancias, y los vientos los trasladan miles de kilómetros antes de precipitarse con el rocío, la llovizna, o lluvia, el granizo, la nieve o la niebla normales del lugar, que se vuelven ácidos al combinarse con dichos gases residuales.

El SO_2 también ataca a los materiales de construcción que suelen estar formados por minerales carbonatados, como la piedra caliza o el mármol, formando sustancias solubles en el agua y afectando a la integridad y la vida de los edificios o esculturas.

Metano

El metano, CH_4 , es un gas que se forma cuando la materia orgánica se descompone en condiciones en que hay escasez de oxígeno; esto es lo que ocurre en las ciénagas, en los pantanos y en los arrozales de los países húmedos tropicales. También se produce en los procesos de la digestión y defecación de los animales herbívoros. El metano es un gas de efecto invernadero que contribuye al calentamiento global del planeta Tierra ya que aumenta la capacidad de retención del calor por la atmósfera.

Ozono

El ozono O_3 es un constituyente natural de la atmósfera, pero cuando su concentración es superior a la normal se considera como un gas contaminante.

Su concentración a nivel del mar, puede oscilar alrededor de $0,01 \text{ mg kg}^{-1}$. Cuando la contaminación debida a los gases de escape de los automóviles es elevada y la radiación solar es intensa, el nivel de ozono aumenta y puede llegar hasta $0,1 \text{ kg}^{-1}$

Las plantas pueden ser afectadas en su desarrollo por concentraciones pequeñas de ozono. El hombre también resulta afectado por el ozono a concentraciones entre $0,05$ y $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$, causándole irritación de las fosas nasales y garganta, así como sequedad de las mucosas de las vías respiratorias superiores.

Efectos de los gases de la atmósfera en el clima

- Efectos climáticos: generalmente los contaminantes se elevan o flotan lejos de sus fuentes sin acumularse hasta niveles peligrosos. Los patrones de vientos, las nubes, la lluvia y la temperatura pueden afectar la rapidez con que los contaminantes se alejan de una zona. Los patrones climáticos que atrapan la contaminación atmosférica en valles o la desplacen por la tierra pueden, dañar ambientes limpios distantes de las fuentes originales. La contaminación del aire se produce por toda sustancia no deseada que llega a la atmósfera. Es un problema principal en la sociedad moderna. A pesar de que la contaminación del aire es generalmente un problema peor en las ciudades, los contaminantes afectan el aire en todos lugares. Estas sustancias incluyen varios gases y partículas minúsculas o materia de partículas

que pueden ser perjudiciales para la salud humana y el ambiente. La contaminación puede ser en forma de gases, líquidos o sólidos. Muchos contaminantes se liberan al aire como resultado del comportamiento humano. La contaminación existe a diferentes niveles: personal, nacional y mundial.

- El efecto invernadero evita que una parte del calor recibido desde el sol deje la atmósfera y vuelva al espacio. Esto calienta la superficie de la tierra. Existe una cierta cantidad de gases de efecto de invernadero en la atmósfera que son absolutamente necesarios para calentar la Tierra, pero en la debida proporción. Actividades como la quema de combustibles derivados del carbono aumentan esa proporción y el efecto invernadero aumenta. Muchos científicos consideran que como consecuencia se está produciendo el calentamiento global. Otros gases que contribuyen al problema incluyen los clorofluorocarbonos (CFCs), el metano, los óxidos nitrosos y el ozono.
- Daño a la capa de ozono: el ozono es una forma de oxígeno O₃ que se encuentra en la atmósfera superior de la tierra. El daño a la capa de ozono se produce principalmente por el uso de clorofluorocarbonos (CFCs). La capa fina de moléculas de ozono en la atmósfera absorbe algunos de los rayos ultravioletas (UV) antes de que lleguen a la superficie de la tierra, con lo cual se hace posible la vida en la tierra. El agotamiento del ozono produce niveles más altos de radiación UV en la tierra, con lo cual se pone en peligro tanto a plantas como a animales.

Contribuciones ambientales que encaminan a la industria verde

Contribuciones ambientales que encaminan a la industria verde

Para llevar a cabo el desarrollo sustentable a través acciones que beneficien al sistema de relación productivo-medio ambiente se deben contar con conocimientos en procesos industriales sostenibles, principios de ingeniería química, fundamentos de química verde e ingeniería verde, diseño integrado de la cuna a la cuna.

Principios de la Ingeniería para el Diseño de Procesos y Plantas Industriales

Selección de etapas para transformar las materias primas e insumos en productos y subproductos, mediante el consumo racional de energía. Selección de equipos para favorecer la transferencia de masa y energía. Diseño de equipos para efectuar reacciones químicas con elevados rendimientos. Minimización de costos asociados a la producción, sin descuidar los costos ambientales (control de contaminantes, tratamiento de residuos y manejo de desechos).

Importancia del medio ambiente para la industria

En general, una gran parte de la sociedad se ha beneficiado de los productos y el bienestar creado por la industria; pero durante años, el sector industrial químico no tuvo en cuenta los impactos negativos que sus actividades generaban en el medio ambiente (local, regional o global). En la actualidad, la industria es consciente que para sobrevivir en un mundo cada vez más informado con respecto a las causas de los problemas ambientales, son esenciales las buenas prácticas; el mejoramiento continuo; el diálogo con la comunidad, con los consumidores, con los medios de comunicación, con las autoridades sectoriales y locales (municipales), con los grupos ambientalistas, así como con las organizaciones no gubernamentales, entre otras. La industria ha comprendido que la inversión en investigación científica y tecnológica, y en especial aquella que trata de la relación entre los aspectos tecnológicos y los aspectos ambientales, genera innovaciones que contribuyen a aumentar la competitividad y la rentabilidad de las empresas que son socialmente responsables de sus actividades.

Según el Banco Mundial, el medio ambiente es el conjunto complejo de condiciones físicas, geográficas, biológicas, sociales, culturales y políticas que rodean a un individuo (u organismo) y que, en definitiva, determinan su forma y la naturaleza de su supervivencia.

En el presente documento, se entiende por industria al colectivo formado por empresas de un sector industrial determinado, por ejemplo, el sector industrial químico. Es así, que el ambiente es importante con relación a la industria por las siguientes razones:

- Exigencias del mercado donde se realizan transacciones comerciales entre los vendedores (ofertantes) y los compradores (demandantes o consumidores).
- Diferenciación con la competencia, ya que con la finalidad de captar a sus clientes los ofertantes tienen que diferenciarse de sus competidores.
- Exigencias de los clientes, ya que los demandantes tienen requerimientos ambientales que tienen que ser satisfechos por los ofertantes.
- Exigencias de la sociedad, ya que existen miembros de la comunidad, que aunque no demanden los productos ofrecidos por la industria, sí están preocupados por los impactos ambientales de muchos de ellos.

El ciudadano está cada vez más preocupado por los daños provocados en el ambiente como consecuencia de las actividades antrópicas, tanto domésticas como industriales. También, la opinión pública está cada vez más sensibilizada con relación a los perjuicios causados por catástrofes ambientales que se han producido en los últimos años, tanto de origen natural como de origen humano (por ejemplo, accidentes químicos).

Esta creciente preocupación ciudadana ha motivado una legislación cada vez más estricta por parte de las autoridades gubernamentales de todo el mundo, las cuales vigilan cada vez más el cumplimiento de la normatividad ambiental, lo que trae como consecuencia “amenazas tangibles” (demandas legales, multas, etc.) para las empresas “sucias”; es decir, aquellas empresas que contaminan el ambiente, no solo por la cantidad de residuos y desechos que generan, sino por la inadecuada gestión de los mismos. Integrar la variable ambiental en la actividad industrial debe significar notables ventajas en la competitividad de las empresas, lo que implica conseguir a través del tiempo mejora de los resultados, condiciones ventajosas para competir en mercados cada vez más exigentes, bases tecnológicas limpias e innovadoras y actividades económicas sostenibles en el tiempo.

Biomimetismo

El biomimetismo se inspira en la naturaleza para poder tomar ideas y resolver problemas. En la hoja de una planta, minúsculos reactores realizan la función fotosintética y la falla de uno o varios de estos reactores, no induce en ningún caso a la falla global del proceso. Por ello, se está buscando la intensificación de los procesos utilizando microrreactores.

Diseño integrado de la cuna a la cuna

Reconcepción de los sistemas y de sus problemas. La reconcepción es más beneficiosa que la reingeniería y esta a su vez de la simple optimización reconcepción del problema reingeniería del sistema beneficios optimización del sistema actual inversión.

Ecología industrial

La ecología industrial plantea una analogía entre los sistemas ecológicos naturales y la “comunidad” de plantas industriales (infraestructuras o instalaciones industriales). Al igual que en un ecosistema biológico, en un ecosistema industrial cada proceso debe ser visto como una parte dependiente e interrelacionada de un todo o de un sistema mayor. La ecología industrial explora nuevas posibilidades para la interrelación entre empresas, como resultado de un replanteamiento de las actividades industriales y en respuesta al conocimiento cada vez más completo sobre sus impactos ambientales.

¿Qué es un proceso industrial?

Conjunto de etapas requeridas para que las materias primas e insumos se transformen en productos, subproductos y residuos. Las etapas de un proceso industrial son actividades unitarias, donde se dan cambios físicos, transformaciones químicas o ambos, de acuerdo a determinadas condiciones de operación: presión, temperatura y otras. Existe un rendimiento, una conversión y una selectividad, dependiendo de la actividad unitaria. Cada actividad unitaria requiere un equipo principal y equipos complementarios. El proceso industrial es conceptual y se operativiza en una instalación industrial (planta).

El papel de la ingeniería de procesos en el logro del desarrollo sostenible

La ingeniería de procesos es una especialidad tecnológica que, aplicando los principios fundamentales de la ingeniería, economía y ecología, busca producir bienes (o productos) que la sociedad requiere para satisfacer sus necesidades. El proceso productivo corresponde al componente operativo de la empresa, la cual para ser competitiva debe buscar producir óptimamente, es decir, con eficiencia tecnológica, organizacional, económica, social y ambiental.

Los ingenieros de procesos diseñan, operan y controlan procesos industriales (o procesos químicos tecnológicos), en los cuales se utilizan y transforman materias primas (recursos naturales) o sustancias químicas (resultantes de otros procesos), en productos o insumos. Actualmente el nuevo paradigma de los ingenieros de procesos se centra en el diseño y operación de procesos industriales sostenibles.

Los nueve principios de la ingeniería verde

1. Emplear sistemas de análisis y herramientas de evaluación de impacto ambiental, integradas a la ingeniería de proceso y producto.
2. Conservar y mejorar los ecosistemas naturales a la vez que se protege la salud humana y el bienestar de la población.
3. Aplicar el concepto del ciclo de vida.

4. Asegurar, en la medida de lo posible, que la materia prima (y la energía), que entra al sistema sea segura y no tóxica.
5. Minimizar el uso de los recursos naturales no renovables.
6. Prevenir la generación de residuos.
7. Desarrollar y aplicar soluciones de ingeniería, teniendo en cuenta la situación geográfica, los aspectos sociales y culturales de las comunidades situadas en el entorno.
8. Buscar soluciones de ingeniería innovadoras, con la finalidad de alcanzar la sostenibilidad.
9. Involucrar a la comunidad en el desarrollo de soluciones a problemas ambientales.

Producción más limpia

Si el proceso industrial no ha sido diseñado bajo los principios indicados, entonces se puede utilizar una estrategia conocida como Producción más limpia (PML) con la finalidad de contribuir al desarrollo sostenible. Igual que su “sinónimo” ecoeficiencia, la PML se define como una estrategia ambiental preventiva e integrada, enfocada hacia procesos productivos, productos y servicios, con la finalidad de reducir costos, incentivar innovaciones y disminuir los riesgos relevantes al ser humano y al ambiente.

Como estrategia, la PML puede tener aplicación en diferentes niveles de una misma industria, involucrando desde su misión hasta sus diferentes estrategias, sistemas, componentes, materiales y procesos. Sus alcances abarcan aspectos internos de la empresa industrial, como la calidad del producto, el acceso a tecnología alternativa, la disponibilidad de capital y la resistencia cultural; y aspectos externos como las políticas macroeconómicas y ambientales, aspectos financieros, la presión de la comunidad, la demanda en el mercado por productos sostenibles, y el acceso a tecnología alternativa.

La importancia de esta estrategia empresarial radica en su aporte a la competitividad empresarial basada en la conservación del medio ambiente y la responsabilidad social. De esta manera contribuye al equilibrio entre los tres elementos principales del desarrollo sostenible como objetivo universal.

Los objetivos de la política de PML son los siguientes:

- Optimizar el consumo de recursos naturales y materias primas.
- Aumentar la eficiencia energética y utilizar combustibles más limpios.
- Prevenir la generación de residuos contaminantes.
- Prevenir, mitigar, corregir y compensar los impactos ambientales sobre la población y los ecosistemas.
- Adoptar tecnologías más limpias y prácticas de mejoramiento continuo de la gestión ambiental.

- Minimizar y aprovechar los residuos, en caso de que estos sean inevitables.

