

Capítulo 1.- Química Verde: Metas, Desafíos y Formas de Contribuir a su Desarrollo desde la Enseñanza Media

Pedro Casullo, Emy Soubirón

Orientadores: Patrick Moyna y David González

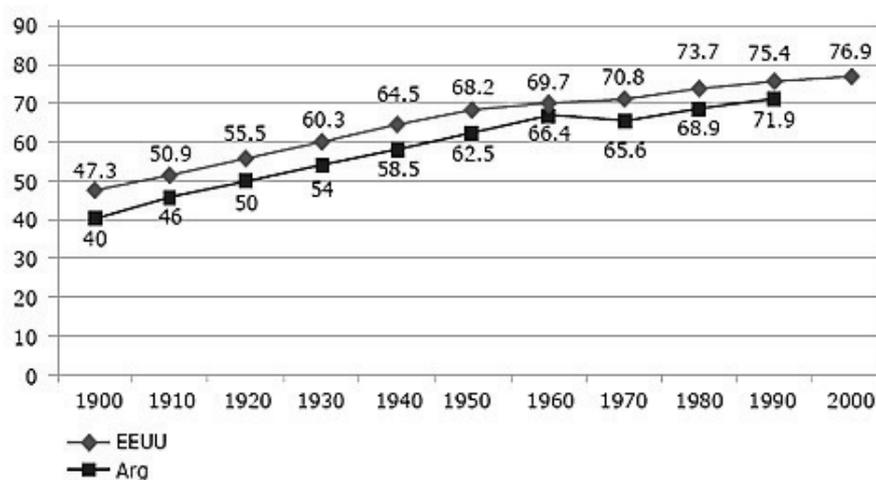
Resumen

Dentro de la situación de alerta climática que está viviendo nuestro planeta, de acuerdo a lo que muestran diversas investigaciones y proclaman los organismos internacionales, la química surge con un doble papel. Por un lado es responsable de algunas de las causas que han generado esta circunstancia y por otro tiene un papel preponderante para atenuar y revertir este escenario. Considerando este doble papel surge la Química Verde o Química Sustentable, como búsqueda de alternativas que prevengan la contaminación, sin dejar de producir los materiales necesarios para mantener la calidad de vida de los seres humanos. En este contexto, la ONU ha declarado la Década de la Educación para el Desarrollo Sustentable que va del año 2005 al 2014. Esta declaración implica un llamado al rol que deben tener los docentes en el cambio de mentalidad que se requiere de parte de los futuros científicos y ciudadanos que se están formando, para hacer frente a la actual situación. El objetivo del presente trabajo es acercar al profesor la Química Verde y sus principios, tomando en cuenta las implicancias didácticas que este enfoque requiere. Este acercamiento comienza con una introducción histórica de cómo se llegó a esta perspectiva. A continuación se muestran ejemplos concretos de investigaciones que se han llevado a cabo desde este enfoque, considerando las implicancias sociales que de ellas se derivan. Después se plantea el rol que tiene el docente al presentar esta nueva manera de ver la química, considerándola en el contexto de la Década de la Educación para el Desarrollo Sustentable, y considerando la interacción entre Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente (CTSA). Termina con algunas actividades propuestas desde esta perspectiva y algunos enlaces para que los docentes de química, como profesionales de la educación, puedan articularlos, modificarlos y adaptarlos a sus prácticas de aula habituales.

1.1. Introducción

1.1.1. Incidencia de la química en el desarrollo tecnológico de la humanidad

Desde la prehistoria, el hombre ha estado consciente o inconscientemente acompañado por procesos químicos. Muchos de los descubrimientos que le han posibilitado su desarrollo tecnológico y la mejora de su calidad de vida están relacionados a dichos cambios: el fuego, la cocción de los alimentos, la fermentación que permitió la obtención de bebidas, quesos y pan, la obtención de metales y sus aleaciones, son todos procesos químicos que el hombre aprendió a utilizar para su provecho.



Fuentes: CDC, National Center for Health Statistics, Estados Unidos e INDEC, Rep. Argentina, 2002.

Figura 1.1. Expectativa de vida al nacer durante el siglo XX

En épocas más recientes, el aumento de la expectativa de vida se debe en gran parte a adelantos procedentes de la química. Dos de los factores que más han incidido en este aspecto son la potabilización del agua mediante la cloración y la utilización de antibióticos. Estos recursos han posibilitado el combate efectivo de diversas enfermedades infecciosas que antes constituían epidemias y eran incurables. Tal como lo señala Belloso (2009: 102 - 111): “A principios del siglo XX la expectativa de vida al nacer para el promedio de la población era de 47.3 años en los Estados Unidos de Norteamérica y de 40 años en la Argentina. Hacia fines del siglo XX esta cifra superaba los 75 años (Fig.1). Desde el punto de vista epidemiológico las razones fundamentales de esta virtual duplicación de la expectativa de sobrevivencia al nacer recaen en la disponibilidad de agua potable y la disponibilidad de tratamiento para las enfermedades infecciosas. Aun hoy, el mapa de la expectativa de vida se asemeja mucho al mapa de la disponibilidad de agua y antibióticos.”

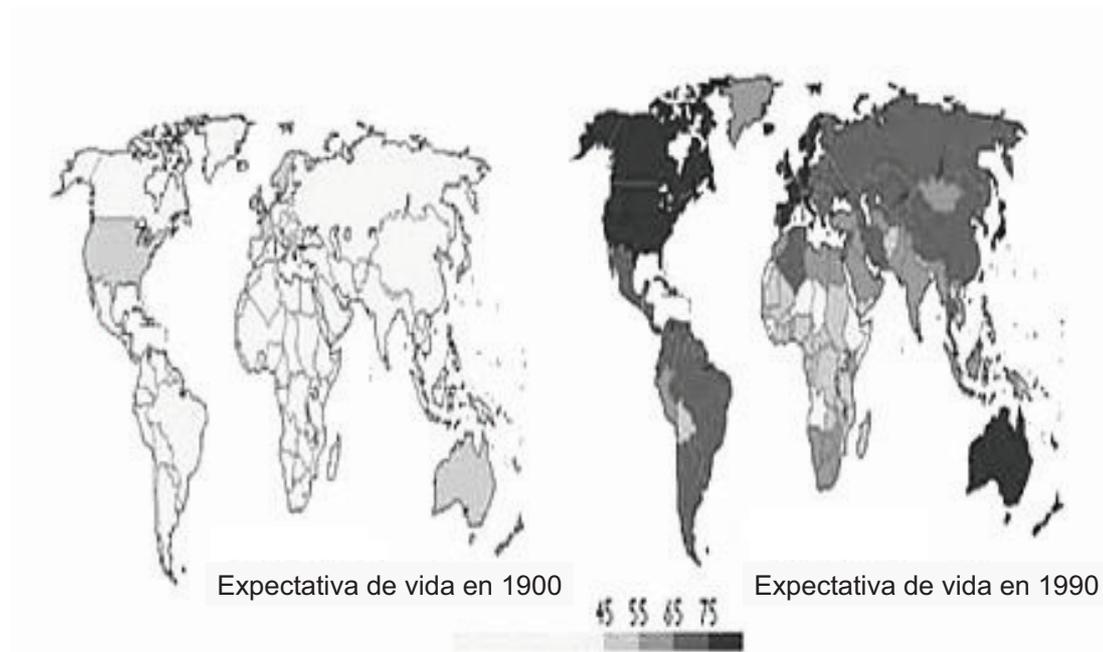


Figura 1.2. Expectativa de vida al nacer a comienzos y a fines del siglo XX en diferentes regiones del mundo

Estos dos avances científicos son debidos a la química asociada a otras disciplinas y, junto con muchos otros, han permitido el aumento de la expectativa de vida, con el consecuente aumento de la población mundial, así como la mejora de la calidad de vida, mediante innumerables adelantos vinculados, muchos de ellos, a la química de los materiales. Otro tanto puede decirse de la importancia que ha tenido la química en el desarrollo de la medicina y en la producción de fertilizantes y agroquímicos. Se puede hablar también en esta misma línea, del desarrollo que ha tenido la industria de los derivados del petróleo, con su importancia como principal fuente de energía, que ha posibilitado el transporte de personas y mercancía a los niveles que hoy tenemos, así como el funcionamiento de las industrias. Otro tanto se puede decir de los materiales poliméricos, con un sin fin de aplicaciones. Este desarrollo ha ido acompañado de un enorme crecimiento de la industria química a nivel mundial. *“...la evolución de las ventas de la industria química durante los últimos 10 años, reportadas por CEFIC (Consejo Europeo para la Industria Química) para los 28 países con el mayor nivel de ventas en el negocio químico, provenientes de todas las regiones del globo y que representan más del 90% de las ventas mundiales. Según estas estadísticas, durante los 10 últimos años, el negocio químico creció en promedio, a razón de un 3.8% inter-anualmente.”* (Gabaldón, 2005: 105)

1.1.2. Surgimiento de los problemas ambientales y responsabilidad de la química en ellos.

Paralelamente a este crecimiento, y como consecuencia del mismo, se va registrando un aumento de la generación de residuos que son perjudiciales, de diferentes maneras, para los seres vivos presentes en el planeta, incluidos los seres humanos.

Muchos de estos efectos no fueron percibidos en el momento en que empezaron a generarse los productos. Este fue el caso del uso de freones como gas refrigerante en las heladeras y equipos de aire acondicionado y como propelentes para aerosoles. Luego de años, se descubrió, en la década del 70, su participación en las reacciones que convierten el ozono estratosférico en oxígeno, eliminando su potencial como protección de los rayos ultravioleta provenientes del sol.

Lo mismo sucedió con dióxido de carbono y su contribución al efecto invernadero. La utilización de los combustibles fósiles en forma masiva comienza con la revolución industrial. En 1896 Arrhenius sugirió que la utilización masiva de estas fuentes de energía por parte del hombre aumentaría la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, y que este incremento contribuiría al aumento de la temperatura promedio del planeta. Aún hoy no hay acuerdo entre todos los científicos sobre el alcance real de la actividad humana sobre este fenómeno.

Estos son algunos ejemplos de cómo la investigación y la industria química generan problemas de contaminación. A esto se pueden agregar los efectos provocados por los agroquímicos, y por los nuevos materiales no biodegradables (plásticos), que se van acumulando sin encontrarse una forma óptima de reutilización o eliminación.

También algunos de los avances en medicamentos han ido acompañados de consecuencias indeseables no previstas. Valga como ejemplo el caso de la talidomida, un medicamento que se utilizó en la década del 60 como sedante y calmante. Luego se descubrió que uno de sus isómeros (el isómero *S*) resultó teratogénico e indujo malformaciones fetales mientras que el isómero *R* solamente producía los efectos sedantes buscados.

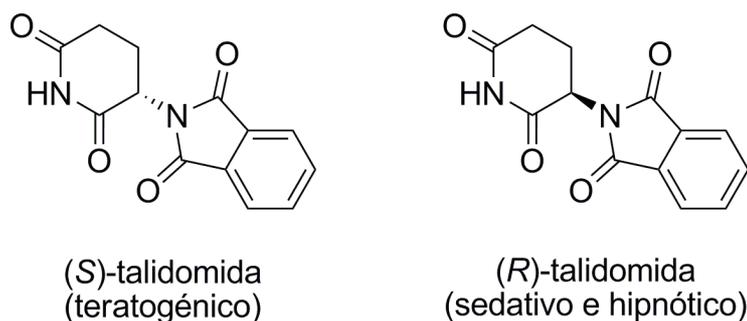


Figura 1.3. Isómeros de talidomida

En base a todo esto la imagen de la química como ciencia empezó a deteriorarse, al punto de llegar a que hoy, para muchas personas, decir “productos químicos” es una expresión que hace pensar en algo negativo, perjudicial para el ambiente o la salud, no relacionando con que todo lo material está formado por compuestos químicos y olvidando que la mayoría de las mejoras en salud y calidad de vida se deben también a los “productos químicos”.

1.1.3. Algunas acciones realizadas a los efectos de solucionar los problemas ambientales

Hasta la primera mitad del siglo XX, los investigadores químicos trabajaban con el objetivo de solucionar los problemas inmediatos que eran identificados. Si las soluciones provocaban otros problemas, éstos se trataban de solucionar luego de que surgían. Pero a partir del reconocimiento de los efectos perjudiciales para el ambiente que tiene la actividad humana, comenzó a surgir una conciencia de que se debía hacer algo al respecto. La primera manifestación importante de esta conciencia, a nivel mundial, fue la Declaración de Estocolmo realizada por la Convención de las Naciones Unidas en 1972.

A continuación de ésta, se han sucedido una serie de documentos (Carta Mundial de la Naturaleza, Informe de la Comisión Mundial “Nuestro Futuro Común”, Informe Geo 4), la creación de comisiones especiales (PNUMA, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente; IPCC, Panel Intergubernamental en Cambio Climático); y encuentros internacionales (Río, Copenhague, Johannesburgo, entre otros); acuerdos internacionales (Protocolo de Montreal, Protocolo de Kioto, etc.), que cada vez más centran la atención sobre estos aspectos.

En la cumbre de Río tomó impulso el concepto de Desarrollo Sustentable, definiéndolo como aquel desarrollo económico e industrial que permita satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades.

El informe Geo4 (2007) da cuenta de múltiples aspectos vinculados a la situación ambiental mundial, en particular en relación al suelo, la biodiversidad, el aire y el agua.

En relación al suelo denuncia su degradación como consecuencia del uso indebido en la agricultura (inadecuada rotación de suelos, uso inadecuado o abusivo de fertilizantes o herbicidas, prácticas indebidas de riego, etc.), por el pastoreo excesivo, por la deforestación de bosques naturales, entre otras razones.

En relación con la biodiversidad mundial, se señala una pérdida muy grande de especies autóctonas como consecuencia de la indebida explotación de recursos naturales o la introducción de especies foráneas.



La industrialización ha generado innegables problemas ambientales.

Es imprescindible cambiar las estrategias de fabricación de bienes por otras más amigables con el ambiente.



Figuras 1.4 y 1.5. Industrialización y contaminación (adaptadas de cleanworld.blogspot.es)

Cuando se considera al agua, se calcula que un tercio de la población mundial tiene problemas de disponibilidad altos o moderados, previéndose que la cifra aumentará en los próximos años. Los sectores más vulnerables son los más pobres, por falta de saneamiento y agua potable. También podrían considerarse los efectos que ha tenido la llamada lluvia ácida, tanto en la agricultura como en bosques o en centros urbanos.

Si consideramos el aire, es ampliamente conocido el incremento de dióxido de carbono atmosférico por la quema de combustibles fósiles, contribuyendo al efecto invernadero, o la contribución con gases productores de lluvia ácida por

otros productos de dicha combustión, o la disminución del efecto protector de la capa de ozono a radiaciones UV a nivel ártico y antártico.

Así pues, la problemática ambiental es un tema que trasciende gobiernos, afecta transversalmente las actividades económicas y las relaciones internacionales. A nivel mundial se utiliza el concepto de “Huella ecológica” como indicador en los análisis ambientales, referida al área de tierra o de zonas marinas productivas requeridas para generar los recursos que una población consume y para asimilar los desechos que esa misma población genera.

A nivel mundial, entre 2005 y 2006, la huella ecológica creció un 2% tanto por incremento de la población como por su consumo. La Figura 1.6 muestra los avances del indicador a noviembre de 2009, según el Global Footprint Network, California. Se están necesitando los recursos de 1.4 Tierras para vivir en forma sostenible y se está generando dióxido de carbono un 44% más rápido de lo que la tierra tarda en absorberlo o sea que la tierra necesita de 18 meses para recuperarse de lo que le exigimos en un año.



Figura 1.6. El avance de la huella ecológica (adaptado de www.footprintnetwork.org)

1.2. La química verde

1.2.1. Origen y definición

En este contexto, entre los químicos va surgiendo la inquietud de asumir su parte de responsabilidad en el tema contaminación. A raíz de esta conciencia y de otros motivos, como pueden ser los económicos y el cuidar su propia salud, se van extendiendo una serie de prácticas que, directa o indirectamente, redundan en el cuidado del ambiente.

Entre estas medidas podemos mencionar el trabajo en microescala para análisis químico (esto favorecido en parte por las mejoras tecnológicas en el instrumental utilizado), y el buscar utilizar en la medida de lo posible reactivos menos contaminantes.

En 1970 en Estados Unidos surge la Agencia de Protección Ambiental (EPA por su sigla en inglés), con el objetivo de cuidar la salud humana y el medio ambiente.

A principios de la década de los noventa, los químicos Paul Anastas y John Warner que trabajaban para la EPA, proponen el concepto de Química Verde para referirse a aquellas tecnologías químicas que apuntan a prevenir la contaminación.

Postulan doce principios que debe cumplir esta “química amigable” con el ambiente. Esto es publicado en 1998 en el libro “Green Chemistry: Theory and Practice”.

En Europa, la Organización Europea para la Cooperación Económica y Desarrollo (OECD) adopta en 1999 el nombre de Química Sustentable para referirse al mismo concepto de la Química Verde. Este cambio se debe a una intención de alejarse de la denominación de los grupos ambientalistas más politizados. (Nudelman, 2004: 5), (Peiró Muñoz 2003: 10).

La química verde en general busca procesos para obtener los mismos productos que la química tradicional de manera menos contaminante y también producir sustancias no contaminantes que sustituyan a otros productos perjudiciales pero necesarios para la sociedad,.

Su metodología se basa en 12 principios propuestos por el propio Anastas (Anastas y Warner, 2000:30).

1.2.2. La química verde y sus principios

Prevención: Es preferible evitar la producción de un residuo que tratar de limpiarlo una vez que se haya formado.

Economía atómica: Los métodos de síntesis deberán diseñarse de manera que incorporen al máximo, en el producto final, todos los materiales.