Los beneficios que se pueden obtener por la adopción de la PML se pueden dividir en:

a) Beneficios relacionados con el desarrollo del proceso:

- Reducción de los costos correspondientes a la materia prima utilizada.
- Procesos más eficientes y rendimientos comparativos mayores.
- Reducción de los costos en servicios.
- Reducción de los costos para el tratamiento de los residuos.
- Ingresos adicionales debido a los materiales reaprovechados.
- Menos costos asociados a las operaciones de mantenimiento.
- Disminución de accidentes industriales, laborales y enfermedades ocupacionales.

b) Beneficios relacionados con el desempeño de la empresa:

- Ahorros económicos por el pago de multas y otros (compensaciones, indemnizaciones, etc.), debido a que la empresa cumple con regulaciones ambientales vigentes (normas ambientales específicas, como la ISO 14000).
- Cambio de la imagen pública de la empresa dentro de la comunidad, lo cual se apreciará en el aumento de las ventas, ya que los consumidores están cada vez más concienciados para comprar productos de empresas que no contaminen el ambiente.
- Reconocimiento y aceptación de los productos ofrecidos por la empresa en los mercados internacionales, no solo por su calidad sino por lo establecido en las normas internacionales.

La evaluación de materias primas y materiales de partida

Uno de los mayores efectos que la fabricación, procesamiento y uso de una sustancia química, se puede determinar a partir de su material de partida. Si el material de partida, o materia prima de la que se fabrica el producto químico tiene un efecto medioambiental negativo, es muy probable que el efecto global de la sustancia química en sí, tenga un efecto neto negativo. Es por esta razón que, la evaluación de la materia prima o material de partida, es fundamental cuando se realiza una evaluación de la química verde de un producto químico o proceso de transformación.

La magnitud del efecto de la carga de alimentación en el perfil global del producto químico, depende de un número de parámetros, incluyendo la complejidad y la duración del proceso que hace al producto químico. Si la preparación de la sustancia química es una conversión catalítica de un solo paso a un bloque de construcción petroquímica, por consecuencia, es de suma importancia el perfil medioambiental del material de partida. Si el producto final es un producto farmacéutico que se fabrica a través de una ruta sintética de 12 pasos con procesamiento complejo y purificación, la importancia del material de partida puede ser algo disminuida. En cualquiera de estos casos, el perfil del

material de partida es el primer paso en la evaluación de la química verde del producto químico o proceso.

Orígenes de los materiales de alimentación / partida

La primera pregunta es “¿Cuál es el origen de la materia prima / a partir de que se procese?”. ¿Se extrae, refina, sintetiza, destilada, etc? ¿Cuáles son las consecuencias de los orígenes de la sustancia? Un químico que origina el uso de un residuo inútil, a lo contrario que tendrían que eliminarse muy bien, podría tener ventajas ambientales para su uso. Una sustancia química que se origina en un proceso que agota un recurso natural limitado o resulta en daños irreversibles al medio ambiente, puede tener efectos muy negativos sobre el medio ambiente. Ambas situaciones podrían ser ciertas independientemente, de si la sustancia real de que se trate es dañina o inocua. Es por esta razón, por la que hay que preguntarse en primer lugar la pregunta, ¿cómo se originó esta sustancia?

La importancia de los recursos naturales como materia prima

Los procesos productivos requieren de materia prima, la cual proviene de los recursos naturales que forman parte del medio ambiente. El término recurso natural resulta fácil de entender intuitivamente, pero sin embargo es muy difícil de conceptualizar y formalizar rigurosamente. Si se intenta definir los recursos naturales con base a sus propiedades físicas, se puede indicar que los recursos naturales son factores que afectan los procesos de producción y consumo, tienen su origen en fenómenos o procesos naturales que escapan al control del hombre. Los procesos naturales de generación del recurso pueden ser biológicos, geológicos o químicos. Estos procesos generadores pueden ser muy cortos (por ejemplo, proceso de formación del agua de lluvia) o de muy larga duración (por ejemplo, proceso de formación de una “bolsa” de petróleo).

Si se intenta definir los recursos desde un punto de vista económico, se puede decir que los recursos naturales son factores que afectan las actividades productivas, pero que no han sido elaborados por el hombre, ni tampoco han sido obtenidos a través de un proceso de fabricación iniciado por el hombre.

Las dificultades que se encuentran al tratar de definir un recurso natural son mayores cuando se intenta establecer una clasificación de los mismos, según el criterio que se elija se encontrará una definición diferente.

- Por la estructura material del recurso, se pueden tener:
 - a) Biológicos (pesquerías, bosques, etc.).
 - b) Minerales (metálicos y no metálicos).
 - c) Energéticos (petróleo, gas natural, carbón).
 - d) Ambientales (aire, capa de ozono, paisajes, etc.).
- Por el marco temporal se tienen:

- e) Recursos no renovables, cuando la utilización (consumo) de una unidad del recurso implica su completa destrucción, abarcando su regeneración periodos de tiempo muy grandes, tales como el carbón, el petróleo, etc.
- f) Recursos no renovables con servicios reciclables, cuando el uso del recurso implica su completa destrucción en cuanto a su forma actual, pero es recuperable en un futuro más o menos inmediato por medio de un proceso industrial de reciclado (los recursos minerales: hierro, aluminio, cobre, etc.).
- g) Recursos renovables, cuando el uso del recurso produce su agotamiento o destrucción, pero seguidamente se produce la regeneración del mismo según un mecanismo de naturaleza biológica (las pesquerías, los bosques, etc.).
- h) Recursos ambientales, cuando el uso no implica su agotamiento o en caso de agotarse, su velocidad de reproducción o regeneración es rápida (agua, aire, paisaje, etc.).

Materia prima peligrosa o inocua

Una cuestión importante que estará en el meollo de cada paso de una evaluación de la química verde, es la consideración del peligro intrínseco para la salud humana y el medio ambiente. Un material de alimentación debe ser evaluado para determinar si posee toxicidad crónica; carcinogenicidad, ecotoxicidad, etc. Son los materiales de alimentación que van ser producidos a menudo en grandes cantidades, para la fabricación de los productos químicos. Son los materiales de alimentación los que se van a necesitar y van a ser manejados por trabajadores, de nuevo en grandes cantidades, durante todos los procesos. Si este material de partida, sí posee un riesgo significativo para la salud humana y el medio ambiente, su efecto se tendría en todo el ciclo de vida del producto químico.

Siguiente fase, implicaciones en la elección de la materia prima

La decisión de utilizar la materia prima en la fabricación de un producto químico, puede tener y tiene implicaciones más allá de los directamente atribuibles al material de partida en sí. Si la elección de la materia prima de alimentación será necesaria, de que se necesita una sustancia extremadamente tóxica como reactivo para completar la transformación en el siguiente paso en la ruta sintética; que la elección de la materia prima, fue la que causó indirectamente un gran impacto ambiental negativo de lo que podría ser asumida en un primer análisis. Podría ser cierto que una alimentación inocua, cuyo origen renovable no causara daños al medio ambiente, pero esta, todavía podría causar daños a la salud humana y el medio ambiente, debido a las sustancias que se encuentran intrínsecas en el producto final.

La decisión de qué materia prima sea utilizada en la fabricación del producto químico, puede y tiene implicaciones mucho más allá que de los directamente atribuibles al material de partida en sí. Si la elección de qué materia prima se requiere para que una sustancia extremadamente tóxica como un reactivo sea necesaria para completar la transformación en el siguiente paso en la vía sintética, podría suponerse en un primer análisis que, es la elección de materia prima que indirectamente causaría un mayor impacto ambiental negativo. Evidentemente, pudiera ser cierto que una inofensiva materia prima renovable, que con cuyos orígenes no causó daños al medio ambiente, todavía podría causar daños a la salud humana, debido a las sustancias que se producen al final del proceso. Por lo tanto, es esencial como siempre en lo conducente a un análisis de la química verde, no sólo centrándose en el análisis de las sustancias; sino también, considerar las implicaciones y consecuencias indirectas del uso de dichos materiales.

Evaluación de los tipos de reacción

Evaluación de los tipos de reacción

Al considerar un procedimiento de síntesis útil, para identificar el tipo general de transformación que se emplea. Se conocen varias estrategias constructivas a base de bienes y rutas bien documentadas que están disponibles a menudo y el químico sintético, está capacitado para identificar estas vías. Se ha llevado a cabo, una búsqueda exhaustiva de la literatura que proviene de la gran colección de libros, revistas químicas y otras publicaciones; de las cuales, no se ha revelado algún informe en lo que refiere al proceso sintético, o al menos, que pudieran arrojar, información referente a los sistemas similares que se han investigado en un pasado. A continuación, si la transformación no tiene precedentes en particular, el químico sintético se basará en su propio ingenio, experiencia y conocimiento, de los principios básicos de las transformaciones que son teóricamente posibles de diseñar o bien, crear una nueva vía que conduzca al material objetivo. La información con la que dispone el investigador, en combinación con sus propias habilidades químicas, lo llevó a tener una idea de una secuencia sintética con probable eficiencia. Una comprensión fundamental de los mecanismos de química orgánica que, le permiten al practicante químico, predecir la especificidad de un proceso de reacción para poder especular y en algunos casos, predecir el éxito relativo de una determinada ruta sintética.

¿Cuáles son los diferentes tipos generales de transformación química?

Debido a que el éxito de una transformación dada, ha sido históricamente caracterizada por la cantidad cuantitativa de material transformado, a partir de material reactivo o de partida en un producto deseado, la mayoría, si no todos los de la bibliografía química y la formación educacional de un químico sintético, se centra en el reconocimiento y críticamente en la evaluación de rendimiento de una secuencia sintética específica. Esta sección proporciona algunos ejemplos ilustrativos de cómo una mejora en el proceso de evaluación de un determinado esquema de síntesis más allá de estas medidas tradicionales para predecir algunas de las consecuencias ambientales y utilizar esta información para diseñar alternativas de química verde.

Los diversos procesos reactivos disponibles para el químico sintético, se pueden clasificar en una variedad de maneras diferentes. Algunos esquemas de categorización clasifican los procedimientos de síntesis según la cual los grupos funcionales (secuencias atómicas específicas dentro de una molécula), también, se están construyendo o manipulados. Otros esquemas, se centran en el número de átomos que se convierten durante la transformación sintética específica. Para el propósito de evaluar, qué estrategias pueden ser consideradas más benignas para el medio ambiente que, es útil para identificar el tipo general de reacción que se está produciendo en la secuencia en particular. De este modo, las transformaciones pueden ser vistas como reacciones de adición, reacciones de sustitución, reacciones de eliminación, reacciones pericíclicas, y reacciones de oxidación/reducción u oxido reducción (redox). Es importante señalar que este esquema de clasificación es un tanto arbitraria. La intención aquí, es presentar un enfoque ilustrativo de cómo se evalúa una síntesis con respecto a sus consecuencias ambientales. No es muy deseable generar un listado exhaustivo de todos los tipos de

reacción. Como se hará evidente, las generalizaciones pueden ser limitadas en su utilidad. Si bien, cada tipo de reacción es representativa, similares a la naturaleza exacta del material de partida específico y los subproductos, serán de importancia primordial en la evaluación de los aspectos ambientales dada una secuencia sintética.

Reordenamiento

Las reacciones de transposición, como su nombre indica, son clases de reacciones en las que los átomos que componen una molécula, cambian su orientación con relación a otra, su conectividad, su patrón de unión, etc., con el fin de producir una nueva molécula. Estas reacciones de transposición se pueden efectuar a través de una variedad de metodologías incluyendo la foto, la térmica, y la inducción química. Una característica principal de esta clase de reacción desde una perspectiva de análisis de la química verde, es que la materia prima o material de partida y el producto final, o la molécula central; ambos contienen los mismos átomos. Por lo tanto, no hay desperdicio intrínseco, generado primordialmente de una reacción de transposición. De un análisis inherente, una reacción de transposición, es totalmente átomo económico y completamente eficiente.

Que tan verdaderos serán los tipos de reacción, la eficacia específica que en realidad llevaría a cabo una reordenación, por ejemplo, ¿Cuál es la tasa de conversión en el producto? ¿Hay reacciones secundarias? Lo que se requiere aportar de energía, tiene que ser evaluado sobre una base empírica.

Las reacciones de adición

Las reacciones de adición, como se ilustra en la Fig. 9, son de amplia utilidad. En este esquema de síntesis general, una multiplicación unida, o insaturado, el sustrato se trata con un reactivo de reactivo. Además, heterolítica o homolítica a las terminales del resto insaturado da lugar a un producto que ha incorporado nuevas funcionalidades. La adición de bromo a una olefina, bromuro de etilmagnesio a un carbonilo, o cianuro de hidrógeno a una α , compuesto de carbonilo β -insaturados sirven como ejemplos de reacciones de adición (Fig. 10).

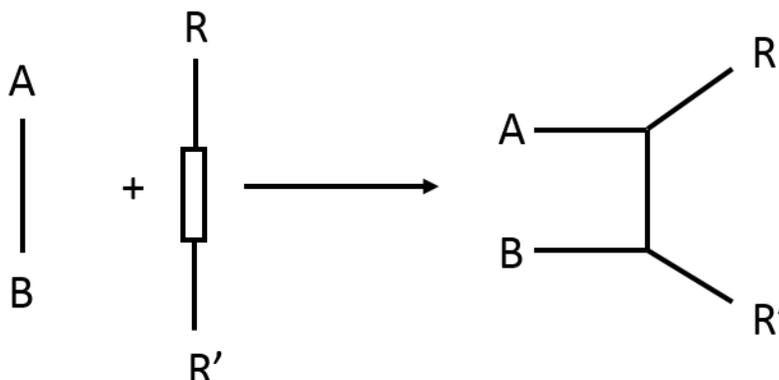


Fig. 10 Esquemas de representación, de una reacción de adición

Estos esquemas representan reacciones químicas que, son independientes del ambiente. Observe que todos los reactivos se consumen durante las secuencias de reacción. Hay una cantidad equimolar de especies reaccionantes que dan lugar a una sola cantidad molar de producto. no se generan subproductos adicionales. La eficiencia de este tipo de reacción, puede ser bastante alta, siempre se desean ambos componentes añadidos en el producto final. Como suele ser el caso con cualquier estrategia de síntesis, una manipulación adicional de las funcionalidades adicionales que pueden ser necesarias.

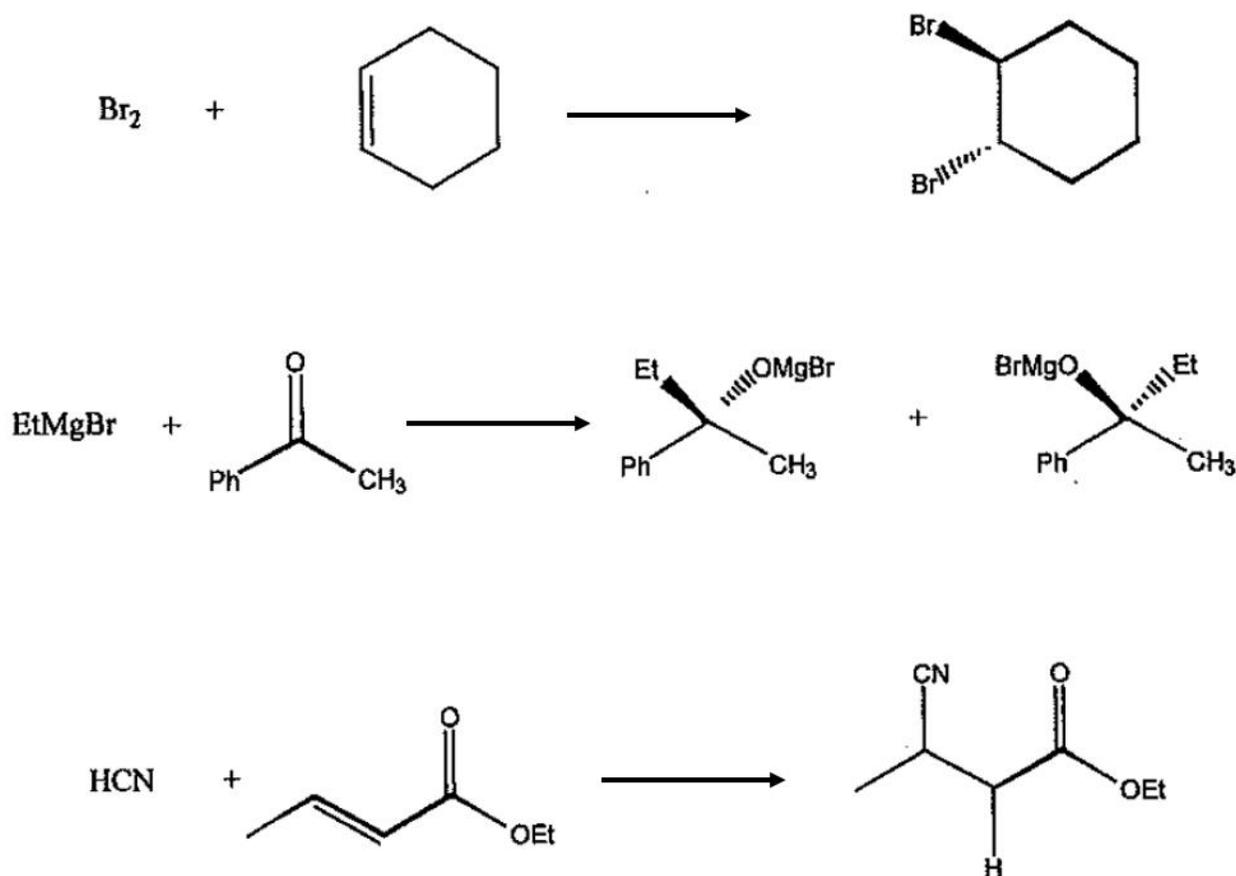


Fig. 11 Ejemplos de reacciones de adición

Desde luego, los subproductos imprevistos que son formados durante el proceso por reacciones de lado incontrolables, deberían ser tratados. Estos subproductos de reacción de lado, conducen a la falta de especificidad y producción. Por lo tanto, requerirían el diseño costoso de reactor y la ingeniería para reducir al mínimo esta ineficiencia y, como descrito antes, es la base para la mayor parte de la literatura química sobre reacciones de adición.

Muchas reacciones químicas, a un cierto grado, generarán subproductos imprevistos. Los esquemas de purificación, como recristalización, la destilación, la cromatografía, u otros procesos, a menudo tendrán que ser empleados. La llave al diseño de química verde debe reducir al mínimo la necesidad de estas técnicas. La ventaja de una reacción de adición es que ningún subproducto planificado es generado.

Las reacciones de sustitución

Las reacciones de sustitución implican la modificación de un sustrato mediante la sustitución de un grupo funcional con otra (Fig. 11). Clásicamente conocidas las reacciones SN1 y SN2 proporcionan ejemplos sencillos de esta estrategia (Fig. 12). En estos casos, los reactivos nucleófilos desplazan a un grupo saliente en un átomo de carbono alifático. El nuevo producto incorpora el nucleófilo y por abandono se retira del grupo.



Fig. 12 Esquema de representación de una reacción de sustitución

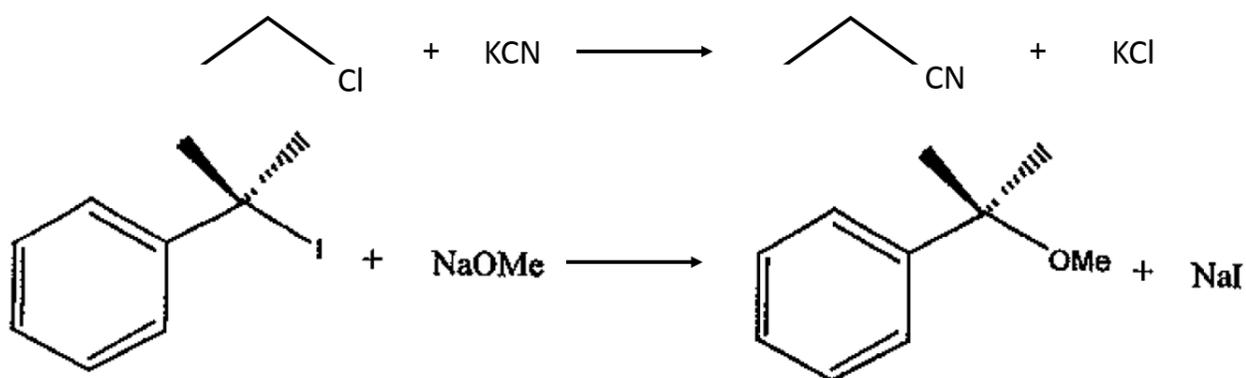


Fig. 13 Ejemplos de reacciones de sustitución SN1 y SN2

En la mayoría de los casos, estas síntesis se centran en el reactivo que está experimentando un ataque nucleófilo, como el producto deseado. Debe señalarse que existen ejemplos en los que, de hecho, el grupo saliente es el producto deseado. Varias estrategias sintéticas que incorporan grupos protectores se pueden utilizar que aislar el grupo saliente como el compuesto de interés. El potasio yoduro de desmetilación de un éster metílico del ácido carboxílico, para dar la sal de carboxilato libre.

Las reacciones más complicadas, a menudo implican sustratos insaturados, se combinan de adición y eliminación de reacciones (tanto de posibles órdenes secuenciales y lineales), para efectuar reacciones de sustitución netas.

Reacciones de sustitución y la eliminación / adición electrofílica aromática, son representativos de estos tipos de transformaciones.

Obviamente las propiedades del medio ambiente y de la naturaleza del grupo saliente generado, determinarán la idoneidad de esta metodología. Halogenuros, ésteres, alcoholes, y derivados inorgánicos que sirven para activar el grupo saliente, pueden ser diseñados con consecuencias peligrosas relacionadas con la mente. Si una secuencia de reacción de sustitución pudiera ser diseñada en el que el grupo saliente ha sido cuidadosamente seleccionado, esta vía puede ser a la vez, conveniente y eficiente. La desafortunada distinción de este tipo de reacción es que la generación del subproducto sintético es inevitable y es consecuencia directa del diseño sintético. Desde una

perspectiva termodinámica, generalmente no hay relación entrópica desfavorable para estas reacciones. El número de especies que reaccionan, es igual al número de especies producidas. Al considerar las consecuencias de ingeniería a escala de gran tamaño, condición entrópica que puede tener cierta importancia.

Debido a que existe una planificación de esta secuencia de reacción del subproducto, se deben hacer adaptaciones para el compuesto adicional que se produce. Los esfuerzos relacionados con la contención de reactivos, el reciclaje y la redistribución, además de la investigación general en el área de la ecología industrial, han tratado de compensar gran parte del atractivo negativo de subproducto de reacciones que se producen. Donde evitar la generación de residuos es inherente, no es posible, estas vías de compensación del subproducto están disponibles para el químico sintético, para reducir al mínimo las pérdidas inherentes a estas vías. Una consideración adicional, para esta estrategia de reacción, es el requisito de un catalizador. Aunque no siempre es necesario, los ácidos de Lewis o bases, se incorporan en el procedimiento sintético para acelerar las velocidades de reacción o quimiospecificidad directa, regioespecificidad, o, en algunos casos; estereoespecificidad. El efecto de estos reactivos, cuando se usa, no debe pasarse por alto. Si el reactivo auxiliar se usa en cantidades sub-estequiométricas, el efecto puede ser mitigado un poco, pero aún debe tenerse en cuenta en el análisis final. El uso de reactivos catalíticos, se trata en más detalle más adelante.

Reacciones de eliminación

Las reacciones de eliminación son importantes en vías para generar insaturación dentro de las moléculas (Fig. 13). Esquemáticamente, una reacción de eliminación es el reverso de una reacción de adición. El esquema de eliminación, generalmente sigue la disociación heterolítica o homolítica de componentes moleculares en átomos adyacentes, aumentando el orden de enlace entre estos átomos. La deshidratación de un alcohol para generar una olefina y la pérdida de un alcohol de un hemiacetal para dar un aldehído, son ejemplos de reacciones de eliminación (Fig. 7.8).

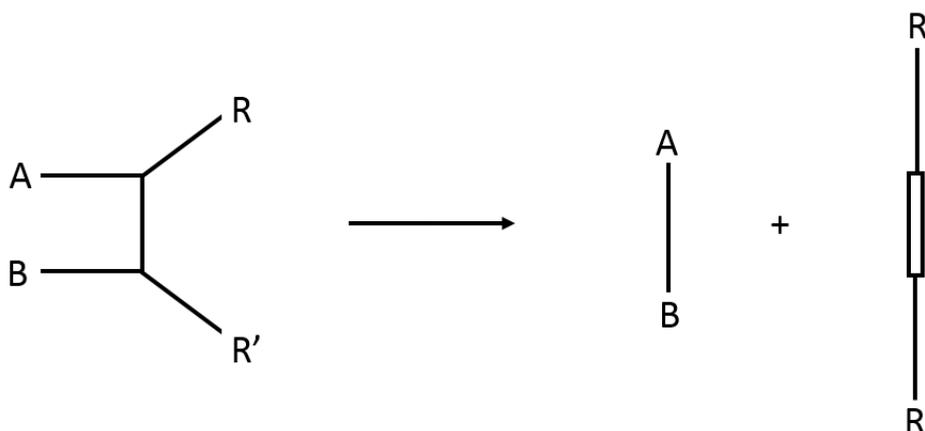


Fig. 14 Esquema de representación de una reacción de eliminación.

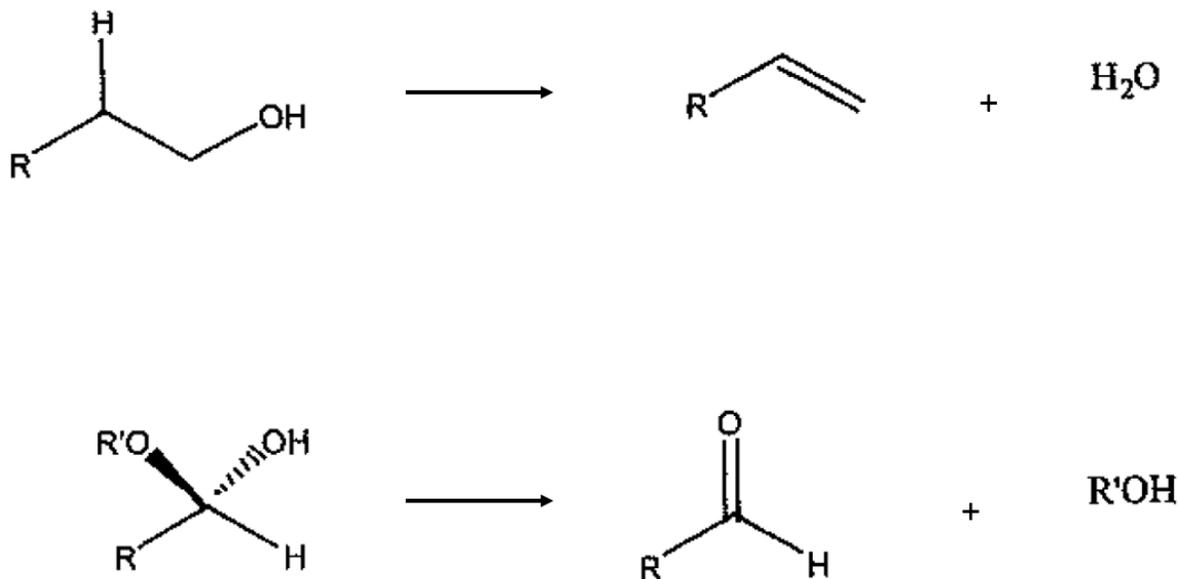


Fig. 15 Ejemplos de reacciones de eliminación.