Uso de metodologías que generen productos con toxicidad reducida: Siempre que sea posible, los métodos de síntesis deberán diseñarse para utilizar y generar sustancias que tengan poca o ninguna toxicidad, tanto para el hombre como para el medio ambiente.

Generación de productos eficaces pero no tóxicos: Los productos químicos deberán ser diseñados de manera que mantengan la eficacia a la vez que reduzcan su toxicidad.

Reducción del uso de sustancias auxiliares: Se evitará, en lo posible, el uso de sustancias que no sean imprescindibles (disolventes, reactivos para llevar a cabo separaciones, etcétera), y en el caso de que se utilicen que sean lo más inocuos posible.

Disminución del consumo energético: Los requerimientos energéticos serán catalogados por su impacto medioambiental y económico, reduciéndose todo lo posible. Se intentará llevar a cabo los métodos de síntesis a temperatura y presión ambientes.

Utilización de materias primas renovables: La materia prima ha de ser preferiblemente renovable en vez de agotable, siempre que sea técnica y económicamente viable.

Evitar la derivatización innecesaria: Se evitará en lo posible la formación de derivados (grupos de bloqueo, de protección/desprotección, modificación temporal de procesos físicos/químicos).

Potenciación de la catálisis: Se emplearán catalizadores (lo más selectivos posible), reutilizables en lo posible, en lugar de reactivos estequiométricos.

Generación de productos biodegradables: Los productos químicos se diseñarán de tal manera que al finalizar su función no persistan en el medio ambiente, sino que se transformen en productos de degradación inocuos.

Desarrollo de metodologías analíticas para la monitorización en tiempo real: Las metodologías analíticas serán desarrolladas posteriormente, para permitir una monitorización y control en tiempo real del proceso, previo a la formación de sustancias peligrosas.

Minimización del potencial de accidentes químicos: Se elegirán las sustancias empleadas en los procesos químicos de forma que se minimice el riesgo de accidentes químicos, incluidas las emanaciones, explosiones e incendios. (Vargas y Pimiento, 2007)

1.2.3. Ejemplos de aplicación de los principios de la química verde

La química verde es, a la vez, un reconocimiento de que la química está en la base de muchos de nuestros problemas ambientales, y de que en ella están latentes muchas de las soluciones (Peiró Muñoz, 2003: 9)

A continuación se describen algunos logros que se han llevado adelante, de forma consciente en algunos casos e inconsciente en otros, siguiendo los

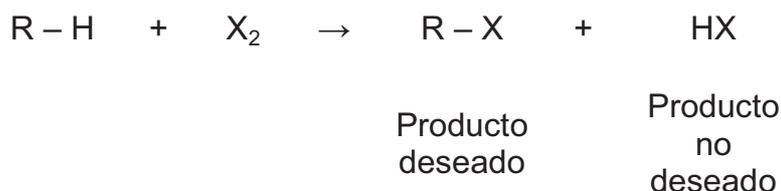
principios de la química verde. Al ver estos ejemplos se notará que en muchos casos al cumplir con alguno de los principios estamos cumpliendo indirectamente con otros también. Es decir que estos principios están interrelacionados unos con otros.

Prevención

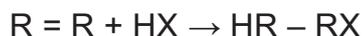
Tradicionalmente la investigación y la industria química no se preocupaban demasiado de los residuos que generaban. Si se generaba un problema, otros investigadores se ocupaban de buscar una solución. La química verde apunta a que no se generen esos residuos. Este principio está presente en todos los que le siguen, y por eso casi cualquier logro siguiendo la filosofía de la química verde cumplirá con este principio. A modo de ejemplo: si se incorporan la mayor cantidad de los reactivos en los productos se producirán menos residuos (segundo principio, economía atómica); si trabajamos con sustancias no tóxicas y producimos sustancias no tóxicas (principios tres y cuatro) no tendremos residuos tóxicos para limpiar; si no usamos solventes o utilizamos solventes inocuos (principio cinco) luego no tendremos que buscar la forma de eliminar los residuos generados por dichos solventes. Tal como lo señala el propio Anastas, este principio es equivalente a aquel principio médico que dice “es mejor prevenir que curar” (Anastas y Warner, 2000: 31).

Economía atómica

Tanto en la investigación como en la industria química, así como en la enseñanza de la química, es costumbre hablar del rendimiento de las reacciones químicas, considerando como tal la relación entre la cantidad de producto obtenido y la cantidad de producto esperado a partir de la cantidad del reactivo limitante disponible. El rendimiento suele ser menor a cien por ciento por diversas razones: reacciones secundarias, reacciones incompletas, impurezas de los reactivos, etc. Sin embargo, hay un factor que no se toma en cuenta. Esto es que, aún con un rendimiento de cien por ciento, en la mayoría de las reacciones se obtienen, junto con el producto que se tiene como objetivo, otros que no son los deseados, pero que se forman también en la reacción. Si, por ejemplo, se desea obtener un halogenuro de alquilo monosustituído, a través de una reacción de sustitución de un alcano con el halógeno correspondiente, se obtendrá también, aunque no sea el objetivo, halogenuro de hidrógeno:



Sin embargo, si este mismo halogenuro de alquilo, se obtiene a partir de una reacción de adición de un halogenuro de hidrógeno a un alqueno, todos los reactivos se incorporan al producto:



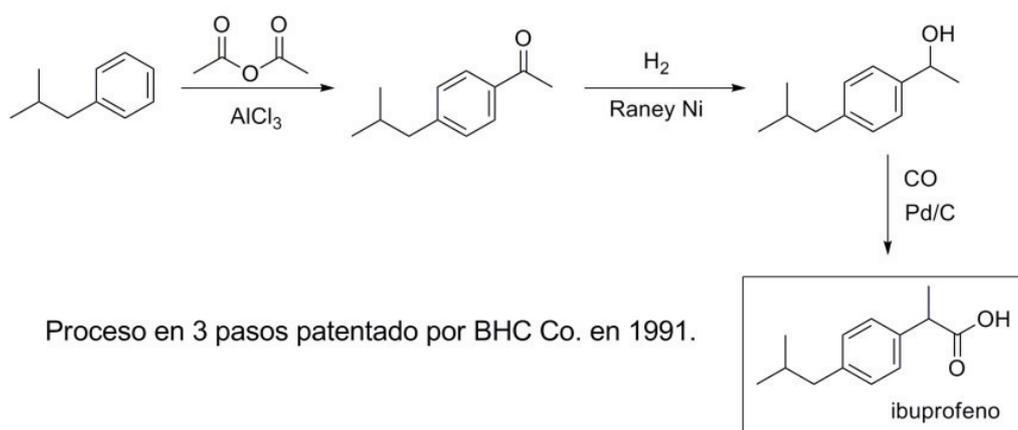
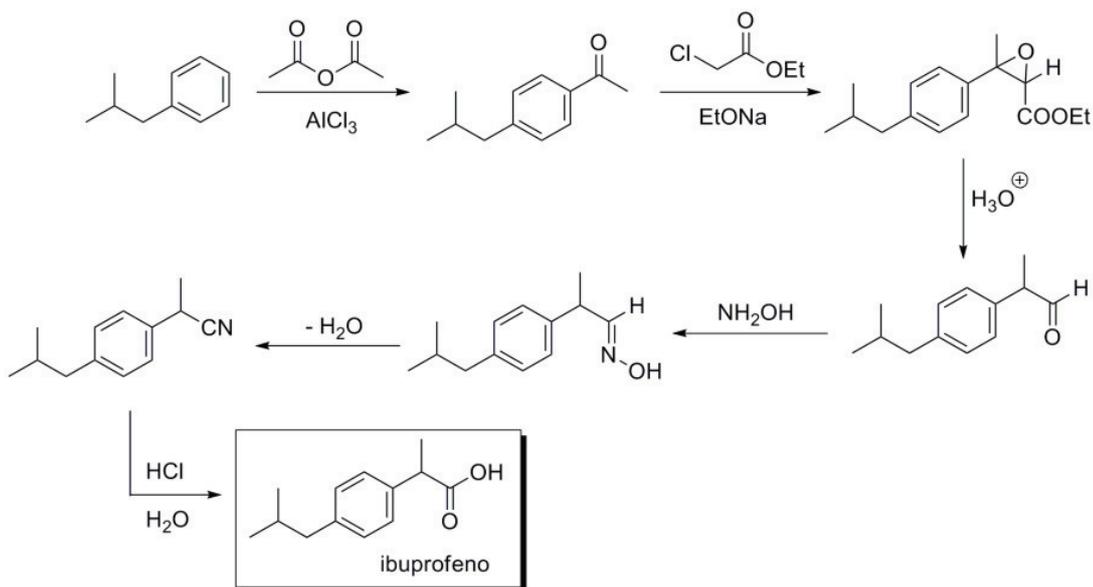
La relación entre la cantidad de reactivos y la cantidad de producto deseado se expresa en el concepto de economía atómica. Cuanto mayor sea este valor, menos cantidad de reactivo quedará en productos no deseados. Estos productos no deseados pueden ser residuos que luego hay que ver cómo eliminar o neutralizar y, en el mejor de los casos, pueden ser inocuos, pero se estaría gastando materia prima en producir algo inútil, o en algo que hay que buscar una forma de separar y encontrarle una utilidad. En el ejemplo aquí mencionado, la adición tendría una economía atómica de cien por ciento, mientras que en la sustitución sería menor.

Si bien se habla de economía atómica (E.A.), este valor se expresa habitualmente como un porcentaje en masa:

$$E.A. = \frac{\text{masa producto deseado}}{\text{masa reactivo}} \times 100$$

Uno de los primeros logros de la química verde aplicando este principio fue en la reducción de la cantidad de residuos generados en la obtención industrial del ibuprofeno. Este analgésico de amplio uso, se produjo entre 1960 y 1991 en un proceso de seis etapas, generándose residuos en cada una de ellas, de tal manera que la economía atómica del proceso era de un 40 %. En 1991, la BHC Company desarrollo un proceso en tres etapas, que tiene una economía atómica de 77 %. (González y Valea, 2009: 51).

Proceso previo a 1991 en seis pasos.



Proceso en 3 pasos patentado por BHC Co. en 1991.

Figura 1.7. Dos procesos de síntesis de ibuprofeno

Procesos y productos no tóxicos o menos tóxicos

El segundo y tercer principio de la química verde se refieren a conseguir sustancias químicas que mantengan su utilidad, pero que a su vez no sean tóxicas. Tradicionalmente la química ha tenido mucho que ver en el control de plagas, y un ejemplo es el uso del DDT (diclorofeniltricloroetano), que según la Organización Mundial de la Salud (OMS), ha contribuido a salvar millones de vidas, junto con otros insecticidas. Sin embargo se descubrió que el DDT es tóxico para numerosas especies útiles de peces y aves, y aun para el propio ser humano. En 1972 se prohibió su uso en Estados Unidos, pero se siguió vendiendo a otros países (Hill y Kolb, 1999: 463- 465).

A partir de esta prohibición se ha buscado que sustituir el DDT por otros plaguicidas igualmente efectivos, pero menos tóxicos. Uno de estos es el

spinosyn, un insecticida obtenido a partir de una bacteria, la *Saccharopolyspora spinosa* (López Gressa, 2006: 18).

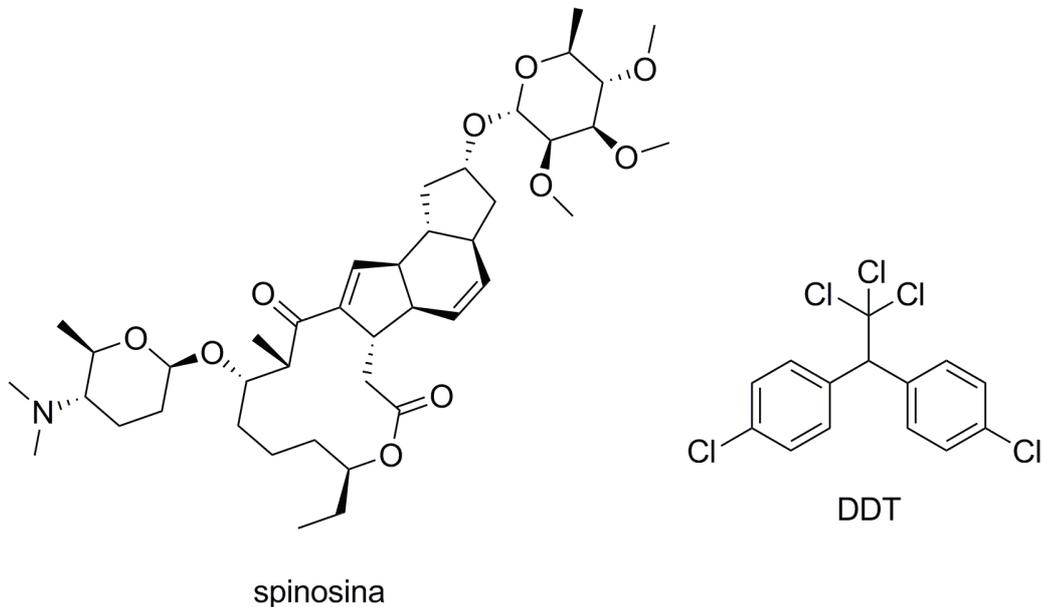


Figura 1.8. Estructuras de spinosina y DDT

Reducir el uso de sustancias auxiliares

Este principio apunta a que en los procesos químicos se use la menor cantidad posible de sustancias auxiliares, solventes especialmente. En caso de necesitar usarlos, que sean lo menos contaminantes posible. En este sentido se procura que alguno de los propios reactivos actúe como solvente.

En cuanto al uso de solventes inocuos, la química verde ha llevado adelante variadas investigaciones sobre este tema, y especialmente han cobrado importancia el uso de solventes en estado supercrítico y el uso de líquidos iónicos.

Solventes en estado supercrítico

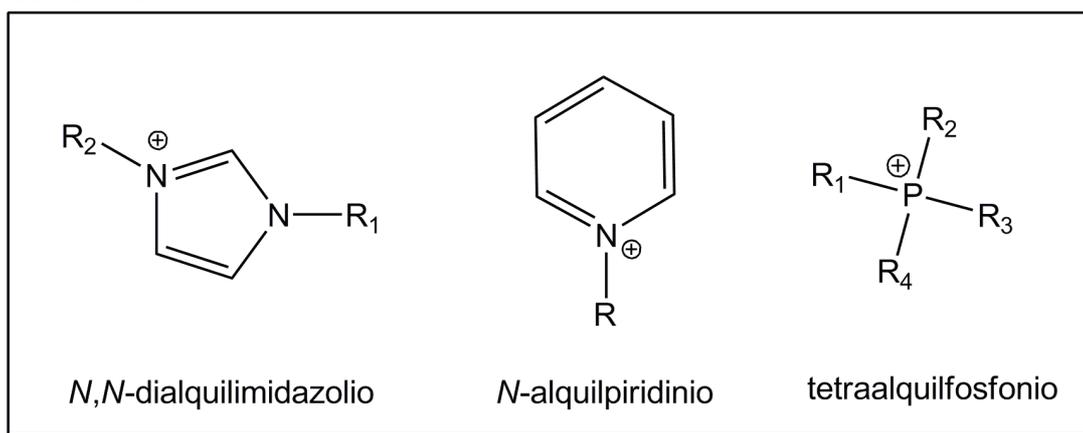
El estado supercrítico se define como el estado de agregación de una sustancia que se encuentra a una temperatura superior a la temperatura crítica y a una presión superior a la presión crítica. En estas condiciones, la sustancia es un fluido con propiedades intermedias entre las de un gas y las de un líquido. En estado supercrítico las sustancias aumentan su capacidad como disolventes. Esto les permite disolver sustancias orgánicas, que en lugar de ser disueltas en solventes apolares contaminantes, volátiles y combustibles, puedan disolverse en el dióxido de carbono en estado supercrítico o el agua en estado supercrítico, solventes no contaminantes. La capacidad de los solventes supercríticos varía al variar la densidad, aumentando o disminuyendo la presión. Eso permite separar sustancias. Un ejemplo concreto

de esto es la extracción de la cafeína con dióxido de carbono en estado supercrítico, para obtener el café descafeinado (Brown, Burdsten y Lemay, 2004: 424). Otro ejemplo son las investigaciones llevadas a cabo para obtener biodiésel utilizando etanol en estado supercrítico y sin utilizar hidróxido de potasio como catalizador, como se hace habitualmente. El etanol en estado supercrítico puede disolver los aceites vegetales, que de otra forma son insolubles. Esto favorece la rapidez de la reacción. Investigaciones en este sentido han sido llevadas adelante por la Facultad de Química de la Universidad de la República de Uruguay (Vieitez, 2008: 2085 - 2089).

Líquidos iónicos

Los líquidos iónicos son sales orgánicas líquidas a temperatura y presión ambiente pero que, por ser sales, tienen una baja presión de vapor. Desde el punto de vista de su estructura química, normalmente son sales formadas por un catión orgánico y un anión poliatómico (Hernández, 2008: 33).

cationes



aniones

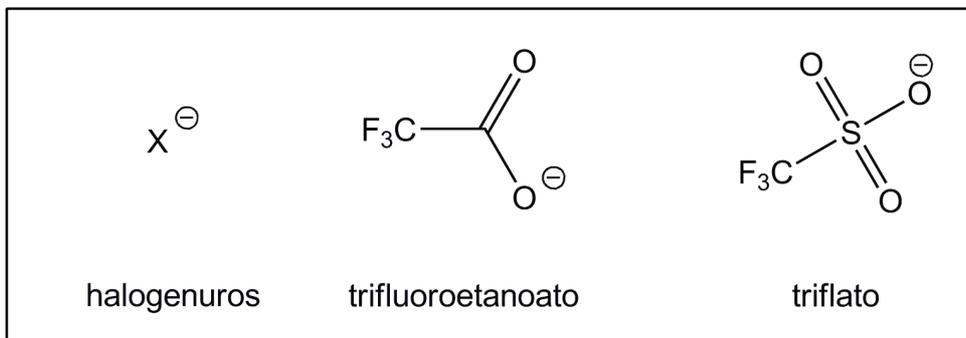


Figura 1.9. Cationes y aniones comunes en líquidos iónicos

Los líquidos iónicos, frente a otros solventes, presentan las siguientes ventajas: tienen baja presión de vapor, son químicamente estables en rangos amplios de temperatura, tienen bajo punto de fusión, presentan mayor densidad que el agua, son más viscosos que la misma, son bastante estables en procesos electroquímicos y buenos conductores eléctricos, pueden tener diferentes propiedades ácido base, dependiendo de la sal que se trate y son incoloros en estado puro. Estas propiedades hacen que sean muy versátiles en cuanto a las aplicaciones que se les pueden dar.