Al igual que con las reacciones de sustitución, las eliminaciones, necesariamente implican la generación de un grupo saliente, excepto en algunos casos en los que el grupo saliente se une intramolecularmente (Fig. 15). La aplicabilidad general de este tipo de reordenamiento molecular, está limitado necesariamente, debido a la colocación estratégica de dos grupos funcionales, se requiere mucho éxito en la aplicación. Sin embargo, si una estrategia de este tipo pudiera ser incorporada en un diseño sintético, los beneficios son evidentes.

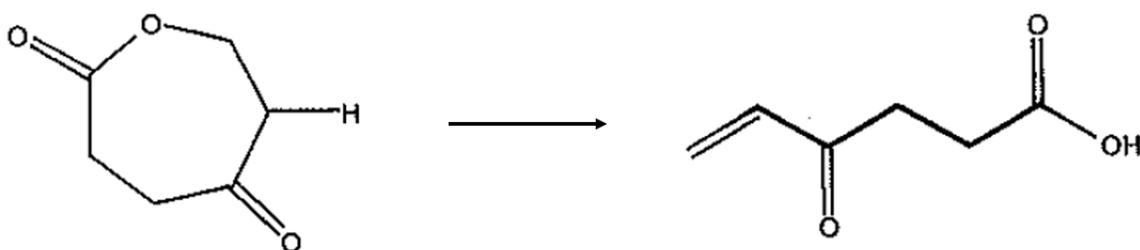


Fig. 16 Un ejemplo de una reacción de eliminación en el que el grupo saliente se une intramolecularmente. Esto da lugar a un reordenamiento molecular.

Como en el caso de reacciones de sustitución, cuando un grupo saliente se produce como consecuencia del diseño de reacción, las implicaciones ambientales de las especies que salen deben ser evaluados y controlados. El compuesto objetivo deseado, mientras que por lo general las especies de someterse a la pérdida de la molécula subproducto, a veces puede ser el mismo grupo saliente.

Reacciones pericíclicas

Las reacciones pericíclicas, son estrategias sintéticas que se rigen por los orbitales moleculares de frontera. Como se ha descrito originalmente por la sala de madera y Hoffman, estos procedimientos proporcionan al químico sintético con una gran variedad de caminos de reacción. Las reacciones de Diels-Alder, 1,3- y cicloadición dipolar [3,3 '] - reordenamientos sigmatrópicos, son reacciones de formación de enlaces pericíclicos.

Existen esquemas en los que estas estrategias se llevan a cabo en el modo inverso, donde; en lugar de construir la molécula diana mediante el conjunto de formación de enlace covalente, la molécula deseada es creado por el desmontaje de una especie reactiva en sus componentes moleculares. Además, análoga al frente, las reacciones de eliminación, reacciones de formación de enlaces pericíclicos a menudo se implementan con mayor facilidad en el marco del medio ambiente. De la misma manera que algunas reacciones de sustitución implican una combinación de procesos de adición y eliminación dentro del diseño sintético, combinaciones de secuencias de formación de enlace y de ruptura de enlace pericíclicos, están disponibles. La reacción de Diels-Alder de un acetileno con una 1,2,4-triazina. En esta reacción, el acetileno se forma primero el aducto de Diels-Alder con la triazina. El intermedio después se derrumba con la pérdida de nitrógeno elemental para generar una nueva molécula de piridina.

Las reacciones de oxidación / reducción

El control y la manipulación del estado de oxidación de una especie molecular se pueden lograr tanto química como electroquímicamente. La oxidación de metano en metanol, metanol a formaldehído, el formaldehído a ácido fórmico, y ácido fórmico a dióxido de carbono es una secuencia de oxidación. La secuencia inversa; dióxido de carbono a ácido fórmico, ácido fórmico al formaldehído, el formaldehído a metanol, y metanol para el metano es la serie reductora correspondiente. La oxidación de etano a etileno, etileno de acetileno, y la secuencia inversa correspondiente es otra secuencia de oxidación / reducción.

Química de oxidación / reducción es cuando una molécula funciona “Courier” a la lanzadera de electrones aceptado o extraído de la molécula que se reducen o se oxidan. Electroquímica de oxidación / reducción implica la administración directa de corriente eléctrica para efectuar la eliminación (oxidación) o adición (reducción) de los electrones hacia o desde la molécula central.

Aunque ciertamente existen compensaciones, una comparación entre estos dos métodos lleva a considerar las reacciones electroquímicas como más benigna con el medio ambiente. Muchos reactivos redox estequiométricos son inherentemente tóxicos y su uso deben ser monitorizados y controlados cuidadosamente. Por desgracia, la alternativa de usar reactivos benignos es que no son ampliamente disponibles, para llevar a cabo química de oxidación / reducción.

La naturaleza intrínseca de los distintos tipos de reacción

La naturaleza intrínseca de los distintos tipos de reacción

Después de haber caracterizado el tipo general de reacción de una secuencia sintética particular, como una adición, sustitución, eliminación, la reacción pericíclica, o de oxidación / reducción, una evaluación más profunda de las transformaciones químicas específicas necesita ser realizado. Las cuestiones de reactivos auxiliares, generación de residuos, consumo masivo, y la economía del átomo deben ser abordados.

La requisición de productos químicos adicionales

Obviamente una reacción de sustitución requerirá tanto la molécula funcional que se añade, así como la molécula de someterse a la sustitución en sí. Además de los perfiles de reacciones fundamental, sin embargo, la cuestión de reactivos auxiliares que debe ser tratado. catálisis química se emplea a menudo como un método de aceleración de la velocidad de una reacción. Mediante la combinación con uno o más reactivos o intermedios, un catalizador reduce la energía de activación de una transformación particular, mediante la. estado de transición con mayor energía accesible. Estos catalizadores del estado de transición se pueden aplicar en una cantidad estequiométrica (en cantidades molares iguales a las especies reaccionantes) o en cantidades subestequiométricas. Cuando se utilizan menos equivalentes molares de catalizador, cantidades ligeramente más bajas que las especies reaccionantes o varios órdenes de magnitud menor que las especies reaccionantes, pueden ser aplicadas. La cantidad específica de catalizadores usados a menudo se establece empíricamente mediante la ingeniería de procesos y diseño de reacción.

Después se determina la estequiometría de un reactivo auxiliar, una evaluación de sus efectos ambientales puede evaluarse mejor. A continuación, si el reactivo auxiliar se utiliza en cantidades equivalentes molares que deben ser tratados de manera diferente que si se utiliza en cantidades mucho más pequeñas. Otras generalizaciones no son típicamente útiles. La naturaleza y la toxicología de los reactivos auxiliares específicos que se utilizan dictarán las implicaciones ambientales de estas estrategias sintéticas. En algunos casos, una clasificación será evidente cuando se comparan dos secuencias sintéticas alternativas. El uso estequiométrico de un reactivo particularmente tóxico es sin duda, ser menos deseable que el uso subestequiométrico de un catalizador ambientalmente benigno. A menudo, sin embargo, la elección no es tan sencilla. La alternativa subestequiométrica puede ser más tóxica que la vía estequiométrica. En este caso, la compensación de la toxicidad y la cantidad debe ser considerada.

Generación de residuos

Durante el desarrollo de una secuencia sintética que es útil para evaluar el material que se está generando. Es probable que la mayoría del producto de reacción el compuesto es el que está siendo sintetizado. Hay, sin embargo, otros subproductos que inevitablemente se producen. Nuestras discusiones anteriores se han referido a estos subproductos como por formulación planificada o no planificada. Esta formulación es tal vez un poco oscura. No debe haber subproductos inesperados. Dentro de la descripción estequiométrica de una reacción química de algunos materiales, se producen como consecuencia fundamental de una reacción. Las reacciones de sustitución y las reacciones de eliminación son ejemplos de estos procesos de ruptura de enlaces en la secuencia que dan lugar a más de un producto. En una reacción típica de metátesis (Fig. 17), uno de los materiales del producto será el compuesto deseado, el otro no puede ser necesario. A menudo, estos productos de reacción tienen dramáticamente diferentes lazos físicos adecuados y son fácilmente separables.



Fig. 17 Representación de una reacción de metátesis

En muchas reacciones, también es necesario anticipar y hacer frente a los productos de las reacciones secundarias. A menudo, el perfil de reacción termodinámica de una transformación sintética proporciona rutas mecánicas alternativas. Estas reacciones laterales pueden generar productos de manera significativa diferentes propiedades físicas, o pueden dar lugar a productos con propiedades físicas muy similares a los conductos PRO deseado. En estos casos, los procesos de purificación complicados deben ser desarrollados para aislar el compuesto deseado.

A partir de un sistema económico, así como un punto de vista ambiental, procesos de purificación complicados deben mantenerse al mínimo. Hay muchas técnicas para la purificación, incluyendo recristalización, precipitación, destilación, fraccionamiento, y cromatografía. En cada una de estas técnicas de los costos de mano de obra por sí solos pueden llegar a ser bastante alta. Cuando se tiene en cuenta el uso adicional de disolventes, reactivos, la energía, y el equipo se hace evidente que esas consecuencias deben abordarse desde el principio en el diseño sintético. En la revisión de largas rutas sintéticas a moléculas diana, se puede observar que algunas vías utilizan varias iteraciones de oxidaciones y reducciones, se desplazan repetidamente hacia atrás y adelante entre los estados de oxidación. Este proceso ineficiente debe reducirse al mínimo cuando sea posible y mantener el estado de oxidación, cuando sea posible, para evitar la química redox innecesaria.

*Evaluación de métodos para diseñar productos químicos
más seguros*

Evaluación de métodos para diseñar productos químicos más seguros

Los métodos para el diseño de los productos químicos más seguros se basan en un análisis de cómo la estructura molecular trabaja en la realización de su función, en comparación con la capacidad de causar daño a la salud humana y el medio ambiente. Es a través de la manipulación de la estructura, de manera que la eficacia de la función se maximiza mientras que el peligro intrínseco de una sustancia se reduce al mínimo, se logra el diseño de un producto químico seguro. Hay un dicho común entre los diseñadores de todo, desde automóviles a muebles para aparatos; “la forma sigue la función”. Esta afirmación es tan válida a nivel molecular, ya que es en el nivel macro.

La pregunta, por tanto, se convierte en, ¿cuál es la función de uno quiere lograr? Esta fue una pregunta directa antes del momento en que la sociedad se dio cuenta de las consecuencias imprevistas de algunos productos químicos. Si se quisiera crear una cierta sombra de tinte rojo, a continuación, una estructura molecular podría ser y fue creada para producir ese tinte rojo. Si se quisiera crear un pesticida eficaz, a continuación, una estructura molecular podría ser generado para servir a esa función, y así sucesivamente. El problema tal como lo conocemos ahora, no es que la solución era incorrecta, era que la pregunta era incorrecta y / o incompleta. Por lo tanto, la verdadera pregunta es “¿Cómo hago un tinte rojo que no causa cáncer?” y “¿Cómo se crea un pesticida eficaz que no causa daños al medio ambiente para las aves y otros animales salvajes?”. Es a través de esta consideración ampliado y definición de la función que se está tratando de lograr que el diseño de los productos químicos más seguros se logra. Como parte del diseño de cualquier producto químico, la disposición de que no hace daño a la salud humana y el medio ambiente debe ser incluido.

Una vez que se correlacionó con una estructura molecular y se decide la función deseada, se puede entonces realizar esfuerzos para ajustar y modificar la estructura molecular para mitigar cualquier posible toxicidad u otros peligros. Esto, se puede lograr y hay varias formas básicas:

1. mecanismo de análisis de la acción
2. relaciones estructura-actividad
3. evitación de grupos funcionales tóxicos
4. biodisponibilidad minimización
5. minimizando sustancias auxiliares

Estas técnicas se pueden implementar diferentes dependiendo de varios factores, incluyendo:

1. ¿Cuánta información tiene sobre el camino del cual, la sustancia actúa como un tóxico?
2. ¿Qué parámetros se sabe acerca de la sustancia, así como propiedades físicas / químicas?
3. ¿Qué información existe sobre los compuestos relacionados de la misma clase química o clases análogas químicas?

Cuanto más se sabe acerca de los detalles de cómo una sustancia química exhibe su toxicidad, más opciones están disponibles en el diseño de un producto químico más seguro. Ya que esta información se vuelve menos detallada y específica, el diseñador molecular se va ver más obligado a saber lo que no se debe hacer "en lugar de saber qué hacer con el fin de garantizar el rendimiento con un riesgo mínimo.

Mecanismo de análisis de la acción

Mientras hay sustancias químicas que son totalmente inertes cuando en este punto final indeseable, más uno es capaz de entender este mecanismo y más uno sabe diseñar el producto químico de modo que este mecanismo sea apartado o reducido al mínimo en sistemas biológicos como el cuerpo o el medio ambiente, que en su mayoría son compuestos químicos que exponen algún tipo de actividad biológica. Ciertamente, estos incluyen todos los alimentos, nutrientes, vitaminas, y la plétora de otros productos químicos beneficiosos que hacen posible la vida misma. También hay un subconjunto de productos químicos que son de interés para los efectos tóxicos que pueden causar cuando se introduce en el cuerpo o un ecosistema. Cada sustancia tiene un mecanismo por el cual se produce.

Una sustancia puede provocar que el punto final sea a través de la toxicidad directa o indirecta resultante. En el caso de toxicidad directa, es la sustancia química en sí que está reaccionando para causar el efecto final de preocupación, mientras que, con la toxicidad indirecta, es un metabolito o derivado de la sustancia original que es responsable de la interacción perjudicial con el cuerpo. Es como consecuencia de los recientes avances en farmacología, donde se han dilucidado los pasos específicos que conducen a un punto final tóxico, que el camino de reacción a la toxicidad se ha manifestado y puede ser evitado.

Una vez que el mecanismo es aclarado, el químico que diseña la molécula tiene varias opciones disponibles para hacer el producto químico sea intrínseco-menos peligroso. La estructura de la molécula puede ser cambiada de tal manera que el mecanismo de acción es más viable, tal cual ilustrado en el ejemplo siguiente.

Se sabe que los resultados de nitrilo en la toxicidad en un sistema biológico debido a la liberación de cianuro en el cuerpo, en cuyo punto el bien documentada, la toxicidad aguda de cianuro de la siguiente manera (Fig. 18). Se ha demostrado que el mecanismo de acción que sigue un nitrilo incluye la formación inicial de un resto en la posición α del grupo ciano. Después de la formación de dicho radical, el cianuro se escinde a continuación de la molécula y los resultados tóxicos de punto final (Fig. 19). Si uno entonces bloquea la posición α de la formación de un radical con la adición de sustituyentes, por ejemplo, grupos metilo, entonces el mecanismo de toxicidad es incapaz de ser perseguido y la sustancia es prácticamente no tóxica (Fig. 20). Esto se confirma por los datos de nitrilos, que demuestran una correlación directa entre la toxicidad de un nitrilo y su capacidad para formar y estabilizar la α . radical.



Fig. 18 La liberación de cianuro a partir de un nitrilo.

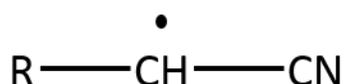


Fig. 19 La formación de un radical de un nitrilo.

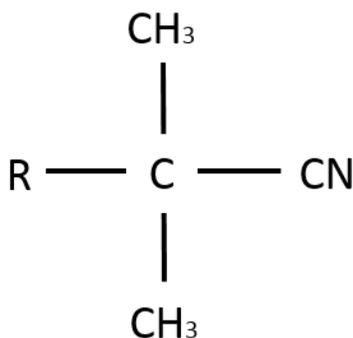


Fig. 20 El bloqueo de la formación de los sustituyentes de radicales libres utilizando previene la liberación de cianuro.

Relaciones estructura-actividad

Relaciones estructura actividad (SAR, por sus siglas en inglés), también, se basan en una la correlación entre la arquitectura molecular de un compuesto y su actividad. A los efectos de esta discusión nos centramos en la “actividad” en el cuerpo o en el medio ambiente. Con SAR, se puede observar cómo los cambios sutiles en la estructura molecular pueden dar lugar a cambios en la potencia o incluso, en la presencia o ausencia de un efecto tóxico dentro de una clase química. Esta correlación se puede hacer incluso en los casos en que no se conoce el mecanismo de acción de una molécula. Por lo tanto, a pesar de que uno no tiene una idea clara de “por qué” existe una correlación entre la toxicidad y las modificaciones estructurales, el hecho de que

existen, es suficiente para ayudar al farmacéutico en el diseño de una molécula que reduce al mínimo el riesgo asociado con él.

Prevención de grupos funcionales tóxicos

A menudo es el caso en el que no existe ni el mecanismo de acción, ni una relación de estructura-actividad fiable. En este caso, todavía es posible identificar el grupo funcional que está causando el efecto tóxico y evitar el uso de dicho grupo funcional. Es, por supuesto, necesario para que coincida con la identificación de una funcionalidad alternativa con la aplicación que la molécula es de realizar.

Un ejemplo de este tipo de reemplazo de grupo funcional que se tiene, se ha demostrado en la fabricación de adhesivos para aplicaciones tales como parabrisas de automóviles. Muchos de estos adhesivos se han hecho a partir de isocianatos, que reticular para formar poliuretanos adhesivos. Hay, sin embargo, cierta preocupación por el perfil toxicológico de isocianatos y, por lo tanto, no ha habido una actividad de investigación y desarrollo sobre la forma de evitar el uso de este grupo funcional. Un grupo, ha desarrollado un adhesivo que se basa en ésteres de acetoacetato que servirá como adhesivo de agentes de reticulación, para evitar el uso del grupo funcional de interés, es decir, el de los isocianatos.

Otra forma de tratar con un grupo funcional que posee cierta toxicidad es para enmascarar el grupo funcional. El enmascaramiento es la técnica de transformar temporalmente una funcionalidad, para un propósito particular, sólo para recuperar el grupo funcional original cuando se requiere. Mediante el uso de esta estrategia, una molécula se puede representar inocua para el tiempo que las personas o el medio ambiente pueden estar expuestos a la sustancia y el grupo funcional reactivo, sólo ser regenerado cuando está contenido de forma segura.

Dado que este proceso se involucra en la fabricación de un derivado químico que está diseñado sólo para ser destruido y genera residuos en el proceso, esta técnica no clasificaría altamente en un análisis formal de la química verde. Sin embargo, si la principal preocupación en relación con el manejo y uso de una sustancia es la toxicidad de un grupo funcional esencial, a continuación, el enmascaramiento puede ser la mejor alternativa disponible.

Reducción al mínimo de la biodisponibilidad

No importa qué tan inherentemente tóxicos es una sustancia, debe ser capaz de entrar en el cuerpo a fin de que haga daño. Esta capacidad para introducir los diversos sistemas biológicos y órganos se denomina biodisponibilidad. En los casos en que existe una falta general de información sobre la toxicidad de cómo una sustancia está causando, o incluso qué funcionalidad dentro de la molécula es responsable, por lo menos la molécula biodisponible es una técnica que a menudo puede ser utilizado para minimizar el peligro. Se sabe mucho sobre cómo las moléculas entran en el cuerpo a través de diversas rutas, por ejemplo, respiratoria, dérmica, o el transporte de membrana. Mediante el uso de este conocimiento, los químicos pueden diseñar moléculas de modo que la entrada en el sistema biológico está bien alterada o eliminada.

Como un ejemplo, si un polímero es de preocupación cuando se entra en el sistema respiratorio del cuerpo, a continuación, una pieza de información útil sería que los tamaños de partículas que se consideran respirable son de un tamaño de 10 micras o menos. Siendo ese el caso, un polímero químico podría diseñar los parámetros de las partículas de polímero de tal manera que sería lo suficientemente grande (es decir, > 10 micras) a no ser respirables.

Otras sustancias que entran en el cuerpo a través de la piel tienen una restricción similar para el transporte. Para la entrada dérmica, compuestos a menudo tienen que poseer un cierto perfil de solubilidad según lo medido por Log P. (Log P es la medida de cómo una sustancia misma particiones en solución entre una fase acuosa y una capa lipofílica.) Mediante la manipulación de esta propiedad física / química, un químico puede hacer que la sustancia menos capaz de transportar a través de la membrana dérmica y por lo tanto menos biodisponible. Una vez más, esta sustancia sería incapaz de exhibir su toxicidad inherente, ya que no podría entrar en el sistema biológico.

Reducción al mínimo de sustancias auxiliares

Ciertamente, puede darse el caso de que una sustancia puede poseer poca o ninguna toxicidad inherente, sino que requiere el uso de sustancias peligrosas asociadas para llevar a cabo su función. Como ejemplo, si una sustancia inocua necesita ser disuelto en un disolvente peligrosos con el fin de ser utilizado correctamente, entonces no hay toxicidad, aunque indirecta, lo que resulta a partir del producto químico. Esta ha sido la situación con una variedad de pinturas y recubrimientos en los años que requieren el uso de disolventes orgánicos para realizar su función. Estos compuestos orgánicos volátiles son de interés debido a su capacidad de contribuir a la contaminación del aire, como el ozono atmosférico. En respuesta a estas preocupaciones, los químicos han hecho el diseño de nuevos recubrimientos que tienen las mismas propiedades, pero se pueden utilizar en sistemas acuosos u otras matrices que no utilizan disolventes orgánicos volátiles.

Ejemplos de la química verde

Ejemplos de la química verde

Ejemplos de materia prima verde

Ha habido logros significativos en el área de la utilización de materias primas ambientalmente benignas para la fabricación de una amplia variedad de productos químicos. Muchos de los productos que tradicionalmente se han hecho de materiales de alimentación que contienen las características de interés, incluyendo toxicidad, se agotan los recursos naturales, y / o están generados a través de métodos que pueden resultar en daños al medio ambiente. Con los avances en la biotecnología, la biocatálisis, y la biosíntesis, el uso de materias primas de base biológica se ha demostrado como una alternativa viable tecnológicamente a las materias primas de petróleo de una serie de procesos químicos.

Polímeros de polisacáridos

Los polímeros son una clase muy importante de compuestos que tienen amplias aplicaciones y una amplia gama de propiedades que pueden ser explotadas. Los materiales de partida para polímeros, sus precursores monómeros, se pueden ejecutar toda la gama de peligros como cualquier otra sustancia química discretos. Un enfoque para el uso de más ambientalmente benignos materiales de partida para los polímeros es mediante el uso de polisacáridos como la materia prima. Materias primas de polisacáridos tienen varias ventajas que los hacen atractivos desde una perspectiva química verde.

Los polisacáridos son las materias primas biológicas y, como tal, tiene la ventaja de ser renovable, a diferencia de aquellas materias primas que se derivan de petróleo y otros combustibles fósiles. No hay datos toxicológicos que implicaría a polisacáridos que entrañen riesgos significativos en términos de toxicidad aguda o crónica para la salud humana y el medio ambiente, accidentes potenciales de la utilización de polisacáridos debería ser insignificante. El trabajo de Gross et al., utiliza métodos biosintéticos para hacer que los polímeros a base de polisacáridos, una técnica que a menudo se puede emplear como un sustituto para la realización de las mismas transformaciones usando más sustancias peligrosas.¹⁴ Una de las ventajas ambientales adicionales de la utilización de polisacáridos como materias primas es el hecho de que son biodegradables en los ecosistemas, después de que su vida útil ha pasado. Esto es una clara ventaja sobre muchas clases de polímeros, que tienden a persistir en el medio ambiente.

Químicos básicos en los productos con glucosa

La glucosa puede ser una excelente materia prima alternativa para los productos químicos de las materias primas. Frost, ha demostrado una variedad de síntesis

¹⁴ Gross, R.A., Kim, J.H., Gorkovenko, A., Kaplan, D.L., Allen, A. L. and Ball, D. (1994). In *Preprints of papers Presented at the 208th ACS National Meeting* Division of Environmental Chemistry. American Chemical Society, Washington, DC, 34(2), pp. 228-9.

utilizando glucosa como material de partida.¹⁵ El uso de técnicas biotecnológicas para manipular la ruta del ácido shikímico (responsable de hacer muchos de los compuestos aromáticos en la naturaleza), compuestos tales como la hidroquinona, catecol, y ácido adípico, todos los cuales son importantes, los productos químicos de gran volumen, se puede sintetizar. El material de partida tradicional para estas sustancias es el benceno, un conocido carcinógeno. Mediante el uso de la glucosa en lugar de benceno, esta ruta biosintética puede ayudar a minimizar el uso de ciertos reactivos con toxicidad significativa. Esta síntesis se lleva a cabo también en agua en lugar de disolventes orgánicos.

Conversión de biomasa en productos químicos

Investigadores de la Universidad Texas A & M, han desarrollado una clase de tecnologías que convierten la biomasa de residuos en alimentos para animales, productos químicos industriales y combustibles.¹⁶ La biomasa de residuos, incluye recursos tales como residuos sólidos municipales, lodos de depuradora, estiércol y residuos agrícolas.

Estos recursos infrutilizados actualmente tienen costos sustanciales asociados a su disposición.

Con el fin de hacerlo más digerible, la biomasa residual se trata con cal. residuos agrícolas tratados con cal, tales como el rastrojo de paja y bagazo pueden utilizarse como alimento para animales rumiantes. Alternativamente, la biomasa tratada con cal se puede convertir en diversos productos químicos al ser alimentado a un gran fermentador anaeróbico en el que rumen microorganismos, convierten la biomasa en sales de ácidos grasos volátiles (VFA, por sus siglas en inglés) tales como acetato de calcio, propionato, y butirato. Las sales se concentran y se pueden convertir en productos químicos o combustibles a través de tres vías. En la primera ruta, las sales de AGV se acidifican, la liberación de los ácidos acético, propiónico, y butírico. En la segunda ruta, las sales de AGV se convierten térmicamente a cetonas tales como metil etil acetona, metil, y dietil cetona. En la tercera ruta, las cetonas pueden ser hidrogenados a sus correspondientes alcoholes tales como isopropanol, isobutanol, y isopentanol.