Disminuir el consumo energético

Este principio se refiere específicamente a buscar procesos químicos que puedan llevarse adelante con el menor gasto de energía posible. En este sentido cobra importancia buscar reacciones que puedan llevarse adelante en condiciones ambientales de presión y temperatura.

Los procesos químicos que se llevan adelante en los seres vivos, se realizan en estas condiciones, o por lo menos a temperaturas y presión relativamente bajas. La mayoría de los procesos químicos de origen biológico son catalizados por enzimas. La biotecnología química cobra cada vez más importancia en este sentido. En realidad las biotransformaciones, como suelen llamarse a los procesos químicos catalizados con enzimas, son de los recursos más utilizados por la química verde ya que permiten cumplir simultáneamente con varios principios. Las enzimas son catalizadores altamente selectivos, lo que permite obtener productos con alto grado de pureza. Son selectivos en cuanto a las reacciones que catalizan (quimioselectividad), y son selectivos desde el punto de vista estereoquímico, pueden reaccionar muy bien con un diasteroisómero y no con otro (diasteroselectividad), y también son capaces de catalizar la producción de un determinado enantiómero y no su imagen especular. Son altamente efectivas en cuanto al aumento de la velocidad de reacción con poca cantidad de enzima. Por otro lado, debido a su origen biológico, son totalmente biodegradables cuando terminan su ciclo.

También tienen algunas desventajas: en la naturaleza solo aparecen normalmente en una forma enantiomérica, operan dentro de rangos de temperatura y pH estrechos, su mayor actividad la muestran en solución acuosa, aunque también se han logrado reacciones efectivas en solventes no polares y algunas enzimas pueden ser inhibidas por el producto de la misma reacción (Faber, 1997: 2-8). Una aplicación concreta del uso de biocatalizadores es la producción estereoselectiva de sustancias que son precursoras para la obtención de bloqueadores β adrenérgicos. Los bloqueadores β adrenérgicos son sustancias que se utilizan frecuentemente para tratar trastornos cardíacos y trastornos psiquiátricos.

Un ejemplo es el atenolol, que se utiliza en el tratamiento de la hipertensión arterial, un problema bastante extendido en nuestro país.

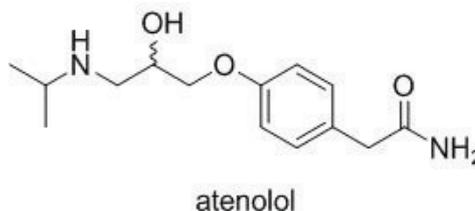


Figura 1.10. Estructura de Atenolol

Generalmente estas sustancias se venden como mezclas racémicas, por lo difícil que es separar los enantiómeros. Mediante el uso de biocatalizadores se ha logrado obtener sólo el isómero deseado de la materia prima de la síntesis de esta sustancia, eliminando de esta manera los problemas que implica la presencia del isómero no deseado, como los controles adicionales que deben hacerse para asegurar que no tiene efectos indeseados, y la pérdida de materia prima que implica su producción (Kinfé y otros, 2009: 231-236).

Utilizar materias primas renovables

La Química Verde apunta a la utilización de materias primas renovables. Un ejemplo claro de esto es la utilización de estas materias primas para la generación de energía y nuevos materiales. Como ejemplo de amplia difusión en la producción de energía a partir de fuente renovable están los biocombustibles. Debido a la discusión sobre la competencia con la producción de alimentos, se ha impulsado la generación de los biocombustibles a partir de materias primas de origen vegetal, pero que no compitan con la producción de alimentos, como el aprovechamiento de desechos agrícolas para producir biogás, o la producción de biodiésel a partir de algas.

En Uruguay, donde ha tenido amplia difusión la forestación con un especial desarrollo en las plantaciones de eucaliptos, un grupo de científicos se ha dedicado a buscar el aprovechamiento de lo que normalmente queda como residuo en la explotación de estos emprendimientos: la hoja. Un equipo de químicos se ha dedicado a la extracción y modificación de un aceite esencial del eucalipto, el eucaliptol o 1,8 – hidroxicineol. A partir de esta sustancia han obtenido derivados de importancia industrial con distintos objetivos. Algunos de estos derivados han demostrado ser eficaces como insecticidas. Otros son utilizados en spray nasales y algunos en cosméticos. Muchas de las transformaciones para obtener los derivados han sido a través del uso de biocatalizadores. Por otro lado, los productos obtenidos son biodegradables. De esta manera este tipo de emprendimientos sigue la filosofía de la Química Verde desde diversos aspectos (Ménédez y otros, 2006: 232-236).

Evitar derivatizaciones

En muchos casos, especialmente en química orgánica, los procesos para obtener un producto tienen varias etapas. En algunas etapas se protege un grupo funcional para que no intervenga en una reacción mientras se hace reaccionar otro grupo activo que se encuentra en la misma molécula. O al revés, se sustituye un grupo especialmente inerte frente a un reactivo, por otro grupo más activo frente al mismo. Cuantas más etapas tenga un proceso, menor será su economía atómica. Todas las sustancias auxiliares que se utilicen en cada una de las etapas aparecerán como desechos. Además cada etapa extra implica nuevos procedimientos con mayores gastos de energía y mayores riesgos para los operarios. La química verde apunta a disminuir todos estos aspectos. Un ejemplo de esto aparece en la ya mencionada síntesis del ibuprofeno: en ambos métodos, el antiguo y el nuevo, en la primera reacción se produce una fenilcetona por reacción entre el isobutilbenceno y el anhídrido acético catalizada con cloruro de aluminio. En el método antiguo esta reacción es seguida por cinco reacciones sucesivas antes de llegar al producto deseado. En el nuevo método solo se realizan dos reacciones más, ambas muy sencillas. Primero se reduce la cetona a alcohol utilizando la reacción con dihidrógeno catalizada por níquel Raney (una aleación de aluminio y níquel finamente granulada). El alcohol es carboxilado en una reacción catalizada con paladio. Este último proceso evita procesos innecesarios, en los cuales se gasta energía y se generan desechos.

Potenciar la catálisis

En diversas ocasiones, para hacer viable una reacción muy lenta se utiliza como recurso aumentar mucho la concentración de uno de los reactivos. Esto implica un mayor gasto de materias primas y una generación de desechos procedentes del reactivo en exceso no consumido. Otro camino para aumentar la rapidez de una reacción es utilizar un catalizador, que hace más rápida la reacción pero no se consume en la misma. Aquí vuelve a destacarse la importancia de los biocatalizadores, con las ventajas antes mencionadas. En Uruguay, el Laboratorio de Biocatálisis y Biotransformaciones (LBB) de la Facultad de Química, lleva adelante diversas investigaciones en este sentido. Ejemplos de esto son la reducción enantioselectiva de cetonas utilizando zanahoria cruda (González y otros, 2006: 1049 – 1051).

Se parte de una cetona que no posee isomería óptica, por no tener carbono quiral y se obtiene por reducción, solo uno de los alcoholes enantioméricos posibles.

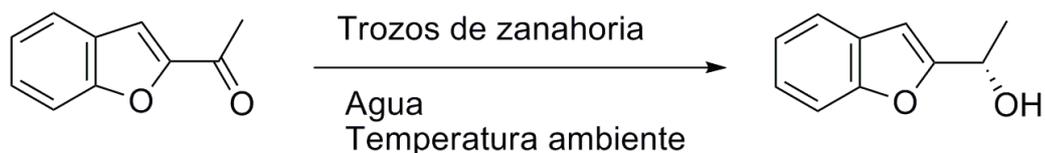


Figura 1.11. Reducción enzimática de una cetona

Otra forma de catálisis, totalmente concordante con los objetivos de la química verde, es la fotocatalisis. Ésta se basa en la utilización de la energía electromagnética proveniente de la luz para acelerar algunas reacciones. En algunos casos se utiliza directamente la luz solar, en otros es necesario utilizar frecuencias de luz específicas. La luz solar es una fuente de energía inagotable, a total disposición y en absoluto contaminante. Investigadores uruguayos han utilizado este recurso para catalizar reacciones que dan origen a sustancias que se han demostrado ser efectivas en el tratamiento de enfermedades parasitarias como la enfermedad de Chagas y la leishmaniasis (Moyna y otros, 2011: 2852 - 2858).

Generar productos biodegradables

Según la ASTM (American Society for Testing and Materials), “la biodegradabilidad es la capacidad de un material de descomponerse en dióxido de carbono, metano, agua y componentes orgánicos o biomasa, en el cual el mecanismo predominante es la acción enzimática de microorganismos” (Meneses y otros, 2007: 61).

Los problemas de contaminación generados por los productos persistentes en el ambiente son ampliamente conocidos. Tanto es así que un recurso muy utilizado por la publicidad es resaltar este aspecto en diversos productos como pueden ser los detergentes biodegradables. Otro ejemplo son las bolsas de compras oxodegradables, a las que la publicidad hace aparecer algunas veces como biodegradables. El polímero que forma estas bolsas tiene un aditivo que hace que, bajo determinadas condiciones de humedad y temperatura, el polímero sea degradado. Sin embargo, el proceso no es comenzado por microorganismos, por lo que no es biodegradable (Marzo Rojas, 2010: 9).

Los polímeros biodegradables generalmente presentan una doble ventaja: además de su biodegradabilidad, provienen de materias primas renovables, ya que son obtenidos a partir de vegetales. Un ejemplo conocido son los polímeros obtenidos a partir del 1,3 - propanodiol obtenido del maíz (García, 2009: 35).

Desarrollar metodologías analíticas para la monitorización en tiempo real

Normalmente, de una industria química se analizan los desechos que vierte a su entorno. Esto lleva implícito el detectar un daño luego de que se produjo. La Química Verde apunta a la prevención. En este sentido, recomienda que los

análisis deban estar insertos en el proceso de producción y no al final del mismo. De esta manera, si se está generando alguna sustancia contaminante, será detectada antes de volcarla al ambiente.

Este principio cierra la tabla de principios, y en realidad se cumple en gran parte al cumplir con los otros. Si los trabajos se hacen con sustancias no tóxicas, si los solventes volátiles y combustibles han sido sustituidos por otros, si se trabaja a temperatura y presión ambiente, ya se han minimizado la mayoría de los riesgos de accidentes que lleva implícito el trabajo en química.

1.3. La química verde y la educación

1.3.1. Década para educación sustentable

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) ha sido el organismo que ha coordinado la ejecución del Decenio del Desarrollo Sostenible (DDS) (2005-2014), cuya finalidad es integrar en todos los aspectos de la educación y el aprendizaje, los principios, los valores y las prácticas que puedan satisfacer las necesidades actuales del mundo sin poner en peligro el futuro de la humanidad.

Dentro del DDS, la Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS) tiene por objetivos:

- * que las personas tomen conciencia de la necesidad crucial y urgente de limitar los daños a la atmósfera y poner freno al cambio climático y a los perjuicios que causa.
- * capacitar a la ciudadanía sobre las convenciones y los acuerdos internacionales que se apoyan en la educación para crear una masa crítica de ciudadanos, haciéndoles ver que pueden contribuir a crear soluciones eficaces a la crisis climática.
- * incitar a las personas a poner en tela de juicio el modo en que pensamos, los valores que defendemos y las decisiones que tomamos en el contexto del desarrollo sostenible.

Cabría la pregunta: *¿Los derechos ambientales pueden considerarse derechos humanos?* Si consideramos al sector más vulnerable económicamente a nivel mundial, debemos pensar que el **suelo** es sinónimo de cultivo, el **agua** es sinónimo de bebida, de irrigación, de higiene, el **aire** es sinónimo de respiración y en su conjunto el medio ambiente aporta las medicinas y el alimento esencial para ese sector. Entonces una alteración del medio implica violar un derecho ambiental y con él un derecho humano, en particular de los sectores más desposeídos de la humanidad.

Para lograr que esto no suceda, se trata de promover modelos de gestión en diversos medios, que armonicen la generación de empleos y la explotación de los recursos naturales, con el confort y los bienes de consumo, dentro de un

“ambiente saludable”. A continuación se describen brevemente algunos casos de ejemplos positivos, a nivel mundial, extraídos de Fernández y otros (2011).

Contaminación ambiental

El GTZ (Organismo Alemán de Cooperación Técnica, <http://www.gtz.de/en/>), cuya labor consiste en promover el desarrollo sostenible en todo el mundo, ha desarrollado un sistema para suministrar agua para la población, el ganado y los cultivos mediante bombas con energía solar fotovoltaica. Estas bombas son tan eficientes como las pequeñas de diésel, y no necesitan combustible fósil ni emiten dióxido de carbono. Las bombas solares cuestan unas tres veces más que una versión diésel comparable, pero los costos de explotación son insignificantes, por lo que se recuperan con rapidez. Hasta la fecha, hay bombas del GTZ en funcionamiento en Argentina, Brasil, Chile, Etiopía, Indonesia, Jordania, Filipinas, Túnez y Zimbabue.

Energía

En Suecia hay un tren de pasajeros propulsado por biogás que enlaza Linköping, al sur de Estocolmo, con la ciudad de Västervik, en la costa báltica. El biogás, que se obtiene de la descomposición de materia orgánica, produce mucho menos dióxido de carbono (CO₂) que los combustibles fósiles tradicionales. Por ejemplo, comparando las ecuaciones de combustión completa del metano, el principal componente del biogás, y del octano, uno de los componentes de la nafta, se observa que en el primer caso por cada gramo de metano que se quema se producen 2.75 g de CO₂, mientras que por cada gramo de octano que se quema, se producen 3.09 g de CO₂. Suecia dispone ya de más de 800 autobuses y de miles de automóviles que funcionan con una mezcla de petróleo y biogás o gas natural. Para promover el uso del biogás, se ofrecen varios incentivos a los propietarios de automóviles: estacionamiento gratuito en muchas zonas, menos impuestos para las empresas que proporcionan automóviles de biogás a sus empleados y la exención de impuestos sobre el propio biogás, que cuesta del 20 al 25% menos que el petróleo. Por otro lado, está en proyecto la instalación de trenes propulsados por biogás en India. (http://www.handsonTV.info/series7/01_energy_wise_reports/report4.html)

Pesca

A comienzos de los años 90, el exceso de pesca en las aguas costeras de Fiji hizo que empezaran a escasear los ingresos y el consumo de proteínas de muchos habitantes de las zonas rurales. Alrededor de un tercio de los hogares rurales vivían por debajo del umbral oficial de la pobreza. Se crearon las zonas marinas gestionadas localmente (LMMA, http://Immanetwork.org/Site_Documents/Grouped/Fiji_LMMA_case_study_WR_R2005.pdf) que combinan prácticas tradicionales locales de conservación con métodos modernos de vigilancia, para mejorar los ingresos de la población reconstituyendo los cursos de agua locales.

El kaikoso, una almeja que vive en los fondos lodosos poco profundos y en los lechos de algas, tiene una importancia cultural para los habitantes de la aldea de Ucunivanua, y además es un alimento de primera necesidad y una fuente de ingresos. Los aldeanos emprendieron una colaboración con la Universidad del Pacífico Sur y, después de dos años de formación en educación ambiental y planificación comunitaria, delimitaron un área tabú (cerrada) de 24 hectáreas, para que la población de almejas pudiera recuperarse y se instalaran más larvas en las zonas pesqueras adyacentes. Entre 1997 y 2004, la población de almejas aumentó espectacularmente, tanto en las zonas tabú como en las aguas adyacentes. El experimento se ha prolongado indefinidamente, la población de kaikosos vuelve a ser abundante y los ingresos de la aldea han aumentado de manera significativa. El éxito del plan ha llevado a la adopción de LMMA en Fiji, Asia y la región del Pacífico.

1.3.2. El rol del profesor de química frente a la problemática ambiental

Sabemos que nos movemos en un “mundo dicotómico” y el enfoque verde no es ajeno a esa dicotomía. Hay posturas proteccionistas que consideran que el ser humano está progresivamente incidiendo en forma negativa en los diferentes problemas medioambientales, a través del desarrollo tecnológico y las necesidades que del mismo surgen así como de los productos que se generan (Gore, 2008). Por otra parte hay posturas - igualmente válidas a nuestros efectos -, que no ven así el protagonismo humano en los efectos medioambientales, y sostienen que la incidencia humana es mínima y que los efectos vinculados, por ejemplo, al “cambio climático” no son reales ya que siempre se han dado a lo largo del tiempo.

Si bien en el currículo de Química de la Educación Media en nuestro país, no se incluye específicamente la Química Verde o la Química Ambiental o la Química Sustentable, sí existe como enfoque transversal a muchos de los contenidos allí indicados. Lo que suele suceder es que ante hechos puntuales que ocurren, se aborda la temática vinculándola a los contenidos del curso que se dicta. Asimismo, se suele enfocar el análisis desde una perspectiva reduccionista y a veces descontextualizada ya que difícilmente se consideran aspectos vinculados al hecho en sí mismo (económicos, políticos, sociales, culturales, etc.). Es necesario entonces, realizar un enfoque más amplio, que considere efectos locales, regionales y globales.

La realidad mundial muestra que:

- 1.- los centros poblados han ido en crecimiento constante y no siempre organizado en los últimos tiempos, con la migración de la población desde el medio rural en búsqueda de mejores opciones laborales y de calidad de vida, no siempre lograda.
- 2.- de la mano del crecimiento mundial de la población y de la mala explotación de los recursos naturales, se va dando el agotamiento de éstos - fertilidad de los suelos, agua dulce, recursos forestales, petróleo, yacimientos

minerales, etc.- y con ello la degradación de ecosistemas, la destrucción de la biodiversidad y la desertificación.

3.- como consecuencia de ese mejor estilo de vida y vinculada directamente al desarrollo de la tecnología, se están generando contaminaciones ambientales tales como la acústica, lumínica o visual, que inciden negativamente en el propósito buscado. Esas contaminaciones se manifiestan en suelos, agua y aire, llevando al efecto invernadero, la lluvia ácida o la destrucción de la capa de ozono, tan ampliamente difundidos.

Algunas acciones que se están tomando para contribuir a contrarrestar esa situación van asociados a esfuerzos de la investigación, la innovación y el desarrollo hacia el logro de tecnologías que favorezcan un crecimiento sostenible, además de procurar el incremento de la conciencia mundial acerca del necesario análisis de la relación daño/beneficio antes de la toma de decisiones individuales o colectivas. Pero no debemos olvidar que está en nuestras manos hoy, como educadores, el formar ciudadanos ambientalmente responsables a través de una sólida y crítica formación científica ya que ellos serán quienes deberán decidir el modelo de vida que adoptarán y trazarán su futuro acorde a su cultura, a su contexto y a sus posibilidades.

Los expertos de Naciones Unidas proponen que *todos los educadores* de cualquier área o nivel, incluidos los responsables de la educación informal (prensa, ONGs, museos, ferias de ciencias, etc.), contribuyan a esta necesaria “alfabetización científico-ambiental”, favoreciendo la vinculación desde diferentes enfoques, contribuyendo así a la generación de “opinión propia fundamentada”.

Según Barandiarán y otros (2005) “...la capacidad de adoptar decisiones fundamentadas - incluida la elección de los gobernantes, la valoración de sus programas y sus realizaciones, etc. - exige conocimientos para sopesar las consecuencias a medio y largo plazo; exige criterios para comprender que lo que perjudica a otros no puede ser bueno para nosotros; exige, por tanto, **educación**. Incluso la oposición fundamentada a las actuaciones de determinados gobiernos y empresas, así como la defensa convincente de otras políticas, son fruto de la educación.”

1.3.3. El enfoque Ciencia Tecnología Sociedad y Ambiente (CTSA)

Un enfoque desde la enseñanza de las Ciencias que se ha trabajado desde hace ya un tiempo (Acevedo y otros, 2003; Gil y otros, 2005) es el denominado CTS (Ciencia, Tecnología y Sociedad) que realiza un abordaje integral de las temáticas científicas, vinculándolas al contexto social que se vive en un momento histórico dado, con una situación económica determinada y en una cultura definida. A los efectos de un enfoque más holístico y vinculado a la sostenibilidad, se ha adicionado el enfoque ambiental, por lo que dicha corriente se ha dado en denominar CTSA (adonde A representa al ambiente).

Los programas CTS surgen ante la preocupación de docentes y autoridades por la falta de motivación del alumnado por el estudio de la ciencia y su vinculación con aspectos humanos, éticos y políticos. Sus orígenes están en Inglaterra, en el año 1976, cuando un grupo de profesores introduce en sus clases de ciencias un examen crítico de la tecnología que llamaron STS (Science, Technology and Society) (Gallego y otros, 2006). Con relación al origen de esta postura, el autor sostiene “...en algunos casos el rechazo del alumnado hacia la física y hacia la química, se debe a la imagen descontextualizada socialmente con la que se les presentan las ciencias ya que hace que no sea interesante su estudio”. Para subsanar esta situación, surge esta orientación curricular que está recibiendo gran atención en la enseñanza de las ciencias experimentales.

Según Caamaño (1995) citado en Sanmartí (2002:67), pueden considerarse currículos CTS aquellos que:

- * Promueven el interés de los estudiantes por vincular la ciencia con los fenómenos de la vida cotidiana y las aplicaciones tecnológicas, procurando abordar el estudio de aquellos temas que tengan mayor relevancia social.
- * Profundizan en las consecuencias sociales y éticas de la ciencia.
- * Favorecen la comprensión de la naturaleza de la ciencia y el trabajo científico.

Según Ros (2003), otro objetivo de los proyectos CTS es que los alumnos aprendan a tomar decisiones a través del interés por las cuestiones relacionadas con la actividad humana. La metodología para lograrlo consiste en saber utilizar la información disponible para la materia en cuestión. Dicha información va ligada a un conjunto de actividades para el estudiante, experimentales o virtuales, a textos que se correspondan con los contenidos curriculares y a la realización de distintas secuencias de prácticas de laboratorio o trabajos de recolección de datos.

A los efectos de que este enfoque llegue a las aulas de la educación media, es necesario que previamente sea trabajado al nivel de la **formación de los futuros docentes** para ir desarrollando una percepción mayor acerca de la problemática ambiental, ampliando las visiones acerca de los desarrollos científicos en esa compleja área. Asimismo es necesaria la aplicación de nuevas prácticas pedagógico-didácticas a nivel de aula que impliquen activamente al estudiante a través de un rol protagónico en la búsqueda de información, el análisis de posibles alternativas y la toma de decisiones con responsabilidad.

A los solos efectos de contribuir a este propósito, se proponen algunas actividades vinculadas a la Química Verde, a desarrollar en los cursos de educación media, con un enfoque CTSA. Les recordamos a los usuarios de las actividades, que las mismas deben ser debidamente contextualizadas y adaptadas en su planteo, al nivel en que se proponen trabajar, así como la posibilidad de ser abordadas desde un contexto multidisciplinar.

1.4. Bibliografía

- 1) Acevedo J., Vázquez A. y Manassero M. (2003) *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, **2(2)** 80-111
- 2) Anastas, P., Warner, J. (2000) *Green Chemistry: Theory and Practice*, Primer Edición, Oxford University Press, New Cork
- 3) Barandiarán, J., Fernández, P., Geli, A. M, Gil-Pérez, D, Junyent, M, Martins, I, Ochoa, L, Posada, R., Praia, J., Sá, P., Vilches, A. (2005); Educación para un futuro sostenible, un objetivo prioritario para todos los educadores. obstáculos que es necesario superar; *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra. VII Congreso.
- 4) Belloso, W. (2009) *Revista del Hospital Italiano de Buenos Aires* **29(2)**. Disponible en: http://www.hospitalitaliano.org.ar/archivos/noticias_attachs/47/documentos/7482_102-111-belloso.pdf. Consultado 16/08/11
- 5) Bode, M., Brady, D., Chhiba, V., Frederick, J., Kinfe H., Mathiba, K., Steenkamp, P. (2009). *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, **59**.
- 6) Brown, T., Le May, H., Bursten, B. (2004) *Química, La ciencia central*, novena edición en español, Prentice Hall, México.
- 7) Cedeño, F. L. (2009). *Anuario Latinoamericano de Educación Química*, 2008 – 2009, Volumen XXIV, 133-143
- 8) Faber, Kurt, (1997). *Biotransformations in Organic Chemistry*, tercera edición, Springer, New York.
- 9) Fernández, A., Sanz, J., Uria A., Viota, N. (2011), *Comunicar la Sostenibilidad*, UNESCO Etxea.
- 10) Gabaldon, Reinaldo (2005) *Revista Petróleo y V.* **6(17)** 102-117. Disponible en línea: <http://www.petroleoyv.com/website/uploads/quimicamundial.pdf>. Consultado 16/08/11
- 11) Gallego P., Gallego R. (2006) *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* **5(1)**.
- 12) García, J. (2009). *Bioteología para una química verde, respetuosa con el medio ambiente*. Fundación Alternativas. Disponible en: <http://www.falternativas.org/laboratorio/documentos/documentos-de-trabajo/bioteologia-para-una-quimica-verde-respetuosa-con-el-medio-ambiente>. Consulta: 17/08/11
- 13) Gil, D., Macedo B., Martínez Torregosa, J., Sifredo, C., Valdez, P., Vilches, A. (2005) *¿Cómo promover el interés por la cultura científica?*, UNESCO, Santiago.
- 14) González, M. L., Valea, A. (2009) El compromiso de enseñar química con criterios de sostenibilidad: la química verde, *Educació Química*, número 2,

- España. Disponible en línea:
http://publicacions.iec.cat/PopulaFitxa.do?moduleName=revistes_cientifiques&subModuleName=&idColleccio=6090. Consulta 18/07/11.
- 15) González, D., Adum, J., Bellomo, A., Gamenara, D., Schapiro, V., Seoane, G. (2006). *Journal of Chemical Education*, **83(7)** 1049-1051.
 - 16) Gore A., (2008), *Una verdad incómoda*. Disponible en: www.cambio-climatico.com/una-verdad-incomoda. Consulta 16/08/11
 - 17) Hernández, F. J. (2008) Tesis doctoral: Desarrollo de nuevos procesos biotecnológicos basados en el uso de líquidos iónicos, fluidos supercríticos y tecnología de membranas. Universidad de Murcia. Disponible en: <http://tesisenred.net/bitstream/handle/10803/10936/HernandezFernandez.pdf?sequence=1>. Consulta 16/08/11.
 - 18) López Gresa, M. P. (2006) Aislamiento, purificación y caracterización estructural de nuevos principios bioactivos a partir de extractos fúngicos, tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, disponible en línea: <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/1823/tesisUPV2520.pdf?sequence=1>. Consulta: 16/08/11.
 - 19) Marzo Rojas, I. Efecto del tipo y contenido de aceites esenciales sobre las propiedades mecánicas y barrera de películas comestibles basadas en zeína. Trabajo final de carrera de. Universidad Pública de Navarra. Disponible en línea: <http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/2203/577253.pdf?sequence=1>. Consulta: 17/08/11.
 - 20) Meneses, J.; Corrales, C. y Valencia, M. (2007) *Revista EIA*. **8** 57-67. Medellín. Disponible en línea: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=149216950005>. Consultado 17/08/11.
 - 21) Menéndez, P.; Rodríguez, P.; Rodríguez, S., Sierra, W. (2006) *Electronic Journal of Biotechnology* **9(3)**. Edición Especial. Valparaiso. Disponible en línea en: <http://www.ejbiotechnology.info/content/vol9/issue3/full/28/>. Consultado: 15/09/11.
 - 22) Moyna, P.; Moyna, G., Brady, W.; Tabarez; C., Yan Cheg, H. (2011) *Synthetic Communications*, **41**, Edición 19, Londres. Disponible en línea: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00397911.2010.515359> (Consulta: 15/09/11).
 - 23) Organización de Estados Iberoamericanos, (2010), Materiales del Curso de Formación en Ciencia. Disponible en: www.oei.es/eventos.htm.
 - 24) Peiró Muñoz, A. (2003) Tesis doctoral: Nuevas aportaciones a las metodologías en Química Verde, Universidad Autónoma de Barcelona. Disponible en línea:

<http://tdx.cat/bitstream/handle/10803/3153/ampm1de4.pdf?sequence=1>.
Consulta: 16/08/11.

- 25) Ros Clavell, I.; (2003) La simulación y/o el juego de rol como estrategia para comunicar ciencia: Proyecto APQUA; en Pinto Cañón; Didáctica de la Química y vida cotidiana; Universidad Politécnica de Madrid; España; pág. 233-238.
- 26) Sanmartí, N.; (2002) Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria; Editorial Síntesis Educación; España.
- 27) Vargas Afanador, E. y Ruiz Pimiento, L. (2007) Química Verde en el siglo XXI; Química Verde, una química limpia; *Revista Cubana de Ciencia*: Volumen 19, número 1. Disponible en: <http://ojs.uo.edu.cu/index.php/cq/article/view/14407109/151>. Consulta: 16/08/11.
- 28) Vieitez, I., da Silva, C., Borges, G., Corazza, F., Olivera, J. V., Grompone, M. A., Jachmanián, I. (2008) *Energy & Fuels* **22** 2085-2089.

1.5. Actividades concretas de aplicación de química verde en el aula

1.5.1. Energía eólica

EL PAIS, ESPAÑA, 25/11/2010

Titular: ESPAÑA PREPARA EL MAYOR MOLINO EÓLICO DEL MUNDO
(Manuel Ansede, foto tomada por el Prof. R. Irazoqui)

El proyecto, de 25 millones de euros, podría cuajar en 2020.

Un consorcio de 11 empresas españolas se ha unido para desarrollar el mayor aerogenerador del mundo, un gigante marino de 15 megavatios, el doble que el récord actual, en poder de un molino de la compañía alemana Enercon en la ciudad de Emden. Unos 65 *monstruos* como este serían capaces de producir **tanta electricidad como una central nuclear**. El proyecto, bautizado Azimut, requerirá una inversión de 25 millones de euros hasta 2013. (...) el futuro aerogenerador de 15 megavatios podría alcanzar una altura de 120 metros sobre el mar y 40 metros bajo el agua, con palas de 80 metros de longitud.

Actividad 1

Explica qué entiendes por los siguientes términos: eólico, aerogenerador, megavatios.

¿Qué potencia es capaz de generar una central nuclear según se indica en la lectura?

En Uruguay, ¿dónde se localizan aerogeneradores? ¿De qué potencia son?
¿En qué difieren del proyectado en España?

¿Podrías completar el siguiente cuadro con datos de la matriz energética de Uruguay?

	Impacto (% de producción eléctrica, costos, etc.)	Características (funcionamiento, ventajas, etc.)
Generadores eólicos		
Centrales termoeléctricas		

Busca datos sobre la cantidad de energía eléctrica que se consume en el país o en la región en la que vives. Averigua cómo se produce y en qué porcentajes procede de energías renovables (hidráulica, eólica, fotovoltaica...) y no renovables (centrales nucleares, combustión de carbón, gas, petróleo...) Valora esos datos. ¿Crees que se debería plantear en tu país algún cambio en el modelo energético? Averigua si hay algún plan nacional al respecto.

Actividad 2

Tomando los 12 principios de la Química Verde propuestos por Anastas, en un sentido general: ¿con cuáles de ellos cumple la propuesta española?

Considerando las “tres E” propuestas en relación a la sustentabilidad: ¿Qué ventajas/desventajas presenta la energía eólica frente a la energía nuclear? ¿Qué inconvenientes son asociados a la instalación de 65 molinos de viento?

1.5.2. Contaminación ambiental

EL PAIS, ESPAÑA, 02/07/2009

Titular: LA CIENCIA SE LANZA A POR LA VACA “PRIUS” (Manuel Ansedo, foto extraída de <http://www.publico.es/ciencias/236127/la-ciencia-se-lanza-a-por-la-vaca-prius>)

Científicos españoles logran reducir las emisiones de metano de los rumiantes, que producen calentamiento global.

Cualquier veterinario sabe que no debe echarse un cigarrillo cerca de una vaca. Cada año, los enrevesados estómagos de los rumiantes emiten, en forma de ventosidades y, sobre todo, de eructos, unos 900.000 millones de

toneladas de metano, el mismo gas que forma atmósferas explosivas en las minas de carbón y los mineros conocen como grisú. Una vaca es inflamable, como una bombona de butano.

Pero más allá de suponer un riesgo profesional para los médicos de los animales, el metano tiene otra cara más peligrosa. Produce un efecto invernadero, responsable del calentamiento global, unas 23 veces más potente que el CO₂. Según un informe publicado en 2006 por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), el sector ganadero da de comer a 1.300 millones de personas en el mundo pero, al mismo tiempo, genera más emisiones de efecto invernadero que el sector transporte, si se incluye su papel en la deforestación de las selvas tropicales. Las vacas, con su cara bobalicona y su mirada inocente, están perjudicando seriamente la salud del planeta.

Cada año “salen” de este ganado 900.000 millones de toneladas de metano.

Científicos de todo el mundo han comenzado una carrera con el objetivo de reducir las emisiones del ganado. Recorren diferentes vías, pero su meta es la misma: crear una especie de “vaca Prius”, similar, por su carácter pionero, al modelo de automóvil de Toyota que provocó una pequeña revolución en el sector del transporte por su menor producción de CO₂.

Actividades

¿Cuáles son los aspectos de la lectura anterior, que se vinculan a la Química Verde? Considera los efectos tanto a nivel local como mundial.

Siendo Uruguay un país ganadero, ¿cómo podrías analizar si existe alguna incidencia de las emisiones generadas en el cambio climático? ¿Qué parámetros deberías analizar? ¿Qué datos necesitarías y qué fuentes consultarías?

Infórmate acerca de las características del automóvil Toyota Prius. ¿Por qué provocó una revolución? Vincúlalo con el metabolismo de las vacas. ¿Qué reflexiones te merece la posibilidad de “crear” una “vaca Prius”? ¿Qué aspectos estructurales deberían considerarse para esa creación? ¿Lo crees viable?

A la luz de los 12 principios de la Química Verde propuestos por Anastas, ¿con cuáles de ellos cumpliría la “vaca Prius”?