Esta clase de tecnologías ofrece beneficios significativos para la salud humana y el medio ambiente. El alimento animal tratado con cal puede utilizarse para reemplazar el maíz de alimentación, que utiliza aproximadamente el 88% de toda la producción de maíz. El cultivo de maíz requiere arar, lo que agrava la erosión del suelo, y aproximadamente dos toneladas de capa superficial del suelo se pierde por cada bushel de maíz cosechado. El maíz también requiere insumos intensivos de fertilizantes, herbicidas y pesticidas, que pueden contribuir a la contaminación de las aguas subterráneas.

¹⁵ (a) Draths, K.M. and Frost, J.W. (1990). J. Am Chem. Soc. 112, pp1657-9. (b) Draths, K.M. and Frost, J.W. (1990) J. W. (1991) J. Am Chem. Soc. 112, pp. 9630-2 (c) Draths. K.M. and Frost, J.W.(1991)J.Am.Chem. Soc., 113, pp.9361-3.

¹⁶ (a) Chang, V. S., Burr, B. and Holtzapple, MT. (1997) Appl. Biochem. Biothechnol. 63-5, 3-19. (b) Office of Pollution Prevention and Toxics (1996) The Presidential Green Chemistry Challenge Awards Program. Summary of 1996 Award Entries and Recipients. July, EPA 744-K-96-0001 p. 7. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.

Las sustancias químicas pueden ser producidas económicamente a partir de biomasa de residuos que tiene un impacto negativo sobre el medio ambiente, tales como residuos sólidos urbanos y lodos de depuradoras. Por lo general, estos residuos son confinados en vertederos o por incineración, lo que incurre en un coste de eliminación al tiempo que contribuye a la contaminación de la tierra o aire. Mediante la producción de productos químicos a partir de biomasa, los recursos no renovables como el petróleo y el gas natural, se conservan para las generaciones posteriores.

Los combustibles producidos a partir de biomasa de residuos, han citado los beneficios anteriormente, es decir, reducción del impacto ambiental de la eliminación de residuos y la reducción del déficit comercial. Además, los combustibles oxigenados derivados de la biomasa son una combustión más limpia y no añaden dióxido de carbono neto para el medio ambiente, esto es, reducen de esta manera, los factores que contribuyen al calentamiento global.

Ejemplos de reacciones verdes

Economía del átomo y la catálisis homogénea

Con el fin de maximizar el número de átomos de los reactivos que se transforman a los productos en un esquema de síntesis, Trost ha desarrollado lo que se llama “economía del átomo”. El objetivo de este trabajo es el de reducir el número de átomos que se producen como subproductos no deseados. Las reacciones de Diels-Alder y condensaciones aldólicas son ejemplos en los que poco o nada de subproductos se forman. Para mejorar estos y otros tipos de reacciones, Trost ha estado desarrollando elegantes catalizadores de metales de transición. Este trabajo ha sido bien documentado en un estudio reciente.

La síntesis libre de haluro en aminas aromáticas

Las síntesis tradicionales de aminas aromáticas incluyen la cloración de benceno seguido de nitración y desplazamiento nucleófilo del cloro con un nuevo grupo de sustitución. La síntesis de difenilamina 4-amino ilustra este proceso.

Monsanto ha desarrollado una nueva síntesis de 4-aminodifenilamina que utiliza la sustitución nucleófila de hidrógeno.

Este proceso evita el uso de productos intermedios halogenados. En este proceso de nitrobenzeno y anilina se calientan en presencia de hidróxido de tetrametil amonio para dar las sales de tetrametil amonio de los productos de condensación. La hidrogenación catalítica de esta mezcla de reacción proporciona 4-aminodifenilamina, mientras que se regenera el hidróxido de tetrametil amonio.

El iminodiacetato disódico (DSIDA, por sus siglas en inglés) es un intermedio clave en la producción de herbicida Roundup (R) de Monsanto.¹⁷ Tradicionalmente, Monsanto y otros han fabricado utilizando la DSIDA bien conocido proceso de Strecker (que requieren amoniaco, formaldehído, cianuro de hidrógeno, y ácido clorhídrico). Debido a su extremo, toxicidad aguda, cianuro de hidrógeno requiere un manejo especial para

reducir al mínimo el riesgo para los trabajadores, la comunidad y el medio ambiente. La reacción puede generar, de forma exotérmica, productos intermedios estables potencialmente ONU. El proceso global también genera hasta 1 kg de residuos por cada 7 kg de producto. Gran parte de estos residuos contiene trazas de cianuro y formaldehído y deben ser tratados antes de la eliminación segura.

Monsanto ha desarrollado e implementado un proceso de DSIDA alternativo que se basa en la deshidrogenación catalizada por cobre de dietanolamina (DEA). Este proceso es inherentemente más seguro, debido a que la reacción de deshidrogenación es endotérmica y así no presenta el peligro de una reacción fuera de control. Esta nueva tecnología evita el uso de cianuro y formaldehído, es más seguro de operar, produce un rendimiento global más alto, tiene un menor número de pasos de proceso, y produce una corriente de producto que, después de la filtración de catalizador, es de tan alta calidad que es necesaria para su uso posterior en la fabricación de Roundup (r) no purificación o de residuos de corte. Esta tecnología de catálisis, también se puede utilizar en la producción de otros aminoácidos, tales como glicina. Este también proviene de un método general para la conversión primaria de alcoholes a sales de ácidos carboxílicos, y es potencialmente aplicable a la preparación de muchos otros productos agrícolas, los productos básicos, de la especialidad, y productos químicos farmacéuticos.

Los ejemplos de reactivos verdes

Síntesis de isocianato sin fosgeno

Los poliuretanos son polímeros importantes que se utilizan ampliamente para una variedad de aplicaciones comerciales. La dificultad del medio ambiente con poliuretanos es que tienen. Han fabricado tradicionalmente mediante el uso de fosgeno. El fosgeno es un gas extremadamente tóxico cuyo punto final es aguda letalidad. Un grupo de la Monsanto Company ha desarrollado un método de síntesis de poliuretanos y sus precursores de isocianato que elimina totalmente el uso de fosgeno.

Metilación selectiva utilizando carbonato de dimetilo

Las reacciones de metilación convencionales emplean haluros de metilo o sulfato de metilo. La toxicidad de estos compuestos y sus consecuencias ambientales da estas síntesis algo indeseables. La metilación de los compuestos de metileno, activos que a menudo implican múltiples alquilaciones incontrolables.

Tundo ha desarrollado un método para metilar compuestos de metileno activo, usando selectivamente carbonato de dimetilo. Reaccionando a arilacetónitrilos con carbonato de dimetilo en 180 a 220 e en presencia de carbonato de potasio produce 2-arylpropionitriles con alta selectividad (> 99%). En este proceso no se producen sales inorgánicas. Tundo ha demostrado esta reacción en lotes, bajo condiciones de flujo continuo.

Polimerización en estado sólido de polímeros amorfos utilizando carbonato de difenilo

La industria química Asahi, ha desarrollado el concepto de la polimerización de estado sólido de polímeros amorfos en la fabricación de policarbonatos. Sustitución del uso convencional de fosgeno y cloruro de metileno, este proceso utiliza bisfenol-A y carbonato de difenilo directamente para dar “prepolímeros” de bajo peso molecular (MW 2000 a 20 000) (Fig. 9.11). Estos prepolímeros se convierten a mayor peso molecular, en polímeros ópticamente transparentes a través de la cristalización del material de bajo peso molecular, seguido de una polimerización adicional.

Oxidativo verde. Metales de transición complejos

Muchos procesos oxidativos tienen consecuencias ambientales negativas. Mediante la creación de oxidantes catalíticos y reciclables vivo largo, la contaminación de iones metálicos en el medio ambiente puede ser minimizado mediante el uso de oxígeno molecular como oxidante primario. Varios sistemas ligados que son estables a la descomposición oxidativa en ambientes oxidantes están siendo desarrollados por Collins. Modelado la propuesta de reactivos intermediarios en los procesos de oxidación biológicas y químicas, los metales de transición complejos en estados de oxidación altos extremadamente estables, se han sintetizado.

Reactor de oxidación para líquidos

Praxair, ha desarrollado un proceso que permite la oxidación segura de productos químicos orgánicos con oxygen. Puro o casi puro de esta tecnología, conocido como el reactor de oxidación para líquidos (LOR, por sus siglas en inglés), proporciona ventajas ambientales. El uso de oxígeno en lugar de los procesos de oxidación convencionales, a base de aire reduce la cantidad de gas de ventilación que debe ser tratada antes de la liberación a la atmósfera. El uso de oxígeno puede tener un efecto positivo en la química de la reacción, permitiendo temperaturas y / o presiones más bajas. Esto puede conducir a una mejora en la selectividad sin sacrificar la tasa de producción. El aumento de la eficiencia química con el oxígeno puede resultar en materias primas importantes ahorros de costes. La temperatura más baja permitida por el proceso de LOR reduce la pérdida de corrientes de reactivos y / o disolvente a los subproductos y residuos. El LOR permitirá a un segmento grande e importante de la industria química de Estados Unidos para realizar un uso más eficiente de las materias primas, la reducción de emisiones al medio ambiente y el ahorro de energía.

Ejemplos de disolventes y condiciones de reacción verde

Ha habido un gran énfasis, tanto en la industria química y la investigación académica en el desarrollo de benigna con el medio ambiente disolventes y condiciones de reacción. Esto se debe en gran parte al hecho que los disolventes tradicionales, como clorofluorocarbonos y compuestos orgánicos volátiles, se han implicado en un número de

entorno problemas mentales y por lo que han sido altamente regulados. Los logros en esta área han sido diversos e innovadores y que responden a las exigencias económicas y legislativas impuestas a la utilización de los sistemas de disolventes clásicos.

Los fluidos supercríticos

Catálisis asimétrica usando dióxido de carbono supercrítico

El uso de dióxido de carbono supercrítico como un sustituto de disolventes orgánicos ya representa una herramienta importante para la reducción de residuos en la industria química y áreas relacionadas. El descafeinado de café, lúpulo extracción, y la producción de aceite esencial, así como los residuos de extracción / reciclaje y una serie de procedimientos analíticos. Ya utilizar este compuesto no tóxico, no inflamable, renovable, y barato como un disolvente. La extensión de este enfoque para la producción química, utilizando CO₂ como medio de reacción, es un enfoque prometedor para la prevención de la contaminación. De la amplia gama de reacciones de dióxido de carbono supercrítico que se han explorado, una clase de reacciones se ha mostrado prometedor excepcional. El Laboratorio Nacional de Los Álamos, ha encontrado que la reducción catalítica asimétrica, particularmente hidrogenaciones y reacciones de transferencia de hidrógeno, puede llevarse a cabo en dióxido de carbono supercrítico con selectividades comparables o superiores a los observados en los disolventes orgánicos convencionales.

Los Alamos han descubierto, por ejemplo, que la reducción asimétrica de transferencia de hidrogeno de enamidas utilizando catalizadores de rutenio procede con enantioselectividades que superan los de los disolventes convencionales. El éxito de la reducción catalítica asimétrica en CO₂ se debe en parte a varias propiedades únicas de CO₂, incluyendo sintonizable fuerza disolvente, miscibilidad gas, de alta difusividad, y la facilidad de la separa. Además, la insolubilidad de las sales, una limitación significativa de CO₂ como disolvente de reacción, se ha superado mediante el uso de aniones lipófilos, particularmente tetraquis [3,5-bis (triíluoromethyl) fenil] borato (BARF). Estos descubrimientos demuestran una alternativa ambientalmente benigna y potencialmente viable económicamente para la síntesis de una amplia gama de especialidades químicas tales como productos farmacéuticos y agroquímicos.

Polimerizaciones supercríticas

La tecnología surfactante dióxido de carbono, o “CO₂ jabonosa”, usos / CO₂ supercrítico líquido en lugar de productos químicos orgánicos menos aceptables. El dióxido de carbono representa una alternativa con el medio ambiente a los disolventes utilizados en la actualidad en una variedad de aplicaciones. Esta tecnología consiste en el desarrollo de sistemas tensioactivos de CO₂ con el fin de ampliar el uso de CO₂ líquido y supercrítico para mejorar su poder de solvencia para las moléculas grandes, basadas en hidrocarburos. Además de los procesos de polimerización, “CO₂ jabonosa” se puede utilizar como una limpieza y medio de extracción (en sustitución de hidrocarburos halogenados), así como un disolvente / medio para reacciones orgánicas.

Bromaciones radicales libres en CO₂ supercrítico

Otro ejemplo de la sustitución de los disolventes convencionales con CO₂ supercrítico ha sido descrito por Tanko. Su trabajo ha demostrado que las bromaciones de radicales libres, se pueden realizar en supercrítico CO₂ donde la selectividad y el rendimiento no se vean comprometidas por el cambio de las condiciones de reacción convencionales.

La bromación por radicales libres de tolueno, por ejemplo, era explorado utilizando tanto bromo y N-bromosuccinimida (NBS) Cuando se utilizó bromo como agente de bromación, se obtuvo una mezcla de bromuro de bencilo (> 70%) y 4-bromotolueno. Cuando se utilizó N-bromosuccinimida, se observó una conversión cuantitativa de bromuro de bencilo.

Agentes espumantes de dióxido de carbono

Debido a preocupaciones ambientales, el Dow Chemical Company, ha desarrollado un nuevo procedimiento para el uso de 100% de dióxido de carbono CO₂ como agente de expansión utilizado para la fabricación de hoja de espuma de poliestireno. El uso de 100% de CO₂ ofrece óptimo rendimiento medioambiental por CO₂, porque no lo hace agota la capa de ozono, no contribuye a la contaminación a nivel del suelo, y no contribuir al calentamiento global ya que el CO₂ se utiliza desde existente subproducto comercial y fuentes naturales. El dióxido de carbono también es no inflamable, proporcionando una mayor seguridad de los trabajadores, y es rentable.

Condiciones de reacción acuosas

Trabajo de Ciclodextrina de Breslow

Ha habido una serie de investigaciones de la utilización de agua como disolvente en lugar de disolventes orgánicos tradicionales como el medio de medida de la realización de transformaciones sintéticas. Breslow ha investigado la reacción de Diels-Alder en agua y se encontró que las velocidades de reacción y la selectividad se pueden aumentar en un sistema acuoso. Breslow ha hecho una serie de investigaciones de la utilización de agua como disolvente en lugar de disolventes orgánicos tradicionales, como el medio de medida de la realización de transformaciones sintéticas. Breslow ha investigado también, el uso de ciclodextrina para facilitar el uso del agua como medio de reacción y se ha llevado a cabo transformaciones tales como el citocromo P-450, catalítica en reacciones biomiméticas.

Catálisis de indio en base acuosa

El metal indio, un elemento relativamente inexplorado, recientemente se ha demostrado por Paquette, ofrece ventajas para la promoción de transformaciones orgánicas en solución acuosa. La viabilidad de estos tipos de condensaciones / carbonilo organometálicas en agua, como ejemplo de que se ha demostrado para el metal indio. El indio es no tóxico, muy resistente a la oxidación por el aire, y fácilmente se recupera por medios electroquímicos simples, lo que permite su reutilización y garantizar el flujo de residuos no contaminada. Además, la protección / desprotección de grupos funcionales y una atmósfera inerte que no son necesarios en la aplicación para esta tecnología.

Bromación acuosa por radicales libres

Los reactores multifase que se han desarrollado en el Instituto Tecnológico de Nueva Jersey y otras universidades que utilizan el agua para la reacción, con el fin de evitar el uso de disolventes orgánicos peligrosos en la fabricación de productos farmacéuticos y productos químicos especializados medio. Esta tecnología demuestra que la bromación por radicales libres de compuestos orgánicos, puede llevarse a cabo en sistemas acuosos. Un reactor de gotas semi-continua única, también se ha desarrollado en epoxidaciones lejanas. Y estos métodos, ofrecen un nuevo método de “no al final de la tubería” de la eliminación de compuestos orgánicos volátiles, es una modificación importante del proceso de mucho incentivo.

Una clase de disolventes poliméricos, ha sido desarrollada por los investigadores de MIT que tienen propiedades de solvatación similares a las de los disolventes usados convencionalmente en la síntesis química, separaciones, y operaciones de limpieza. El potencial de pérdida de profundidad de las emisiones de aire con el medio ambiente desfavorables o corrientes de descarga acuosa se ha minimizado. Estos disolventes son los derivados poliméricos de disolventes, utilizados en la actualidad en procesos de reacción y de separación. Los disolventes se pueden utilizar como reacción neta o por medios de separación, o se pueden diluir en alcanos superiores. Disolventes poliméricos u oligoméricos, tales como el derivado THF (tetrahidrofurano), se han sintetizado usando macromonómeros. La incorporación de la funcionalidad deseada, como grupos colgantes en el esqueleto polimérico. Estos disolventes poliméricos se recuperan fácilmente mediante separaciones mecánicas tales como ultrafiltración en lugar de los procesos de destilación. Este concepto se utiliza, para el diseño y la síntesis de disolvente que ofrece el potencial de reducción de fuentes significativas de contaminación del aire y el agua.

Condiciones de reacción irradiadas

Escisión fotosensibilizada del grupo protector de ditio a la luz visible

El diseño de las reacciones fotoquímicas ambientalmente benignas mediante el uso de alternativas no tóxicas para la oxidación de ditianos, oxatianos, y éteres de bencilo, ha sido descrito por Epling. En unos ejemplos derivados de ditio de compuestos de carbonilo, se desprotegen usando luz visible. Mediante el uso de un centro de atención y de metileno convencional verde 120 Watt como sensibilizador, los derivados de ditio se han convertido en sus correspondientes aldehídos.

El diseño de reacciones fotoquímicas ambientalmente benignas mediante el uso de alternativas no tóxicas para la oxidación de ditianos, oxatianos y éteres de bencilo, ha sido descrito por Epling. En unos ejemplos, derivados de ditio en compuestos de carbonilo, se desprotegen usando luz visible. Mediante el uso de un centro de atención y de metileno convencional verde 120 Watt como sensibilizador, los derivados de ditio se han convertido en sus correspondientes aldehídos.

Alternativa fotoquímica a la reacción de Friedel-Crafts

Para evitar la generación de los subproductos contaminantes de reacciones de Friedel-artsanía convencionales, un método alternativo ha sido descrito por Kraus. Por las reacciones fotoquímicamente mediadas de aldehídos con la quinona, benzodiazepine, y benzoepin, los sistemas de toque han sido sintetizados. Esta metodología evita el empleo de cloruros sensibles a aire ácidos, catalizadores de ácido de Lewis (cloruro de aluminio, cloruro de estaño o cloruro de titanio), o disolventes tales como nitrobenzeno, disulfuro de carbono, o cloruro de carbono.

Ejemplos de productos químicos verdes

Desde el diseño de los productos químicos más seguros puede aplicarse a prácticamente cualquier producto químico, los ejemplos dados aquí serán tan diversos como los propios productos. Si bien, es cierto que nada está libre de riesgos, las ventajas que ofrece el empleo de las herramientas para el diseño de los productos químicos más seguros, permite a los peligros drásticamente reducirlos y los productos sintetizados a ser ambientalmente benignos.

Diseño de alternativas nitrilos

Un ejemplo de cómo se puede evaluar las consecuencias toxicológicas de un grupo funcional particular y luego utilizar esta información para diseñar compuestos inherentemente más seguros ha sido descrito por DeVito, quien presenta un estudio exhaustivo del grupo funcional nitrilo.¹⁷ Las relaciones estructura-actividad toxicológicas son exploradas y se encuentran modificaciones sintéticas que reducen la toxicidad. La estrategia general que se describe se puede aplicar al estudio de cualquier clase de compuestos.

Uno de los muchos ejemplos que se presentan en la obra de DeVito, es una comparación de la toxicidad del 3-hidroxiopropionitrilo vs 2-hidroxiopropionitrilo. Los estudios toxicológicos demuestran que el isómero 2- hidroxido es mucho más tóxico que el isómero 3-hidroxido. Se propone que el mecanismo de toxicidad aguda para ser la eliminación de cianuro de hidrógeno a partir de la cianhidrina. Dependiendo de la naturaleza de la sustitución en la posición de carbono, esta eliminación se puede acelerar o retrasar. Sabiendo esto, los nuevos propionitrilos pueden ser diseñados para reducir esta vía mecánica y por lo tanto ser inherentemente más seguros.

El ensuciamiento es el crecimiento no deseado de las plantas y los animales en la superficie de un barco. Los productos químicos utilizados para controlar el ensuciamiento son compuestos orgánicos de estaño tales como el óxido de tributilestaño (TBEO). Ellos son eficaces para prevenir el ensuciamiento, pero tienen problemas ambientales generalizados. Ellos son persistentes en el medio ambiente y tienen varios efectos secundarios como la toxicidad aguda, la bioacumulación, disminución de la viabilidad reproductiva, y el aumento de grosor de la cáscara en los mariscos. Estos

¹⁷ Office of Pollution Prevention and Toxics (1996) The presidential Green Chemistry Challenge Awards Program. Summary of 1996 Award Entries and Recipients. July, EPA 744-K-96-001 p. 4.-11. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.

efectos nocivos dirigidos a la Ley de Control de Organoestaño antiincrustante Pintura de 1988. Restricciones establecidas por este acto en el uso del estaño en los Estados Unidos y pagan la EPA y la Marina de los Estados Unidos con la realización de investigaciones sobre alternativas a los compuestos orgánicos de estaño.

El anti-incrustante ideal, sería evitar las incrustaciones a partir de una amplia variedad de organismos marinos sin causar daño a los organismos no objetivo. 4,5-dicloro-2-n-octil-4- fue elegido tiazolin-3-ona (Sea-Nina (tm) antiincrustante) por la Rohm and Haas Company, como un nuevo antiincrustante para el desarrollo comercial.

Sea-Nina (tm) antiincrustante, se degrada muy rápidamente, con una vida media de un día de agua de mar y una hora en el sedimento. TBE0, se degrada mucho más lentamente, con una vida media en agua de mar de nueve días y de seis a nueve meses en el sedimento. Sea-Nina (tm) de bioacumulación antiincrustante, es esencialmente cero.

Ácidos poliaspártico Donlar

El ácido poliacrílico (PAC) es un polímero aniónico importante que se utiliza en muchas aplicaciones industriales. La disposición ideal para estos polímeros sería a través de la biodegradación por los microorganismos debido a que los productos finales de graduadas son inocuos. Desafortunadamente, PAC no es biodegradable, por lo que, en la mayoría de los casos, estos polímeros terminan en instalaciones de tratamiento de residuos. Una alternativa económicamente viable, eficaz y biodegradable es poliaspartato térmico (TPA).

Donlar ha inventado dos procesos altamente eficientes para la fabricación de TPA.¹⁸ La primera implica una polimerización seca y sólida, la conversión de ácido aspártico de polisuccinimida. No hay disolventes orgánicos están involucrados durante la conversión. El subproducto se condensa el agua. Este proceso es extremadamente eficiente. Los rendimientos de más de 97% de polisuccinimida, se consiguen de forma rutinaria. El segundo paso de este proceso, la hidrólisis básica de polisuccinimida a poliaspartato, es también extremadamente eficiente y libre de residuos.

El segundo proceso de producción de TPA, implica el uso de un catalizador durante la polimerización que permite una temperatura de calentamiento inferior a utilizar. El producto resultante ha mejorado las características de rendimiento, menor color, y biodegradabilidad. Debido a que el propio catalizador puede ser recuperado del proceso, los residuos se minimizan aún más.

El TPA es no tóxico y ambientalmente seguro. TPA biodegradabilidad También se ha probado el uso de la OCDE establecida (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) metodología. PAC no puede ser clasificado como biodegradable cuando se prueba en las mismas condiciones.

¹⁸ Office of Pollution Prevention and Toxics (1996) The presidential Green Chemistry Challenge Awards Program. Summary of 1996 Award Entries and Recipients. July, EPA 744-K-96-001 p. 5. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.

Desarrolladores acomplejados de Polaroid

Para obtener reveladores fotográficos que tienen las propiedades físicas y químicas correctas, Polaroid, junto con otros en la industria fotográfica, han modificado covalentemente hidroquinonas. Típicamente, los grupos de bloqueo están unidos a los oxígenos de hidroquinona

Tomando ventaja del presente alcalino en el reactivo “vaina”, se utilizan reactivos funcionalizados de base sustituyente. Los mecanismos de hidrólisis de acilo y de eliminación se han empleado para “máscara” las hidroquinonas y hacerlos no reactivos a la oxidación. Antes de la activación por liberación de la base del grupo protector, la hidroquinona sustituida es oxidativamente inerte.

Desde una perspectiva medioambiental, este enfoque no es satisfactorio. Para llegar a una molécula cuya cinética de liberación de la base se corresponden perfectamente a los requisitos termodinámicos y cinéticos impuestos por el sistema fotográfico, hay varias moléculas candidatas que típicamente se tendrán, para ser sintetizadas y purificadas; se examinarán y experimentarán. La cifra de este procedimiento en términos de utilización de disolvente orgánico y de la generación de residuos peligrosos; asimismo, el coste económico asociado, se incrementa con bastante rapidez. Además, debido a los problemas de difusión, no se abordan de manera eficiente, las propiedades de solubilidad de tales sistemas moleculares y, no obstante, se pueden requerir soluciones de revestimiento para incorporar disolventes no acuosos.

Para abordar estas cuestiones, se ha aplicado el uso de reconocimiento molecular y autoensamblaje como un medio para controlar el comportamiento químico.¹⁹ La idea general es la de formar un constructo supramolecular cuya integridad estructural se mantenga por interacciones no covalentes. Usando dialquiltereftalamidas como el componente de conjugación, para que los conjuntos moleculares puedan construirse. El enlace de hidrógeno con fenol-amida terciaria, proporciona una fuerza de bilis base de la de la atracción mayor por el apilamiento disponible entre la hidroquinona de electrón rico y la tereftalamida deficiente de electrones

El comportamiento de estado sólido de la construcción supramolecular es dramáticamente diferente de los componentes individuales. Mientras que las hidroquinonas tienen una solubilidad significativa en agua, el complejo de hidroquinona y tereftalamida es relativamente insoluble en agua. Esta insolubilidad permite el procesamiento de este material en el agua. Debido a la fuerza del complejo de estado sólido, mantenido por enlaces de hidrógeno, cuando el álcali del reactivo “vaina” eleva el pH de la película, las hidroquinonas se desprotonan y rápidamente se solubilizan y, por lo tanto, se activan para su uso en el sistema fotográfico.