1.5.3. Biocombustibles

EL MATERIAL DEL FUTURO ESTÁ EN LA BASURA

MARÍA GARCÍA DE LA FUENTE

MADRID

El encarecimiento del precio del crudo y sus problemas ambientales por los gases de efecto invernadero han llevado a los fabricantes a investigar en

nuevas materias primas que sustituyan al petróleo. Como ya sucedió en el campo de los biocombustibles de primera generación (los que se obtienen a partir de cultivos como maíz, soja o caña de azúcar), los plásticos también han mirado al campo. El primer paso fue la fabricación de biopolímeros a partir de cultivos de maíz, soja, avena, jarabe de arce, sorgo o aceites, y ahora las investigaciones se dirigen hacia el uso de residuos agrícolas y ganaderos, para no entrar en conflicto con los recursos para alimentación. En la actualidad se producen 200 millones de toneladas de plásticos al año en todo el mundo, de los que entre el 5% y el 10% son bioplásticos. El mercado es todavía pequeño, pero algunas marcas ya los están incorporando como, por ejemplo, NEC, que tiene un teléfono hecho a partir del maíz, o el envoltorio de la Playstation de Sony, que está fabricado a partir de cáscaras de naranja. Por su parte, el Instituto Tecnológico del Plástico, con sede en Valencia, y la Universidad de Warwick (Reino Unido) han desarrollado un coche de carreras a base de zanahoria, soja, patatas y yute. Hay ejemplos muy curiosos.

Actividades

Señala las palabras claves en esta lectura, a tu entender.

Qué entiendes por: efecto invernadero, biocombustibles, bioplásticos,

¿Cuántas toneladas de bioplásticos se producen en el mundo anualmente? ¿Y en Uruguay?

Analiza las siguientes frases:

- * “..ahora las investigaciones se dirigen al uso de residuos agrícolas y ganaderos, para no entrar en conflicto con los recursos para alimentación“
- * “Los biopolímeros son neutros en emisiones”

¿Qué significan? Explícalas con tus palabras y aclara si debiste dirigirte a alguna fuente de consulta.

¿Podrías señalar otros ejemplos curiosos de uso de bioplásticos a partir de residuos agrícola- ganaderos?

1.5.4. Estequiometría y Química Verde: el concepto de economía atómica

La economía atómica apunta a que en el producto deseado se incorpore la mayor cantidad posible de los átomos que forman los reactivos, y por lo tanto, que la menor cantidad posible de átomos de los reactivos formen productos de desecho.

El porcentaje de economía atómica se calcula:

$$\text{E.A.} = \frac{\text{masa de producto deseado}}{\text{masa de reactivo}} \times 100$$

Cuanto más alto sea el porcentaje de economía atómica menos contaminante es el proceso.

Un ejemplo de aplicación de esto se presenta en un nuevo proceso para sintetizar ibuprofeno. El ibuprofeno es un analgésico casi tan utilizado como la aspirina, que en un principio se utilizó por su efectividad para tratamiento de la artritis. El antiguo proceso de síntesis del ibuprofeno constaba de seis etapas en las que se producían gran cantidad de productos de desecho. En 1990 se desarrolló un nuevo proceso de síntesis de ibuprofeno en tres etapas, que producía menos residuos y consumía menos energía.

Actividades

En el antiguo proceso de producción, para obtener 206 g de ibuprofeno se consumían 514.5 g de distintos reactivos, siendo el resto materiales de desecho.

En el nuevo proceso, para obtener 206 g de Ibuprofeno se consumen 266 g de distintos reactivos.

Calcula el porcentaje de economía atómica para ambos casos.

¿Qué masa de residuos se producen en cada caso para obtener 206 g de ibuprofeno?

En la década de los 90 se vendían a nivel mundial 46 toneladas de ibuprofeno. ¿Qué masa de residuo se producían por el método antiguo y por el método nuevo respectivamente?

¿Qué principios de la Química Verde se aplican en el nuevo proceso de obtención de ibuprofeno?

Escribe la fórmula global del ibuprofeno.

¿Qué grupo funcional presenta el ibuprofeno?

¿Qué importancia puede tener el principio de economía atómica para nuestra vida cotidiana? Explica.

1.6. Algunas páginas web de consulta complementaria para los docentes

<http://www.porquebiotecnologia.com>

Página del Consejo Argentino para la información y el desarrollo de la biotecnología. En ella aparece abundante material teórico sobre estas

temáticas, y en la parte de trabajos prácticos aparecen diversas experiencias, tanto de química como de biología. Muchas de estas actividades pueden fácilmente adaptarse a un trabajo desde el enfoque de la Química Verde. A modo de ejemplo, citamos la creación de un biodigestor sencillo.

http://www.apaceureka.org/revista/Volumen7/Numero_7_extra/Vol_7_Num_extra.htm

Eureka es una revista de educación en ciencias, electrónica y de acceso gratuito. En el año 2010 editó un número extra de Educación para un Futuro Sostenible.

<http://www.youtube.com/watch?v=VgqJ88vBc2E>

Video ¿Qué es la Biocatálisis?

Este video forma parte de una serie de divulgación editada por PEDECIBA. Esta serie consiste en un conjunto de videos que comienzan con la pregunta “¿Qué es....?”. A partir de esta pregunta básica se explica algún aspecto de las ciencias experimentales. En este caso, investigadores en Biocatálisis de la Facultad de Química del Uruguay, explican esta técnica y plantean ejemplos de aplicación de la misma. Como se refirió anteriormente, ésta es una de las metodologías utilizadas por la Química Verde.

<http://www.beyondbenign.org/K12education/highschool.html>

Web en inglés destinada a la enseñanza de la Química Verde, cuyo presidente es Warner, uno de los precursores de esta visión de la Química. En ella aparecen actividades para el aula, para trabajar en distintos niveles educativos. Están prontas para descargar. Se encuentran en inglés, pero siempre es posible ayudarse con el traductor de Google u otro.

<http://grupoelectropositivos.blogspot.com/>

Blog creado por un grupo de estudiantes universitarios peruanos. En el mismo aparecen permanentemente noticias y videos sobre nuevas aplicaciones de la Química Verde, poniendo el énfasis en Química Orgánica.

Capítulo 2.- Pautas para el Reciclaje

Isabel Duglio, Mabel Giles, Graciela Mantiñán

Orientadora: Gianella Facchin

Resumen

La sociedad enfrenta en este siglo XXI el desafío de reorientar la actividad humana, tanto en lo económico como en estilos de vida, hacia un desarrollo sostenible. El progreso socio-económico debe lograrse garantizando que, al mismo tiempo, el ambiente siga siendo ecológicamente viable y capaz de satisfacer las necesidades de las generaciones futuras, así como de las actuales. Una de las herramientas para lograrlo es el reciclaje. El mismo es el conjunto de actividades mediante las cuales materiales descartados como residuos son separados, recolectados y procesados para ser usados como materia prima secundaria en la fabricación de nuevos artículos. El reciclaje disminuye la cantidad de residuos en la disposición final, preserva los recursos naturales y genera empleo.

Es preciso lograr cambios profundos en los hábitos de la población para consolidar una cultura que propicie acciones tendientes al reciclaje y estos cambios deben comenzar en el ámbito educativo. En cada centro educativo, formal o informal, público o privado, se debe asumir el compromiso de educar en acciones responsables con el cuidado del ambiente. Los docentes, como agentes sociales de cambio, deberíamos asumir el compromiso de la educación ambiental independientemente de la currícula que nos compete.

En este trabajo se presenta el proceso de reciclaje del aluminio, de plásticos y de pilas. También se analizan proyecciones del tema en el ámbito educativo.

2.1. Introducción

La sociedad global enfrenta en este siglo XXI el desafío de reorientar la actividad humana, tanto en lo económico como en estilos de vida, hacia un desarrollo sostenible. El progreso socio-económico de las diferentes naciones debe lograrse garantizando que, al mismo tiempo, el ambiente siga siendo ecológicamente viable y capaz de satisfacer las necesidades de las generaciones futuras, así como de las actuales. Es así que las Naciones Unidas han incluido entre las metas para el milenio alcanzar la sustentabilidad ambiental. El reciclaje contribuye con singular relevancia para alcanzar dicha meta.

Este trabajo se propone presentar la importancia del reciclaje. El recorrido por esta temática, proporciona diferentes aspectos que contribuyen a la enseñanza de la Química. La intencionalidad pasa también por visualizar puntos de enlace a partir de los cuales se logre enfatizar los aportes de la Química a los diferentes procesos de reciclaje, en particular y en la gestión ambiental en general. Por este motivo, se comienza por algunas precisiones en cuanto al término en sí y respecto de otros conceptos vinculados al tema.

En este trabajo se presenta el proceso de reciclaje del aluminio, el de plásticos y el de pilas. En ellos se detalla la composición química de los materiales involucrados; se evalúan los procesos, métodos y reacciones químicas asociadas al mismo y se analizan los beneficios para el ambiente, evidenciando los aspectos energéticos vinculados al reciclaje y a la producción de materiales nuevos. También se plantean proyecciones en el ámbito educativo y algunas líneas potenciales para trabajar la temática en educación media.

2.2. Reciclaje

Para favorecer la comprensión del término reciclaje, se realiza a continuación una descripción del mismo a partir de lo planteado por Joa Rodríguez [1]. En primer lugar, la etimología de la palabra, compuesta por el prefijo re, que indica reiteración o repetición, la palabra ciclo, del griego *kiklos*, que significa movimiento en círculo, y el sufijo aje, que implica acción o efecto.

El término en sí expresa claramente la idea que se desea transmitir: en la naturaleza todo lo que la integra es cíclico, nada que pertenezca a ella queda fuera del ciclo de vida, lo que no ocurre con los productos creados por el hombre.

Sin embargo, en el afán de difundir ampliamente el término, surgen desviaciones en la acepción del mismo, por lo cual a continuación se transcriben dos definiciones de reciclaje que contribuyen a clarificar el significado del mismo:

“Procesos mediante los cuales se aprovechan y transforman los residuos sólidos recuperados, en materias primas secundarias listas para su utilización en la fabricación de nuevos productos.” [1]

“Proceso simple o complejo que sufre un material o producto para ser reincorporado a un ciclo de producción o de consumo, sea este el mismo en que fue generado inicialmente u otro completamente diferente.” [1]

En lo anterior se puede señalar que el reciclaje es un proceso, que disminuye los residuos desechados al ambiente y, como cualquier actividad realizada por el hombre, tiene connotaciones sociales, económicas y políticas.

De las definiciones citadas anteriormente, es necesario diferenciar reciclar de reutilizar y reducir, acciones que en su conjunto suelen ser denominados como “las tres erres”.

Reducir los residuos es disminuir su peso, volumen o toxicidad. Si se reduce el problema, disminuye el impacto en el medio ambiente. La reducción puede realizarse en dos niveles: reducción del consumo de bienes o de energía. Por ejemplo:

- * Reducir o eliminar la cantidad de materiales destinados a un uso único (por ejemplo, los embalajes).
- * Adaptar los aparatos en función de sus necesidades (por ejemplo poner lavadoras y lavavajillas llenos y no a media carga).
- * Reducir pérdidas energéticas o de recursos: de agua, desconexión de aparatos eléctricos, desconexión de transformadores, etc.

Reutilizar es usar de nuevo un objeto que ya se utilizó para el fin con el que se compró. De este modo alargamos su vida y evitamos que se convierta en basura. Es volver a utilizar un objeto para darle una segunda vida útil. Todos los materiales o bienes pueden tener más de una vida útil, bien sea reparándolos para un mismo uso o con imaginación para un uso diferente. Por ejemplo:

- * Utilizar la otra cara de las hojas impresas.
- * Rellenar botellas.

En líneas generales, tanto reducir como reutilizar son dos acciones útiles para disminuir el daño ambiental, de mayor jerarquía que el reciclaje en sí; es decir, reducir y reusar son las primeras opciones desde el punto de vista ambiental, el reciclaje aparece como tercera acción para lo que efectivamente no tiene posibilidad de reuso directo.

Para lograr el reuso y el reciclaje, los residuos deben seleccionarse en origen, donde se generan los desechos. Por residuo se entiende: *“cualquier sustancia, objeto o materia del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención o la obligación de desprenderse independientemente del valor del mismo”*. Todos

ellos requieren de un manejo adecuado para asegurar el cuidado del ambiente y la calidad de vida de la población.

Los residuos pueden clasificarse de distintas formas según el criterio que se utilice:

- * Naturaleza física: secos o húmedos – sólidos, líquidos o gases.
- * Composición química: orgánicos e inorgánicos.
- * Por sus potenciales riesgos: peligrosidad alta, media o baja.
- * Origen: domésticos, de podas y limpieza de la ciudad, residuos especiales como aceites, pilas, neumáticos, residuos hospitalarios y de centros de salud, residuos generados en las industrias y residuos provenientes de obras civiles (escombros).

A pesar de los avances tecnológicos, continúan produciéndose importantes cantidades de residuos que deberían tratarse en las mejores condiciones ambientales.

En una ciudad se generan diversos tipos de residuos. Para realizar un buen manejo de estos residuos, es decir una gestión integral, es necesario un conjunto articulado de planes, normas legales y técnicas, acciones operativas y financieras implantadas por una administración para asegurar que todos sus componentes sean tratados de manera ambiental y sanitariamente adecuada, operativamente correcta, económicamente factible y socialmente aceptable.

En Uruguay no existe la articulación de políticas y procedimientos formales de reducción, en el marco de un programa en el ámbito institucional que apunte a obtener una reducción de la generación de residuos. Sin embargo existe un alto porcentaje (30%) de reutilización y reciclaje en Montevideo, disminuyendo la cantidad de residuos a depositar en el sitio de disposición final en Felipe Cardozo [2].

La relevancia económica del reciclaje, genera procesos industriales lucrativos que inciden y determinan la gestión ambiental. Además, para alcanzar niveles elevados de producción de materiales reciclados, se generan empleos numerosos y variados. En consecuencia, el proceso de reciclaje se ha fortalecido en las áreas en las que genera un beneficio económico, más que por su relevancia ambiental.

El proceso de reciclaje conjuga en sí mismo puntos a favor de alcance diferente:

- * Conserva los recursos naturales como el aire, el agua, los bosques, los combustibles fósiles y los minerales.
- * Evita la contaminación causada por la extracción y procesamiento de materiales vírgenes necesarios para la manufactura de productos. Por lo tanto, disminuye los efectos nocivos de actividades como la minería, la tala

de árboles, la siderurgia y otras; frena la contaminación de la atmósfera y las reservas de aguas.

- * Disminuye las emisiones de gases de invernadero que contribuyen al cambio climático, al disminuir el uso de combustibles y por disminuir la incineración de desechos.
- * Reduce los espacios necesarios para vertederos y basureros y con ello los peligros que éstos representan para el medio ambiente.
- * Crea una fuente de empleo y de sustento para millones de personas en el planeta.

Dada la diversidad de procesos de reciclaje, en el presente trabajo se abordan a modo de ejemplo para señalar su importancia y brindar aspectos interesantes para abordar desde la enseñanza de la Química, los siguientes:

- * Reciclaje de aluminio.
- * Reciclaje de plásticos.
- * Reciclaje de pilas.

En la presentación de todos ellos se tendrán presente las propiedades y usos, la producción del material y el reciclaje del mismo.

2.3. Reciclaje de aluminio

El reciclaje del aluminio es un proceso que se realiza desde hace tiempo porque, además de los beneficios ambientales, existen motivaciones económicas. Desde el punto de vista técnico resulta fácil y supone un gran ahorro de energía y materias primas. El aluminio que se recupera conserva gran parte de sus propiedades, pudiéndose repetir el proceso cuantas veces sea necesario.

2.3.1. Propiedades y usos del aluminio

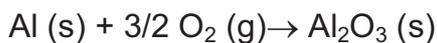
La demanda de productos de aluminio va en aumento año tras año. Éste es un material joven, de poco más de un siglo desde su primera producción comercial.

Es el metal de elección cuando se busca combinar funcionalidad y rentabilidad; es un material extraordinariamente versátil. Puede tomar gran variedad de formas, por fundición o extrusión, como tubos, láminas y placas, hojas, polvo, forjados; y la variedad de acabados de las superficies disponibles, revestimientos, anodizado, pulido, etc., representa una amplia gama de productos, diseñados para su uso en todos los ámbitos de la vida moderna.

Las aplicaciones de este material son diversas: construcción, envases de alimentos y medicamentos, equipos para procesos químicos, cables

conductores de energía eléctrica, componentes automotrices y partes de naves aeroespaciales.

Las propiedades del aluminio que permiten este amplio espectro de aplicaciones son varias. Este metal tiene una densidad de 2.7 g/cm^3 lo que representa la tercera parte comparada con la del acero, alta conductividad eléctrica y térmica, un módulo de elasticidad de $6.89 \times 10^{10} \text{ Pa}$, bajo punto de fusión (660°C), comportamiento no magnético y no combustible, excelente resistencia a la oxidación y corrosión. El aluminio reacciona con el oxígeno a temperatura ambiente para producir una capa fina de óxido de aluminio que protege el metal subyacente de diversos entornos corrosivos:



Además, su resistencia específica, es decir, su relación resistencia/peso es excelente, lo que permite el uso frecuente de este metal cuando el peso es un factor de importancia, como en las aeronaves. La alta relación resistencia/peso del aluminio tiene un papel crucial en la producción de vehículos más ligeros y otras formas de transporte, reduciendo el consumo de combustible sin comprometer el rendimiento y la seguridad. El uso de componentes de aluminio de peso ligero en un vehículo puede ahorrar seis a doce veces la energía liberada para producir el aluminio primario utilizado en su construcción. Por cada reducción de 10% en peso se puede lograr hasta el ahorro del 8% de combustible. Un kilogramo de aluminio, utilizado para reemplazar los materiales más pesados en un automóvil o camioneta, tiene el potencial para eliminar 20 kg de CO_2 durante la vida útil del vehículo. Para otros vehículos, tales como trenes, barcos y aviones, los ahorros potenciales son aún mayores [3].

El aluminio es el elemento metálico más abundante en la corteza terrestre, con un porcentaje de 8.1 ocupa el tercer lugar superado solamente por oxígeno y silicio.