Las mediciones analíticas han demostrado que la auto-oxidación de las hidroquinonas se reduce significativamente o se elimina totalmente, cuando se compleja en un ensamblaje supramolecular. La evaluación de las concentraciones de hidroquinona en varias capas de película después de recubrimiento, se ha verificado que los desarrolladores acomplejados no migran a través de la estructura y se inmovilizan de

¹⁹ Guarrea, D.J., Kingsley, E., E., Taylor, L.D., and Warner, J.C. (1997) Proceedings of the IS&T's 50th Annual Conference. The Physics and Chemistry of Imaging Systems, p.537.

manera eficiente. Que el proceso fotográfico funciona tan bien como lo hace, muestra claramente que el conjunto se solubiliza y la hidroquinona se libera en respuesta al cambio de pH iniciado durante el proceso fotográfico.

Las tendencias en el futuro de la química verde

Las tendencias en el futuro de la química verde

El futuro de la química verde es tan amplio como el futuro de la química en su conjunto y por lo tanto es difícil de predecir o resumir. Al igual que la química ha sido siempre un viaje en lugar de una conclusión, la química verde también se basa en la premisa de la mejora continua, el descubrimiento y la innovación, es el camino hacia la meta perfecta de benigna con el medio ambiente.

En este contexto hay, sin embargo, algunas áreas de investigación que plantean un reto científico para los químicos y que tienen el potencial de beneficios dramáticos como alternativas de química verde al estado actual de la ciencia.

Reactivos de oxidación y catalizadores

Si bien, ha habido avances notables en los últimos años, la química de oxidación ha tenido la bendición de ser a la vez, una de las más esenciales y una de las tecnologías más contaminantes por químicos. Sin duda, es esencial porque las transformaciones oxidativas han sido la base de gran parte de la funcionalización necesaria de los bloques fundamentales de construcción de químicos. Dado que la industria química se basa actualmente casi exclusivamente en materiales de alimentación a base de petróleo, que son por supuesto, en su estado casi totalmente reducido, es la química de oxidación que permite a estas materias primas convertirse en los productos químicos utilizados en última instancia por el consumidor.

Con el fin de cambiar este perfil de la química de la oxidación, se ha prestado mucha atención al desarrollo de técnicas de química verde que serán, tanto ambientalmente benignas, así como para traer otra eficiencia, selectividad, y, por lo tanto, también beneficios económicos. Las nuevas químicas de oxidación, es casi seguro que, tienen que ser catalíticas en lugar de estequiométricas y ser muy robustas, con altas tasas de rotación. Si se utilizan los metales / metales de transición pesados en absoluto, que sin duda será la utilización de algunos de los metales más inocuos, por ejemplo, el hierro. La base para las oxidaciones a menudo puede implicar oxígeno molecular y / o peróxido.

La clave de la nueva química de oxidación verde será, por supuesto, ser el uso y generación de sustancias poco o nada peligrosas, con la máxima eficiencia de incorporación átomo. Esta es un área de interés, que debe producir resultados significativos en los próximos años, y que tendrá un efecto dramático en todo tipo de productos, procesos y sectores industriales.

La clave de la nueva química de oxidación verde será por supuesto, ser el uso y generación de sustancias poco o nada peligrosas, con la máxima eficiencia de incorporación del átomo. Esta es un área de interés, que debe producir resultados significativos en los próximos años, y que tendrá un efecto dramático en todo tipo de productos, procesos y sectores industriales.

Biomiméticos, reactivos multifuncionales

La naturaleza nos ha enseñado algunos de sus enseñanzas más profundas y que son tan ciertas en el campo de la química, como en todos los demás aspectos de la vida. A medida que los científicos aclaran los mecanismos que los sistemas biológicos utilizan para llevar a cabo sus funciones, se crea una plantilla que se puede utilizar en el diseño de los reactivos del futuro. Este enfoque “biomimético” para el diseño de catalizadores y reactivos, abarca algunos comunes con características admirables que se encuentran en los sistemas biológicos, tales como enzimas:²⁰

Mientras que los catalizadores sintéticos y reactivos para la mayor parte, se han centrado en la realización de una transformación discreta (por ejemplo, reducción, oxidación, metilación), los sistemas bioquímicos a menudo llevan a cabo varias manipulaciones con el mismo reactivo. Estas manipulaciones pueden incluir la activación, los ajustes de conformación, y una o varias transformaciones y derivaciones reales.

Química verde combinada

La química combinada es la práctica de ser capaz de hacer un gran número de compuestos químicos rápidamente en una pequeña escala a través de matrices de reacción. Esta práctica se ha encontrado adopción generalizada, especialmente en el sector farmacéutico, y se han citado las ventajas de la química verde. Si una compañía farmacéutica identifica un "compuesto de plomo", es decir, con una promesa considerable, a continuación, históricamente, la empresa procederá a hacer un gran número de los derivados del plomo con el fin de probar su eficacia y optimizar el potencial. El advenimiento de la química combinada ha permitido a un gran número de sustancias que se hacen y se evaluaron sus propiedades sin la magnitud de los efectos de los residuos y eliminación de material asociado siendo tan grande como lo ha sido el caso en el pasado.

La química que tanto evita problemas y resuelve los problemas de contaminación actuales

Hoy en día, se descubrió que muchas de las tecnologías de la química verde que han sido descubiertas son perseguidas o para la prevención de la contaminación, al mismo tiempo que se puede utilizar para hacer frente a los problemas ambientales que ya existen. Un ejemplo de esto, podría ser el uso de dióxido de carbono como materia prima, alternativa en la industria de materiales de construcción. Este trabajo utiliza CO₂ de una manera que aumenta en gran medida las características de rendimiento de materiales, como el hormigón u otros materiales que se pueden utilizar en paneles de yeso, por la incorporación de dióxido de carbono en el material. No se ha encontrado un uso para el dióxido de carbono que se secuestra en una matriz, esta tecnología no es sólo la prevención de la contaminación, sino que también se ocupa del problema de gases de efecto invernadero que ya existe, para reducir la cantidad de CO₂ liberado a la atmósfera.

Otro ejemplo de la utilización de una alternativa de materia prima, que es tanto de química verde y que repara un problema ambiental existente, es el de la utilización de

²⁰ Hudlicky, T., Pitzer, K.K., Stabile, M.R. and Thorpe, A.J. (1996). *J. Org. Chem.*, 61, 4151-53.

la biomasa para la fabricación de productos químicos. El problema de la biomasa como un problema de residuos sólidos, ha existido durante años. En función del tipo de residuo, que puede ser responsable de llenar los vertederos municipales a un ritmo alarmante. A través del uso de tecnologías que consumen biomasa en la fabricación de productos con valor agregado, esta alternativa química verde para la prevención de la contaminación, es también una tecnología de remediación de la contaminación.

Otros residuos, tales como compuestos aromáticos halogenados, que son subproductos de muchos procesos químicos, especialmente en el sector industrial farmacéutico, se encuentran ahora con usos como materias primas a través del uso de las nuevas tecnologías biocatalíticas. Una vez más, los residuos que existen y se están generando son costosos tanto para tratar, como para desecharse. Mediante el uso de las nuevas tecnologías de química verde, estos problemas ambientales existentes, pueden comenzar a ser tratados.

Proliferación de las reacciones sin disolventes

Una de las “alternativas solventes” que se están desarrollando en la química verde, es el de los sistemas de reacción sin disolvente o puro. Las reacciones y procesos de fabricación enteros se llevan a cabo en condiciones sin disolvente, tales como reacciones de estado fundido de reacción secundaria, plasma y reacciones de sólidos apoyado ordenadas tales como arcilla y zeolitas. Estas técnicas, están utilizando algunas condiciones no tradicionales, tales como microondas, ultrasonido, y las transformaciones de luz visible. A medida que se desarrolló el desarrollo de las Transforma adicionales y enteras, vías de síntesis sin disolventes, esta zona tendrá que desarrollar metodologías para el aislamiento del producto, la separación y purificación que estarán exentas de disolventes y con el fin de maximizar los beneficios.

Foco de energía

Los efectos ambientales de uso de energía son profundos, pero no se han sido tan visible y tan directo como algunos de los riesgos que han sido planteados por los materiales utilizados en la fabricación, uso y eliminación de productos químicos. El nuevo enfoque sobre las implicaciones energéticas de transformaciones químicas tiene que ser un objetivo fundamental de la investigación futura en la química verde. Los beneficios de la energía de la catálisis han sido dramáticos, especialmente en el área de la petroquímica. La necesidad de diseñar posturas y materiales que sean eficaces, eficientes y de bajo costo en la captura, almacenamiento sub, y el transporte de la energía es un reto importante para la química verde. Los peligros, ya sean directos o indirectos, para la salud humana y el medio ambiente de la utilización de ineficiente y las energías contaminantes son los que pueden y deben ser Dirigido por la química verde en el futuro.

Derivatización no covalente

La fabricación, elaboración y utilización de productos químicos ha dependido en gran medida de un sistema de decisiones y la ruptura de enlaces covalentes. Ciertamente, se podría decir que la química orgánica sintética se define a sí misma como la formación y ruptura de enlaces carbono-carbono. Este paradigma debe cambiar. La química sucede sin la toma de enlaces; las propiedades físico / químicas se modifican y se han mejorado

las medidas de rendimiento. A través de la utilización de complicación dinámica, que permite la formación temporal de estructuras químicas modificadas, cabe señalar que, las propiedades de una molécula se pueden cambiar durante el periodo de tiempo necesario para llevar a cabo una función particular sin la totalidad de los residuos que se generaría si completa la derivatización que se llevó a cabo.²¹

²¹ Guarrera, D., Taylor, L.D., and Warner, John, C. (1994). Chemistry of Materials, 6, p.1293.

Conclusión

Conclusión

Con el apoyo del estudio, se pretende encaminar al sector industrial mediante la autoridad, a regular y fomentar las cadenas de valor de los compuestos en las cadenas de valor productivas que establezcan ciclos verdes. Urge llevar a la práctica el desarrollo y fabricación de productos, el ciclo de vida verde que culmine (por decirlo así) en el reducir la generación de residuos, el reciclaje y la reutilización de aquellos envases o contenedores que terminan desechados al final del tubo en su vida útil; esto, implica costos elevados en la inversión de la industria manufacturera que se reflejaría en beneficios en su mayoría a largo plazo, ya que la producción de productos que actúan como insumos que pueden ser desde biocombustibles, hasta plásticos derivados de la celulosa orgánica, son provenientes de un nicho industrialmente reducido, es decir que son proporcionales, tanto en su obtención como en su procesamiento como materia prima. El problema del calentamiento global, se ha convertido en una gran área de oportunidad para el desarrollo industrial ambiental que cambie las tecnologías grises por las verdes, es decir la sustitución de la química sintética por la química verde, esta ciencia amigable con el medio ambiente, aquella que puede reducir a través de su experimentación positiva, los índices que al momento se tienen y que provienen de sus diferentes formas de emisión, a la atmosfera, suelo y mantos acuíferos. Lo anterior, conllevaría al escenario ideal sustentable y resulta indispensable, no sólo en la búsqueda de materias primas y procesos menos contaminantes más eficientes, sino 1.- en practicar y enseñar una ciencia y construir una educación que proponga la búsqueda de alternativas éticamente aceptables, económicamente factibles, energéticamente deseables, ambientalmente indispensables y respetuosas del equilibrio ecológico de los ecosistemas; 2.- que parta del hecho de que el desarrollo sólo puede lograrse si se alcanza el equilibrio entre la economía, el ambiente y la sociedad como vía de la cimentación y la edificación de una ciencia socialmente responsable; situación que no puede seguir siendo ignorada por los docentes y los científicos, y a la que necesariamente debe darse una respuesta adecuada. Por lo que sí “el progreso, es la generalización del progreso” (Perroux, 1984), el caminar hacia un verdadero progreso global o desarrollo sustentable a nivel global, implica entonces construir las condiciones de seguridad, libertad y educación necesarias para ello. Sin embargo, la libertad y la seguridad quedan finalmente supeditadas a los cambios que seamos capaces de generar en la educación, para poder estar en posibilidades de construir los cambios en la libertad y la seguridad que conduzcan a ese desarrollo sustentable. Lograrlo exige a las comunidades docentes y científicas tres grandes retos: el primero es la necesidad de formar ciudadanos y científicos con una perspectiva ambiental del desarrollo de la ciencia; el segundo es lograr que la práctica científica cotidiana de los investigadores busque desarrollar alternativas de origen natural, utilizando materiales originarios del país, del bajo costo, y del menor impacto ambiental posible, para contribuir al mayor beneficio social. Por último, es necesario crear e impulsar respuestas resistentes en la ciudadanía a través de la educación y práctica cotidiana socialmente responsable de la ciencia, como vía de construcción y recuperación protagónica de las comunidades con base al reconocimiento de sus valores naturales y culturales. El papel de la educación superior es fundamental en esta empresa de construcción de la educación, la cultura y

la ciencia generadoras de una ciencia para el desarrollo.²² La responsabilidad es de todos.²³

²² UNESCO, 2009

²³ Educ. quím., 23(2), 222-229, 2012. © Universidad Nacional Autónoma de México, ISSN 0187-893-X

Publicado en línea el 12 de marzo de 2012, ISSNE 1870-8404

Bibliografía

Teoría y Práctica Química Verde

<http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/36423/1/articulo12.pdf>

<http://www.redalyc.org/pdf/342/34202107.pdf>

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/133111/Sector_Industria_Quimica.pdf

<http://mariangel97.blogspot.mx/>

<https://www.agro.uba.ar/users/semmarti/Atmosfera/contatmosf.pdf>

http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/publicaciones/indata/v16_n1/pdf/a13v16n1.pdf