Se puede encontrar bajo la forma de aluminosilicatos (compuestos análogos a los silicatos donde el Al sustituye al Si, como el KAlSi_3O_8) mezclado con otros metales. La extracción de aluminio a partir de silicatos es muy costosa, por lo que se obtiene de la bauxita, una roca sedimentaria compuesta por óxido de aluminio y, en menor medida, óxido de hierro y sílice. Este mineral se origina de la erosión química natural de las rocas que contienen aluminosilicatos, y por su abundancia en la naturaleza es la principal fuente de aluminio utilizada por la industria. Es el segundo metal más utilizado después del hierro, tanto solo como en aleaciones.

Las aleaciones de aluminio pueden ser de dos tipos, para forja o para fundición, según el método de procesamiento. Para forja, son aquellas que se conforman mediante deformación plástica, tienen composiciones y microestructuras significativamente distintas que para fundición. En cada grupo se pueden plantear las aleaciones tratables térmicamente y las no tratables térmicamente. Las aleaciones de aluminio se clasifican según un sistema de

numeración donde el primer número define los principales elementos de la aleación y los restantes se refieren a la composición específica de la misma.

El perfeccionamiento en los procesos de manufactura de las aleaciones convencionales de aluminio ha ampliado la utilidad de este metal. Por ejemplo, se han producido aleaciones con litio, que tiene una densidad de 0.53 g cm^3 lo que permite que la aleación Al-Li, alcance una densidad hasta 10% menor que las convencionales. La baja densidad aumenta la resistencia específica, disminuye la velocidad de crecimiento de grietas por fatiga y favorece la tenacidad a temperaturas criogénicas. Estas aleaciones se utilizan en la industria espacial y en la construcción de aeronaves comerciales y espaciales.

2.3.2. Proceso de producción

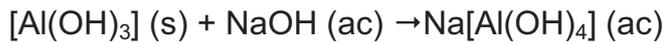
Los primeros emprendimientos en producción de aluminio surgen a fines del siglo XIX, después de que Charles Hall y Paul Héroult desarrollan, de forma independiente, un proceso electrolítico industrial que constituye la base para la obtención de este metal a partir del óxido correspondiente. No obstante, la producción de aluminio creció considerablemente cuando Karl Bayer ideó el proceso de obtención de óxido de aluminio a partir de la bauxita. La producción de aluminio implica tres etapas: la extracción de la bauxita, la producción de alúmina y la electrólisis de aluminio.

La bauxita constituye la materia prima en este proceso y está compuesta por una mezcla de minerales de aluminio. Entre los más importantes se encuentran la gibbsita $[\text{Al}(\text{OH})_3]$ y el diásporo $[\text{AlO}(\text{OH})]$. Esos minerales pertenecen a la familia de los óxidos-hidróxidos de aluminio y sus proporciones en la bauxita varían de acuerdo con los yacimientos. También varían las impurezas que se pueden encontrar como ser caolinita, cuarzo, hematita. Las bauxitas económicamente aprovechables poseen contenidos de aluminio, expresado como alúmina (Al_2O_3), entre 50-55%, y sílice reactiva (caolinita y cuarzo) hasta un 4%. La producción anual de bauxita, en Brasil por ejemplo, es superior a 120 millones de toneladas, de donde 95% son usados en la producción de aluminio metálico por el proceso Bayer seguido por el proceso Hall – Héroult [4].

Proceso Bayer de obtención de alúmina

Como se mencionó anteriormente la producción del aluminio se realiza en tres etapas, siendo el proceso Bayer el que produce la alúmina a partir de la bauxita extraída.

En la primera fase del proceso Bayer la bauxita se tritura, se muele y luego se digiere en una solución acuosa de hidróxido de sodio a una temperatura de $100^\circ\text{C} - 320^\circ\text{C}$ y se mantiene a una presión de 30 atm para impedir la ebullición. Los hidróxidos de aluminio de la bauxita se disuelven en esta solución formando un ion complejo altamente soluble, el aluminato $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ según la reacción:



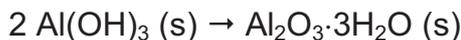
El aluminato que se encuentra en solución, se separa de los óxidos de hierro, óxidos de titanio y del ácido silícico formado que se encuentran en estado sólido, por decantación. A estos residuos sólidos se los conoce como barro rojo. Este proceso aprovecha el anfoterismo del Al para separarlo del resto de los componentes de la mezcla.

A continuación se reduce el pH para precipitar el hidróxido de aluminio, según la reacción:



El sólido se separa por filtración y la solución que se obtiene se concentra para poder usarla nuevamente. Esta concentración se logra calentando para evaporar agua de la solución, un procedimiento que requiere mucha energía, constituyendo así, la etapa más costosa del proceso Bayer.

A continuación, el $\text{Al}(\text{OH})_3$ obtenido se calcina, para obtener alúmina:



Proceso Hall – Héroult de obtención de aluminio

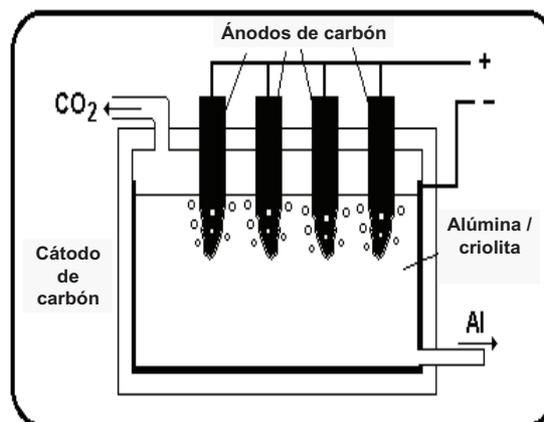
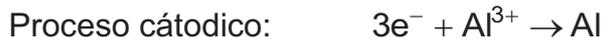


Figura 2.1. Producción de aluminio en una celda electrolítica. Tomado de [5].

El proceso Hall – Héroult consiste en la reducción electrolítica del óxido de aluminio, que se convierte en aluminio metálico en un horno de fusión (Figura 2.1). En este proceso se utiliza fluoroaluminato de sodio (Na_3AlF_6 , criolita) para disminuir el punto de fusión del óxido de aluminio, cercano a los 2000°C (costoso y difícil de alcanzar a escala industrial). La mezcla con criolita constituye una mezcla eutéctica, que logra bajar el punto de fusión a 900°C. Mediante corriente continua de alta intensidad, el óxido se reduce a aluminio metálico.

Este proceso es realizado en celdas electrolíticas, con cátodo y ánodo de carbono. El cátodo de carbono forma el fondo de la celda y actúa como electrodo negativo. Los ánodos de carbono, electrodos positivos, se mantienen en la parte superior y se consumen durante el proceso cuando reaccionan con el anión óxido proveniente del electrolito. El proceso anterior se puede representar (en forma simplificada):



El elevado costo energético del proceso es una de las razones de la relevancia del reciclaje del aluminio. Ya que el aluminio se obtiene electroquímicamente, el costo energético asociado a su producción es importante: es necesario gastar entre 15 y 20 kWh por cada kilogramo de aluminio metálico. El aluminio metálico obtenido alcanza una pureza entre un 99.5% y 99.9% [5].

Impacto ambiental del proceso de obtención de aluminio primario

El proceso de obtención provoca un importante impacto ambiental, por los residuos y contaminantes generados y el alto costo energético. Por ejemplo, si se parte de cuatro toneladas de bauxita, se obtienen aproximadamente 2 toneladas de alúmina y una tonelada de aluminio, y se consumen 100 kg de criolita, 500 kg de ánodos de carbono y entre 15.000 y 20.000 kWh de energía eléctrica.

Los residuos más importantes generados en la producción de aluminio primario son los barros rojos. La cantidad que se genera, así como sus propiedades, depende del tipo de bauxita utilizada. Los componentes mayoritarios son óxidos de hierro, silicio y titanio, pero también pueden encontrarse óxidos de zinc, fósforo, níquel y vanadio. En general se trata de residuos que no se pueden disolver en las condiciones de reacción de la bauxita (Tabla 2.1). Los barros rojos, además de presentar un alto contenido de metales pesados, tienen carácter cáustico por la presencia de hidróxido de sodio remanente del proceso Bayer. El destino final de estos residuos es el vertido controlado, ya que al momento no se han encontrado aplicaciones útiles en términos económicos. La tabla siguiente muestra la composición porcentual típica de los barros rojos [6].

Tabla 2.I. Composición típica del barro rojo

Compuesto	Porcentaje en peso
Fe ₂ O ₃	25-45
Al ₂ O ₃	15-28
SiO ₂	6-16
TiO ₂	8-24
Na ₂ O (total)	4-9
CaO/MgO	0.5-4

2.3.3. Proceso de reciclaje del aluminio

De la variedad de materiales reciclables, el aluminio se destaca porque puede ser reciclado sucesivamente sin pérdida de sus propiedades. El reciclado del aluminio es ventajoso pues requiere solo de una fracción de la energía requerida para producir el metal a partir del óxido (Tabla 2.II). El reciclaje de este metal disminuye los daños ambientales que genera la producción de aluminio primario a partir de la bauxita. Es decir, el reciclado de los materiales de aluminio evita la explotación de las minas, disminuye las emisiones de gases asociados a su producción y reduce el costo energético de producción en un 95%.

Tabla 2.II. Comparación de los procesos primario y secundario en la producción de aluminio[7].

Factores comparables por tonelada de Al producido	Proceso primario	Proceso secundario
Energía (J)	174	10
Emisiones a la atmósfera (Kg)	204	12
Residuos sólidos (Kg)	2100-3650	400
Consumo de agua (Kg)	57	1.6

El aluminio reciclado constituye un tercio del aluminio total que se utiliza en el mundo [7]. El proceso de reciclado constituye una parte esencial de la

industria de aluminio y resulta relevante en aspectos técnicos, económicos y ecológicos.

El aluminio que se recicla, proviene de las chatarras que se originan en la fabricación de productos de aluminio y de los desechos que estos últimos generan. Los subproductos de la transformación de aluminio no necesitan ser tratados previamente antes de ser fundidos, porque generalmente se conocen su calidad y composición. La chatarra proveniente de materiales de aluminio producidos, usados y desechados, está asociada a otros materiales, resultando necesario el tratamiento y posterior separación antes de entrar en los recicladores.

El aluminio se recicla en un proceso de fundición denominado “segunda fundición del aluminio”. En el mismo, los materiales de aluminio se funden en un horno, junto con sales fundentes.

La producción de aluminio secundario, se caracteriza por la diversidad de materias primas y de hornos que pueden utilizarse. El horno rotatorio es el más usado, por la variedad de materiales que admite. En él, los materiales se funden bajo una capa de sal, material fundente, que consiste en una mezcla de 30% de KCl y 70% de NaCl. La elección del fundente depende de la materia prima, y sus funciones son diversas:

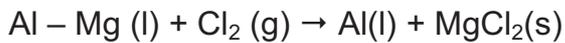
- * Habilita la transferencia de energía al metal, aumentando la eficacia térmica y permite aislarlo de la atmósfera, previniendo la oxidación del metal. Para ello, el horno debe alcanzar la temperatura necesaria para fundir la sal y que así sobrenade sobre el metal.
- * Dispersa mecánicamente los óxidos de los materiales metálicos y no metálicos sólidos, presentes en el horno.
- * Puede reaccionar con los óxidos de aluminio, disolviéndolos.

La cantidad en que se utiliza el fundente depende de las impurezas que contenga el material de aluminio y del horno en cuestión. En general, se funde primero la sal en el horno y después se agrega el material a fundir en el baño de sal. Cuando todo está fundido se pasa a extraer el metal y las escorias o mezclas de materias metálicas y no metálicas. De acuerdo a como se realice el enfriamiento durante la extracción del aluminio, se puede obtener el mismo en forma de bloques, granulado o polvo.

El proceso de reciclaje a partir de las latas de bebidas constituye un ejemplo de subproducto del cual se conoce su calidad y composición pero, aún así, presenta varias dificultades. Los recipientes de bebidas están fabricados con dos aleaciones de aluminio, 3004 para el cuerpo y 5182 para las tapas, con composiciones distintas. La aleación 3004 tiene una conformabilidad (facilidad para darle forma) excepcional, que es necesaria para hacer el embutido profundo. La aleación 5182 es más dura y por ello permite que funcione correctamente el mecanismo para destapar el envase. Cuando se vuelven a

fundir las latas, la aleación resultante contiene Mg y Mn, por lo que deja de ser útil para estas aplicaciones.

Un método adecuado para el reciclado es separar las dos aleaciones de la lata. Estas se hacen tiras y a continuación se calientan para eliminar la laca que ayuda a protegerla durante su uso. Se podría seguir despedazando el material a una temperatura donde la aleación 5182 empiece a fundirse y, como tiene un rango más amplio de solidificación que la 3004, se desmenuza en pedazos muy pequeños. Por su parte, la aleación 3004, más dúctil, se mantiene en piezas mayores. Los pequeños fragmentos de aleación 5182 pueden seleccionarse pasando el material a través de una malla. Las dos aleaciones pueden entonces fundirse, colarse y laminarse por separado en un nuevo material para latas. Un método alternativo podría ser simplemente volver a fundir las latas y una vez hecho esto exponer la aleación líquida a un burbujeo de cloro gaseoso. Este reacciona de manera selectiva con el magnesio, oxidándolo a $MgCl_2$, sólido que puede ser separado.

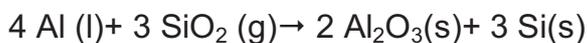
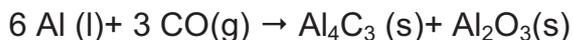
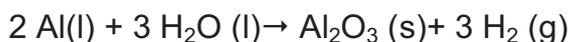
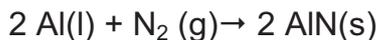
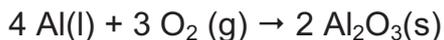


La composición del líquido restante puede ajustarse y reciclarse como aleación 3004 [8].

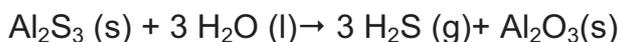
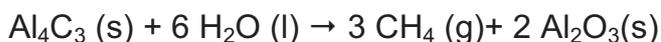
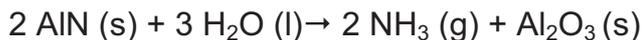
2.3.4. Impacto ambiental de la producción de aluminio secundario

Como se mencionaba anteriormente, la fundición de materiales de aluminio está acompañada de la formación de escorias, residuos metálicos y no metálicos, pero además, pueden producirse emisiones gaseosas.

El proceso de reciclaje de aluminio, al alcanzar altas temperaturas, permite que el metal reaccione con diferentes sustancias en fase gaseosa dando lugar a la formación de diversos compuestos metálicos:



Si estos compuestos de aluminio entran en contacto con agua pueden dar lugar a las siguientes emisiones gaseosas:



Los residuos sólidos del proceso de segunda fusión del aluminio, que se denominan escorias, son de diversa índole, pero vinculadas directamente al tipo de fundente utilizado. Por esto cobran singular relevancia las escorias salinas, que se generan cuando se usan mezclas de sales como fundente. Los principales componentes de las escorias salinas son los siguientes: metales libres (Al, Fe, Si, Cu), óxidos metálicos (Al_2O_3 , Na_2O , K_2O , SiO_2 , MgO), otros derivados (NaI , C_3Al_4 , Al_2S_3 , Si_3P_4), fundentes (NaCl , KCl , MgCl_2 , NaF , AlCl_3 , CaCl_2 , CuCl_2 , ZnCl_2), otras sales (Na_2SO_4 , Na_2S , criolita), otras sustancias como C y sustancias extrañas que normalmente se incorporan una vez que la escoria ha salido del horno.

Algunas empresas han realizado los estudios necesarios para ponderar la posible valorización de las escorias salinas. En este proceso se obtienen tres subproductos: aluminio metálico, sales fundentes y óxidos no metálicos. Si bien estos óxidos pueden comercializarse en diferentes industrias (cementeras, cerámicas, refractarias y construcción), también se sabe que las características finales de los mismos, no presentan una calidad adecuada para que su comercialización sea económicamente rentable; el destino final de este subproducto es su disposición en vertedero. En general, valorando ecológica y económicamente, las escorias salinas se someten a tratamientos mecánicos y electromagnéticos con los que consigue separar el aluminio y otros metales, los otros residuos son dispuestos en vertedero controlado [8].

2.4. Reciclaje de plásticos [9-16]

Los materiales plásticos han sido uno de los desarrollos más importantes del siglo XX. Han sustituido a otros materiales por ser económicos, livianos, de gran durabilidad, versátiles y resistentes a la humedad y a productos químicos e inalterables con el tiempo. La industria del plástico es una industria joven, que comenzó al inicio del siglo XX. Los primeros 50 años fueron de investigación de dichos materiales, en los siguientes años comenzó el uso masivo de los mismos.

2.4.1. Propiedades y usos de los plásticos

Los plásticos son materiales que tienen en común ser grandes moléculas formadas por una unidad repetitiva. A la unidad repetitiva se la denomina monómero mientras que al resultado de su unión se le denomina polímero.

Los plásticos, según su estructura o comportamiento frente al calor, se clasifican en: termoplásticos, termoestables y elastómeros.

Los termoplásticos son macromoléculas que presentan cadenas de estructura lineal, los plásticos termoestables son macromoléculas con entrecruzamientos y los elastómeros son macromoléculas que forman una red tipo malla con pocos enlaces.

Las Tablas 2.III, 2.IV y 2.V presentan los principales tipos de plásticos, sus propiedades y aplicaciones.

Tabla 2.III. Principales tipos de termoplásticos, sus propiedades y aplicaciones

Tipo de plásticos	Propiedades	Aplicaciones principales
Polietileno de alta densidad (PEAD)	Denso, muy resistente, rígido. Se ablanda a unos 120°C.	Envases de alimentos o líquidos, bolsas, carcasas de electrodomésticos.
Polietileno de baja densidad (PEDB)	Más blando y flexible que el PEAD. Se ablanda a 85°C. Muy buen aislante térmico.	Bolsas de basura, de supermercado, contenedores flexibles.
Policloruro de vinilo (PVC)	Duro y tenaz. Poco inflamable.	Marcos de ventanas, productos médicos, tuberías.
Polipropileno (PP)	Baja densidad, rígido, resistente a esfuerzos, al choque y a la acción de los productos químicos. Muy buen aislante. Se ablanda a unos 150°C.	Envases de yogurt, margarinas, partes de autos.
Poliestireno (PS)	Resistencia mecánica moderada. En su forma expandida es buen aislante	Envases de alimentos, aislante, embalajes, juguetes.
Polietilenotetraflato (PET)	Rígido y tenaz. Resistente a la acción de agentes químicos.	Botellas y bandejas de alimentos.
Polimetacrilato (PMMA)	Transparente. Rígido. Buenas propiedades mecánicas.	Sustituto del vidrio en artículos domésticos.
Poliamida (PA)	Resistente al desgaste y a la acción de productos químicos. Temperatura de fusión alta.	Recubrimiento, fibras (nylon).
Politetrafluoretileno (PTFE) Teflón	Buen aislante térmico y eléctrico.	Industria eléctrica y electrónica, recubrimientos en general.

Tabla 2.IV. Principales tipos de plásticos termoestables, sus propiedades y aplicaciones

Tipo de plásticos	Propiedades	Aplicaciones principales
Resinas fenólicas	Dura y frágil. Resiste el calor pero a cierta temperatura se carboniza.	Industria eléctrica y electrónica. Mandos de cocina y electrodomésticos.
Melamina	Resistente a los agentes químicos. Poco inflamable.	Laminados y recubrimientos, industria eléctrica, adhesivos y barnices.
Resinas epoxi	Tenaces con elevada resistencia al impacto.	Adhesivos, pinturas, barnices.

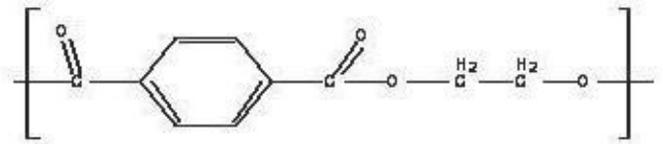
Tabla 2.V. Principales tipos de elastómeros, sus propiedades y aplicaciones

Tipo de plásticos	Propiedades	Aplicaciones principales
Caucho natural y sintético	Resistente al desgaste. Buen aislante térmico y eléctrico.	Neumáticos, juntas, tacones.
Neopreno	Resistente al desgaste. Buen aislante térmico. Elevada elasticidad.	Trajes de inmersión, apoyo de grandes vigas para puentes y edificios.
Silicona	Gran elasticidad. Buen aislante térmico.	Material adhesivo para unión de superficies.

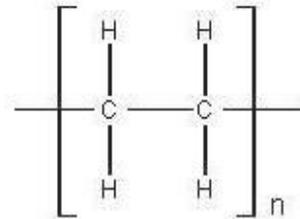
Como se presentó anteriormente, existen numerosos tipos de plásticos. A los seis de mayor uso se les identifica con un triángulo con un número dentro, denominado símbolo normalizado de materiales plásticos, para facilitar su clasificación a la hora de reciclar. A continuación se indica el código de cada uno de ellos y los monómeros correspondientes.



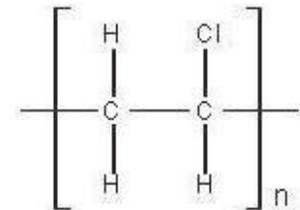
PET
(polietileno tereftalato)



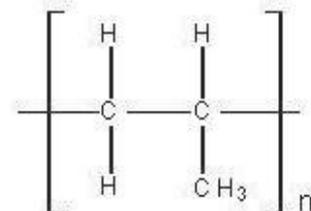
PEAD
(polietileno de alta densidad)



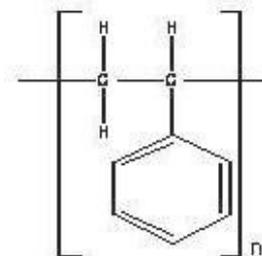
PVC
(policloruro de vinilo)



PEBD
(polietileno de baja densidad)



PP
(polipropileno)



PS
(poliestireno)

Los materiales plásticos, al ser desechados, permanecen en el ambiente durante muchos años (hasta más de 500 años, dependiendo del tipo), debido a que están compuestos por material resistente a los procesos de oxidación provocados por la humedad y el oxígeno del ambiente y de microorganismos.

Por su extensivo uso como contenedores y material de empaque, constituyen una parte importante del volumen de residuos. Desde la década del 70 el

consumo de los plásticos ha crecido en forma vertiginosa y, por lo tanto, ha aumentado el volumen de residuos de los mismos. Esto se puede observar al analizar los componentes de la bolsa de basura doméstica. En forma aproximada, el plástico constituye alrededor del 10 % en peso de la basura doméstica, pero equivale a un 30 % en volumen. Además, la mayoría de bolsas plásticas y films son de baja densidad y son fácilmente arrastrados por el viento, si no son adecuadamente desechadas. Esto produce que se disperse fácilmente en el ambiente, perjudicando su recolección y produciendo una gran contaminación visual.

Los plásticos, por su composición y su origen derivado del petróleo, y por tanto de una materia prima agotable y cara, son un residuo de alto valor, relativamente fácil de recuperar y abundante.

2.4.2. Proceso de fabricación

Los plásticos se fabrican a partir de derivados del petróleo, por lo que es necesario que la industria petroquímica suministre los monómeros. Estos monómeros son polimerizados por diferentes procedimientos químicos. Según los aditivos o tratamientos químicos que se utilicen, se consiguen las diferentes propiedades. El tamaño y la estructura de la molécula del polímero determinan las propiedades de los distintos plásticos.

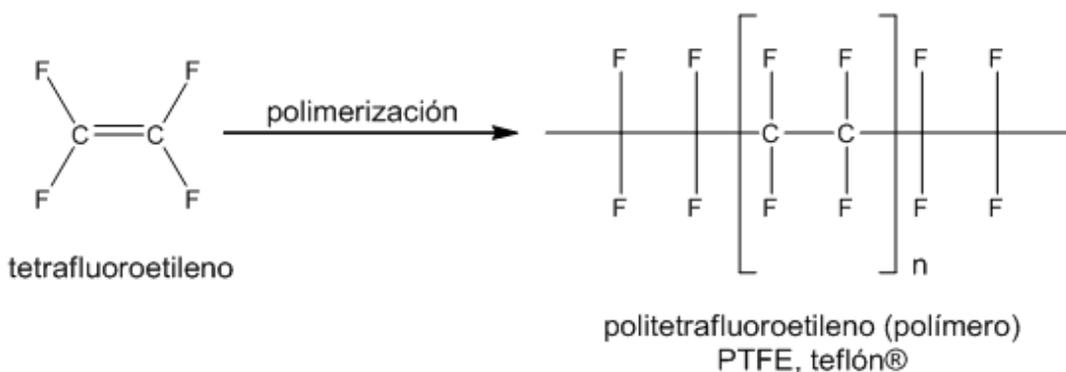
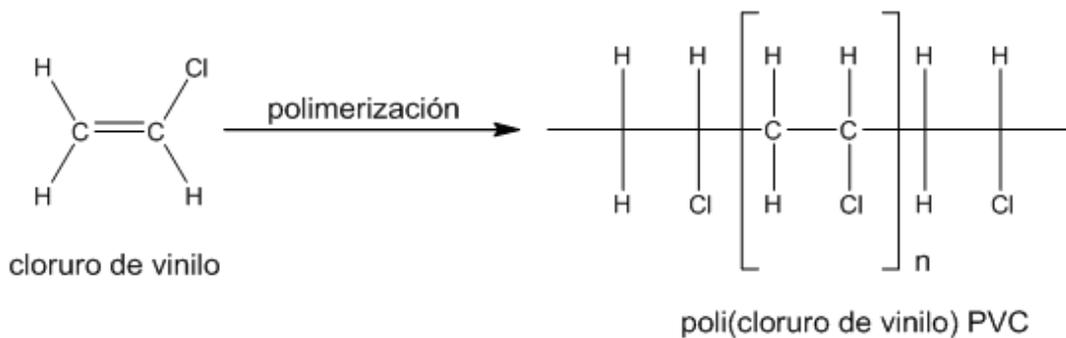
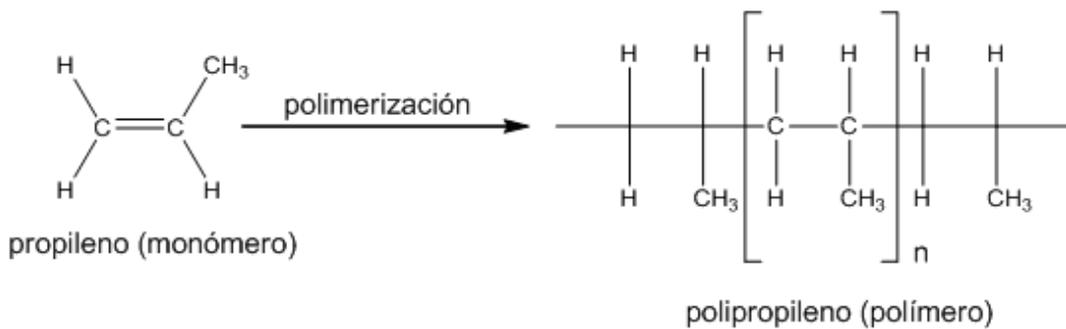
OBTENCIÓN DE PLÁSTICOS

Moléculas pequeñas → Moléculas grandes

Métodos de polimerización:

- * Por adición: los polímeros son sintetizados por la adición de monómeros insaturados a una cadena creciente.
- * Por condensación: los polímeros son sintetizados a partir de ciertos monómeros, pero algunos átomos del monómero no son incluidos en el polímero resultante, por lo que se produce una pequeña molécula como residuo (ej. H₂O, HCl).

A continuación se presentan algunos ejemplos de polímeros obtenidos por adición.



En su estado más básico, los plásticos se producen como polvos, gránulos, líquidos y soluciones. Para obtener a partir de los plásticos los materiales plásticos, se aplica presión y calor, por ejemplo, para obtener un envase de PET.

2.4.3. Reciclaje de plástico

El reciclado puede ser por un proceso físico o químico. El procedimiento mecánico (físico) es el más utilizado, pero es útil sólo para los termoplásticos. Precisa necesariamente una separación previa según el tipo de plástico.

El reciclaje mecánico consta de las siguientes etapas:

- * Trituración para obtener hojuelas
- * Remoción de contaminantes (por ejemplo: etiquetas de papel) mediante ciclones

- * Lavado
- * Secado
- * Extrusión para formar pellets (los pellets serán la materia prima para realizar nuevos objetos en plástico)

Debido a que la materia prima para fabricar los plásticos es cara (derivados del petróleo), el reciclaje de plástico ofrece un beneficio económico directo y diversas empresas se dedican a tal fin.

2.5. Reciclaje de pilas

2.5.1. Características de los diferentes tipos de pilas

Las pilas se componen, en general, de celdas electrolíticas que contienen dos placas de metales distintos (cátodo y ánodo), separadas entre sí por una solución iónica (electrolito, medio conductor de carga entre ambas placas). Estas celdas se hallan en un recipiente metálico o plástico. Para separar los elementos activos, contienen papel o cartón, y además presentan plomo o cadmio para mejorar la construcción, o mercurio para limitar la corrosión. Las pilas en las que el producto químico no puede volver a su forma original una vez que la energía ha sido convertida, se llaman **pilas primarias o voltaicas**. Las pilas en las que el producto químico puede reconstituirse pasando una corriente eléctrica a través de él en dirección opuesta a la operación normal de las pilas se llaman **pilas secundarias o acumuladores** [1].

La Tabla 2.VI presenta los diferentes tipos de pilas actualmente en uso y sus componentes.

Como se observa en la Tabla 2.VI, las pilas contienen numerosos elementos tóxicos para el ser humano y el ambiente. Entre ellos se destacan por su toxicidad el mercurio, el plomo y el cadmio. Dependiendo del tipo de pila, ésta puede además contener cinc, manganeso y níquel.

Una aplicación importante de las pilas galvánicas es su uso como fuentes portátiles de energía llamadas baterías. Una batería ideal debería ser poco costosa, portátil, segura en su uso e inocua para el medio ambiente. Debería también mantener una diferencia de potencial estable con el paso del tiempo.

Tabla 2.VI. Tipos de pilas actualmente en uso y sus componentes.

a) Pilas primarias

Composición	Uso	Comentario[17]
Comunes	General.	Gran mayoría en el

			mercado.
Zinc carbón		General.	
Alcalina de manganeso		General.	
Botón	Óxido de mercurio	Aparatos auditivos y equipos fotográficos.	Se desarrolló para sustituir a la pila de óxido mercúrico utilizada en los audífonos.
	Óxido de plata	Calculadoras, relojes electrónicos y cámaras fotográficas.	
	Zinc-aire	Aparatos auditivos.	
	Litio	Relojes y equipos fotográficos, sistemas de soporte de memoria, aplicaciones industriales y militares.	

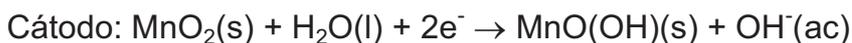
Tabla 2.VI. Tipos de pilas actualmente en uso y sus componentes.
b) Pilas secundarias

Composición	Uso	Comentario[17]
Níquel-cadmio	Herramientas electro - portátiles, cámaras de vídeo, teléfonos celulares, dispositivos de seguridad, iluminación de emergencia, equipos médicos. También en satélites que están en la órbita de la Tierra.	Más común y más usada: cerca del 80% de las baterías recargables son de Ni-Cd. Pueden recargarse cientos de veces.
Litio-ion	Productos de alta tecnología: terminales para computadoras laptop y celulares, donde lo importante es el tamaño pequeño, alta capacidad de energía con baja tasa de descarga.	Es la tecnología más nueva que ha incorporado la industria de pilas. Se pueden recargar unas mil veces.
Níquel-hidruro metálico	Laptops, celulares y videocámaras.	
Plomo ácido selladas	Electro-portátiles, juguetes, luces de emergencia, suministro de energía continuo para telecomunicaciones y sistemas de alarmas, sistemas solares, etc.	
Alcalinas recargables	Solo compiten con las de Ni-Cd en aplicaciones de bajo consumo (laptops y notebooks, celulares)	

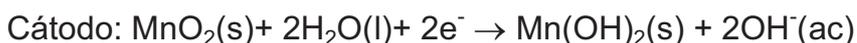
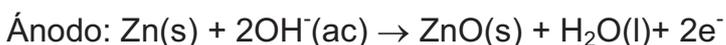
Una *pila seca* es la pila primaria utilizada en la mayoría de las aplicaciones comunes, tales como reproductores de CD portátiles, controles remotos y linternas. Su familiar contenedor cilíndrico de cinc sirve como ánodo; en el centro está el cátodo, un vástago de carbono. El interior del contenedor en sí está recubierto con papel, que sirve como barrera porosa. El electrolito es una pasta húmeda de cloruro de amonio, óxido de manganeso (IV), carbono finamente granulado y un relleno inerte, en general almidón. El amoníaco aportado por los iones amonio forma el ion complejo $Zn(NH_3)_4^{2+}$ junto con los iones Zn^{2+} y evita su acumulación y la consecuente reducción del potencial.

$Zn_{(s)} / ZnCl_{2(ac)}, NH_4Cl_{(ac)} / MnO(OH)_{(s)} / MnO_{2(s)} / C$ grafito, 1.5V

Ánodo: $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$



Una *pila alcalina* es similar a una seca, pero utiliza un electrolito alcalino, con el cual el electrodo de cinc no reacciona rápidamente cuando la batería no está en uso. Como resultado, las pilas alcalinas tienen mayor vida útil que las secas. Se utilizan en detectores de humo y en fuentes de energía de respaldo.



Las baterías usadas en las computadoras portátiles y en los automóviles son pilas secundarias. En el proceso de carga, una fuente externa de electricidad revierte la reacción espontánea de la celda y crea una mezcla de reactivos que no están en equilibrio. Luego de cargada, la pila puede nuevamente producir electricidad. La *pila de plomo-ácido* de una batería de automóvil es una pila secundaria que contiene varillas o rejillas que actúan como electrodos. Los electrodos son inicialmente una aleación dura de plomo y antimonio cubierta por una pasta de sulfato de plomo(II). El electrolito es ácido sulfúrico diluido. La pila de plomo-ácido, que genera un potencial de 2V, se arregla en una serie de seis celdas que brindan una fuente de 12V para encender el motor en la mayoría de los vehículos de explosión, y es la principal fuente de energía en los vehículos eléctricos.

La pila de *ion litio* se usa en ordenadores portátiles, porque puede recargarse muchas veces. Este tipo de batería tiene un electrolito formado por óxido de polipropileno u óxido de polietileno mezclado con sales de litio fundidas, y luego enfriado. El material resultante tiene una textura gomosa, pero sirve como buen conductor de iones Li^+ . El potencial de electrodo muy negativo del litio permite lograr una diferencia de potencial de 4V [18].

2.5.2. Reciclaje de pilas

Con el aumento del desarrollo de la electrónica de consumo, las pilas se han ido multiplicando, en los últimos años, en el seno de cada hogar. En general, una vez que las pilas se agotan ya no sirven y son tiradas en cualquier parte. Si las tiramos al tacho de desperdicios, terminarán en un basural. La lluvia lava los restos de las pilas y arrastra el mercurio a través de la tierra, hasta que encuentra la napa subterránea y la contamina. Como el agua de la napa está siempre en movimiento termina volcándose en los ríos y así llega al mar pudiéndose mezclar con las aguas o formar metilmercurio, compuesto bioacumulable y de elevada toxicidad. Se fija en la carne de los peces para quienes el mercurio no resulta tóxico dado que cuentan con un enlace proteínico que fija el mercurio a sus tejidos sin que dañe sus órganos vitales. Cuando el hombre ingiere los peces, el mercurio se libera y recupera su toxicidad y le provoca a mediano o largo plazo daños en los tejidos cerebrales y en el sistema nervioso central. Lo mismo ocurre con el cadmio que

contamina las aguas y el aire e ingresa a los cultivos. El cuerpo humano tarda décadas en eliminarlo y su absorción continuada puede producir serias lesiones renales, carcinomas, problemas pulmonares y hepáticos.

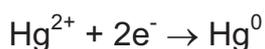
Existen diferentes procesos para reciclar pilas, según los tipos de pilas que se quiera procesar y los metales que se desee recuperar.

Un proceso de reciclaje de pilas y baterías consiste en segregar y separar el mercurio de otros metales y del resto de materiales que constituyen la pila. El proceso requiere de su trituración, excepto en el caso de las pilas botón. Como residuo de la trituración de las pilas normales se obtiene escoria férrica y no férrica, papel, plástico y polvo de pila. Este último debe seguir procesos para recuperar los metales que contiene.

Las pilas trituradas se introducen en un destilador que se calienta hasta la temperatura adecuada para su posterior condensación, permitiendo la obtención del mercurio que es el componente de menor punto de ebullición y permite obtenerlo con un elevado grado de pureza (superior al 96%).

Otro proceso para reciclar pilas, de acuerdo a un trabajo realizado por docentes de la Facultad de Química [19], adecuado para las características de consumo de Uruguay es el tratamiento hidrometalúrgico. El proceso propuesto en dicho trabajo se esquematiza en la Figura 2.2.

En dicho proceso se obtiene chatarra libre de Cd y Hg, y por tratamiento posterior de la solución que contiene metales tóxicos, se puede recuperar Zn, Mn, Cd y Hg. Por ejemplo, por electrólisis de dicha solución se obtiene Cd y Hg según los siguientes procesos catódicos:



Según el potencial aplicado se puede obtener selectivamente Cd y Hg.

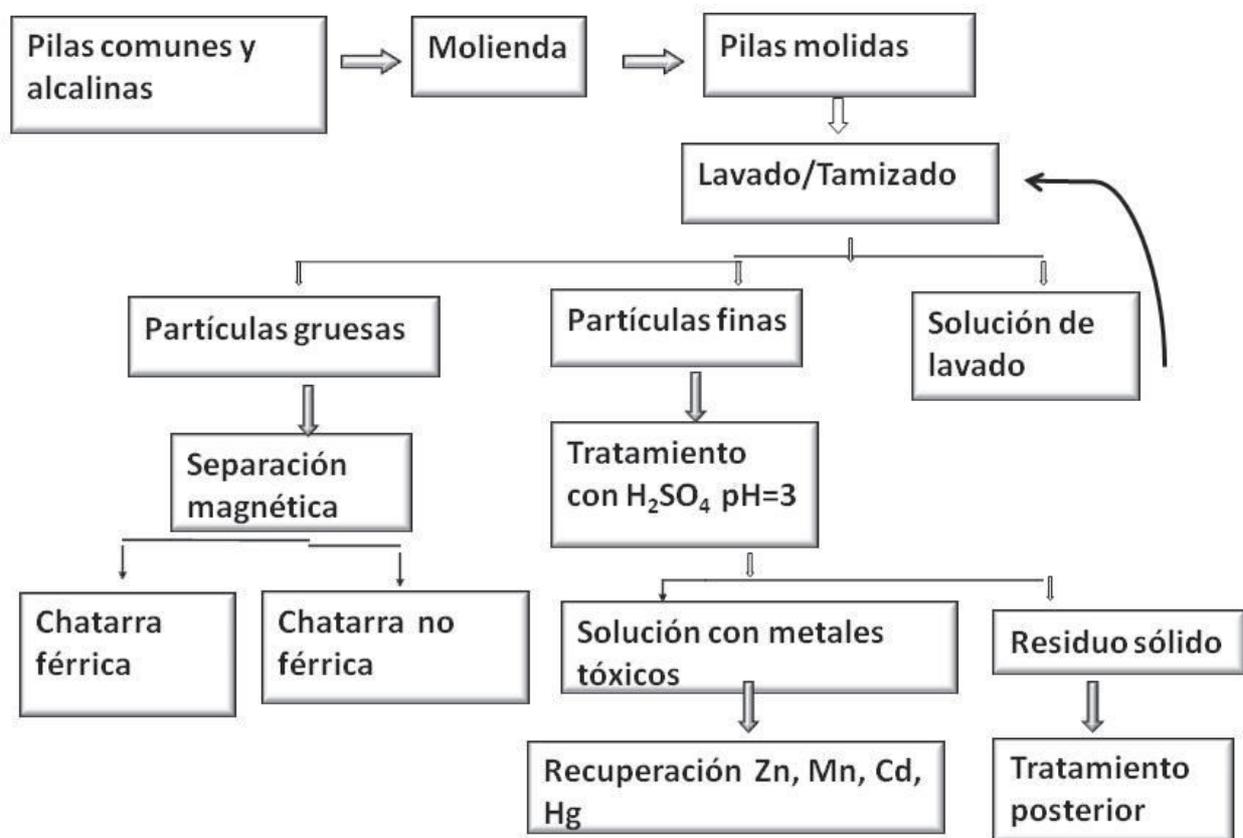


Figura 2.2. Esquema de tratamiento inicial de residuos de pilas

2.5.3. Situación en Montevideo

La IM (Intendencia de Montevideo) construye bloques de cemento con las pilas y allí se fijan los metales. El 5 de junio de 1995, Día Mundial del Medio Ambiente, la IM, a través del Departamento de Desarrollo Ambiental, lanzó una campaña de recolección de pilas llamada "Montevideo, te quiero pila". A partir de ahí, la IM, a través del Grupo de Educación Ambiental, se encargó, con la colaboración de los vecinos, de recoger las pilas usadas de los llamados "comepilas" instalados en quioscos, escuelas, colegios y liceos tanto públicos como privados, centros comunales, oficinas públicas y en locales comerciales de varios puntos de la capital. Posteriormente estas pilas son almacenadas en tanques de fibrocemento, de 1.000 litros, que una vez completos se sellan con hormigón y se ubican en un galpón en la usina nº 5. Con ello se intenta preservar estos desechos de la intemperie y prevenir la contaminación por

eventuales filtraciones líquidas. Hoy en día son varios los departamentos que recolectan las pilas y las aíslan del ambiente a través de tanques de fibrocementos. Desde la Intendencia de Montevideo no se promueve más la práctica de recolección de las pilas a través de una campaña especial pero se reciben lo proveniente de algunos “comepilas” dispuestos en la ciudad. También reciben pilas y baterías provenientes de alguna campaña especial realizada por parte del sector privado.

2.5.4. ¿Qué podemos hacer?

- * Preferir aparatos que pueden conectarse a la red eléctrica en vez de aquellos que funcionan a pila. Las pilas son productos que, además de contaminantes, son deficientes energéticamente: se gasta más en fabricarlas que lo que entregan en su vida útil.
- * Usar aparatos que admitan pilas recargables. Estas duran muchos años y así reducimos el volumen de pilas que tiramos y el volumen de residuos. Optar por las de Níquel-hidruro metálico, que no contienen cadmio.
- * Si se va a comprar pilas alcalinas de larga duración, que sea las que tengan un máximo de 0.025% de mercurio.
- * No arrojar las pilas junto con la basura común. Averiguar dónde están ubicados los lugares de recolección de pilas usadas. Saber cuál es el "comepilas" que está más cerca de nuestra casa para depositarlas.
- * Colaborar difundiendo información al respecto del descarte de pilas.

2.6. Proyecciones en el ámbito educativo

Si bien se suele señalar que el mayor obstáculo para desarrollar las diferentes fases del proceso de reciclaje está en poder contar con maquinaria adecuada e infraestructura necesaria, esto constituye apenas una parte del problema, ya que el mayor impedimento está en el grado de concientización de la población en los cuidados con el ambiente.

La acción de reciclar implica un esfuerzo colectivo que comienza en el hogar y se extiende a los diferentes ámbitos del quehacer cotidiano, centros educativos, lugares de trabajo y espacios públicos. Para cambiar hábitos y rutinas de la población en general, hay que fomentar hábitos de consumo ecológicamente correctos, acompañado de las formas adecuadas de desecho. Es preciso repensar los eslabones que constituyen la cadena: comprar-consumir-desechar, y los factores que inciden en el ensamble de cada uno de ellos, para fomentar y construir una cultura favorable al proceso de reciclaje.

Es necesario orientar a la población sobre los procedimientos y actitudes personales, que contribuyen al cuidado del medio ambiente, y presentar el reciclaje como una actividad insoslayable para el desarrollo sustentable.

Para ello, la educación ambiental debería ampliar su campo de acción en los diferentes ámbitos del quehacer educativo, y enfocarse en la valoración de los recursos naturales y en la construcción de acciones responsables para su aprovechamiento, de forma de evitar el uso inapropiado, lo que incide perjudicialmente en las condiciones ambientales del planeta.

Las deficiencias observadas en el ámbito de la educación ambiental se constituyen en obstáculos cuando se quiere impulsar un proceso de reciclaje.

Es preciso lograr cambios profundos en los hábitos de la población para consolidar una cultura que propicie acciones tendientes al reciclaje, y éstos deben comenzar en el ámbito educativo. En cada centro educativo, formal como informal, público o privado, se debe asumir el compromiso de educar en acciones responsables con el cuidado del ambiente.

Es imperiosa la construcción de rutinas en la vida cotidiana para que cada individuo asuma actitudes responsables. Esta tarea debe comenzar por la separación de los materiales de desechos; para ello, es necesaria la instalación de recipientes adecuados en los espacios públicos, así como también la recolección selectiva de los residuos. Lo anterior, se constituye en el factor clave que permite el desenvolvimiento de cualquier acción tendiente al proceso de reciclaje de residuos sólidos.

2.7. Acciones estratégicas a emprender

Al pensar en desarrollo sostenible es necesario focalizar la mirada en la educación ambiental como eje vertebrador de las acciones educativas. Si bien en los diferentes tramos de la educación obligatoria no existe la asignatura como tal, esto no representaría un obstáculo si los educadores potenciaran la temática en cuestión. Una acción estratégica a emprender, podría ser visualizar en la currícula actual las diferentes temáticas disciplinares que pueden vincularse a la educación ambiental y a la construcción de una ciudadanía responsable. Para lograr una cultura ambiental, es necesaria una mayor concientización de la población en general a través de acciones formativas de carácter continuo, que posibiliten la transformación de hábitos y rutinas que no contribuyen a la sustentabilidad del planeta.

Las acciones estratégicas de carácter pragmático no pueden pensarse en solitario; para que los logros sean significativos deben consolidarse con el compromiso de todos los actores involucrados. Una campaña de reciclaje, por ejemplo, necesita de una colecta selectiva y ésta a su vez de una clasificación de desechos. En estas acciones, están involucrados los gestores municipales, la población en general, los agentes de recolección, las empresas que procesan y comercializan los residuos valorizados en el mercado, etc. En el marco de este tipo de acciones es donde cobran relevancia las actividades emprendidas en los centros educativos, porque forman y constituyen un modelo a seguir.

2.8. Algunos posibles puntos de inserción del tema reciclaje

En primer lugar, retomando lo que se propone en párrafos anteriores sobre educación ambiental, es pertinente aclarar que, si bien a continuación se mencionarán ejemplos vinculados a la enseñanza de la Química, el enfoque para el abordaje debe ser transversal a la currícula e involucrar simultáneamente a todas las disciplinas vinculadas a la formación en cuestión, sea ésta correspondiente a nivel medio o terciario.

Por ejemplo, en los programas de Química de educación media, se trabajan temas como: energía, combustibles renovables y no renovables (primer año de Bachillerato); procesos redox (segundo año de Bachillerato); sistema periódico (tercer año del Ciclo Básico y segundo año de Bachillerato). En estos casos, es posible abordar temáticas referidas a diferentes procesos de reciclaje, como los expresados en este trabajo: reciclaje de aluminio, plásticos y pilas. Si el enfoque es transversal, los estudiantes podrán visualizar la temática de forma conjunta, atendiendo aspectos disciplinares, sociales, históricos, políticos y económicos. Esta multiplicidad de miradas en torno al tema ambiental resulta favorable a la comprensión del mismo.

Una de las metodologías que ha adquirido amplia difusión, en la enseñanza obligatoria así como también a nivel terciario, es la metodología de proyectos, tendiente a lograr mayor involucramiento del individuo en su proceso de formación.

El trabajo en la modalidad de proyectos, representa un campo fértil para la educación ambiental en general y particularmente favorable para afianzar los procesos de reciclaje.

El alcance del proyecto es variable, puede tener sus límites en el salón de clase, trascenderlo y proyectarse a la institución o inclusive alcanzar la zona más próxima o la región; esto depende del grado de iniciativa y capacidad para emprender desafíos de los involucrados.

2.9. Hacia un plan de gestión de residuos en los institutos educativos

A continuación, a modo de ejemplo se presenta cómo elaborar un plan de gestión de residuos desde el centro educativo. Para ello se plantean las siguientes etapas:

- * Planteo del problema.
- * Tareas previas a la planificación.
- * Planificación del trabajo de campo.
- * Trabajo de campo.
- * Evaluación de la campaña.

- * Documentación de la tarea realizada.
- * Re planificación

2.9.1. Planteo del problema

El planteo del problema debe realizarse desde la realidad de cada Institución, y por actores que conozcan la zona y las posibilidades que brinda. Este planteo inicial debe de ser acompañado de un programa educativo de cuidado del medio ambiente y reciclaje.

2.9.2. Tareas previas a la planificación

Para poder armar un marco conceptual es útil realizar antes un estudio de la situación inicial del centro y la comunidad. El planteo de una encuesta sobre interés en reciclar a los integrantes del Instituto y su familia, puede arrojar resultados esclarecedores.

2.9.3. Planificación del trabajo de campo

Una de las primeras elecciones que debe hacerse para planificar el trabajo de campo, es seleccionar el o los grupos de materiales a recoger selectivamente. Para ello es útil analizar qué residuos se producen en mayor cantidad en el centro, y la viabilidad de vender dichos residuos o que alguna otra institución se encargue de recogerlos para su posterior reciclado.

A partir de los resultados de la encuesta se pueden conformar los grupos de trabajo. Se deben implementar las acciones a seguir. Esto implica varias etapas:

- * Forma de recolección.
- * Necesidad de preselección o postselección.
- * Destino del material recogido (venta, donación).
- * Concientización de comprar materiales provenientes del reciclado o reciclables.

2.9.4. Trabajo de campo

Luego de diseñada la estrategia a seguir se debe implementar y llevar a cabo la/las acciones. Para ello es bueno indicar bien las responsabilidades de cada uno de los actores y llevar planillas claras del registro de cada paso a seguir con la firma del encargado de supervisión.

2.9.5. Evaluación de la campaña

Luego de un período predeterminado, se debe evaluar la campaña por el equipo de supervisión y realizar, si es necesario, las acciones correctivas.

2.9.6. Documentación de la tarea realizada

Toda la tarea realizada debe de ser documentada y guardada para generar los antecedentes necesarios en el tema.

2.9.7. Re planificación

Luego de un período de por lo menos 6 meses se debe evaluar la campaña desde diferentes aspectos. En especial, se debe evaluar si el programa desarrollado implicó la adquisición del hábito de reciclar, y el reconocimiento de la importancia y necesidad del reciclaje como parte de la vida cotidiana. Se deben tomar las medidas necesarias para corregir posibles errores encontrados.

2.10.A modo de cierre

El presente trabajo ha buscado profundizar en algunos procesos de reciclaje para evidenciar los aspectos involucrados con la enseñanza de la Química, así como también diferentes posibilidades para contextualizar los contenidos disciplinares.

Asimismo deja entrever que el reciclaje es una tarea pendiente; lo que se hace al respecto es aún insuficiente, alcanza con analizar cómo se eliminan y cómo se recogen los residuos domiciliarios.

También es importante destacar cómo los aspectos económicos vinculados a los procesos de reciclaje determinan el desarrollo de actividades industriales lucrativas. Sin embargo, los cambios necesarios para acompañar el crecimiento de esta actividad económica rentable se observan muy lentos, debido a que la optimización de la misma depende del esfuerzo de cada ciudadano y de voluntades políticas para una gestión eficiente.

En la situación actual, los docentes, como agentes sociales de cambio, deberíamos asumir el compromiso de la educación ambiental independientemente de la currícula que nos compete.

2.11. Bibliografía

- 1) Joa Rodriguez, J. (2009) *El reciclaje. Principio, fin y resurrección de los materiales.*: Ed., Científico- Técnica, La Habana.
- 2) Ley N° 17.283 (s.f.) Recuperado Septiembre 10, 2011, a partir de <http://www.iau.gub.uy/marcolegal/Ley17283-proteccionMedioAmb.pdf>
- 3) Instituto Internacional aluminio, (IAL) (s.f.) Recuperado Septiembre 10, 2011, a partir de <http://www.world-aluminium.org>
- 4) Sampaio, J. A., Andrade, M.C., Dutra, A.J.B. "Bauxita". En: Luz. A. B.; Sampaio, J. A.; Almeida, S. L., 2005. *Rochas e minerais industriais*. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral.