## **Parte IV**

# El Medio Ambiente en la Enseñanza de la Física y la Química

### ASPECTOS DIDÁCTICOS DE LA ELECTROQUÍMICA EN RELACIÓN CON EL MEDIO AMBIENTE

Mª. Ángeles de la Plaza, Mª Cruz Izquierdo, Fernando Peral, Mª. Dolores Troitiño

Departamento de Ciencias y Técnicas Fisicoquímicas, Universidad Nacional de Educación a Distancia, Paseo Senda del Rey 9, 28040 Madrid mplaza@ccia.uned.es, mizquierdo@ccia.uned.es, fperal@ccia.uned.es, mtroitino@ccia.uned.es

Se discuten algunos aspectos de la enseñanza de la Electroquímica, destacando su carácter interdisciplinar entre la Física y la Química, sus numerosas aplicaciones prácticas en la vida cotidiana y su proyección en el desarrollo de nuevas fuentes de energía y procesos industriales respetuosos con el medio ambiente.

### 1. INTRODUCCIÓN

El tema de esta comunicación ha sido elegido por considerar que en él se integran varios aspectos didácticos que estimamos de gran interés (10), tales como la interrelación de la Física y la Química, la introducción de nuevos contenidos recomendados por la Asociación Nacional de Químicos de España y otros organismos para la enseñanza de estas materias en educación secundaria (20), la motivación de los alumnos de distintos niveles educativos en relación con el medio ambiente y la vida cotidiana, y el reto que supone la utilización creciente de nuevas fuentes alternativas de energía con las que las nuevas generaciones deberán estar cada vez más familiarizadas. Sin olvidar la figura del profesor, que debe promover una formación que evite que se produzca una separación cada vez mayor entre la Ciencia que se explica en el aula y la Ciencia presente en la vida cotidiana.

### 2. CARÁCTER INTERDISCIPLINAR DE LA ELECTROOUÍMICA

La Electroquímica forma parte de la vida cotidiana cada vez en mayor medida y sus aplicaciones abarcan hoy en día numerosos campos no imaginados por los antiguos estudiosos de esta disciplina, que nació en la frontera entre la Física y la Química y que actualmente forma parte del área de conocimiento de la Química Física. Se puede afirmar, de forma muy general, que la Electroquímica se ocupa del modo en el que la *electricidad* produce cambios químicos y de cómo, a su vez, dichos cambios pueden dar lugar a la producción de energía eléctrica. Esta interacción constituye la base de una gran cantidad de hechos que abarcan desde problemas básicos asociados a la conversión y almacenamiento de energía, hasta la interpretación de muchos fenómenos biológicos, pasando por el estudio de la corrosión, el diseño de métodos para el análisis y eliminación de contaminantes o el estudio de procesos de alta repercusión tecnológica y económica que condicionan nuestra vida.

La transferencia de electrones de una molécula a otra constituye uno de los procesos básicos en el desarrollo de la vida y por ello es obvia su implicación en cualquier proceso de tipo biológico que ocurra en lo que, en términos genéricos, conocemos como medio ambiente. En muchos casos, esta transferencia de electrones puede realizarse sobre una superficie electrificada o electrodo, lo que abre unas amplias perspectivas en el uso de las reacciones electródicas para el tratamiento o destrucción de sustancias contaminantes.

### 3. INCIDENCIA DE LA ELECTROQUÍMICA EN EL MEDIO AMBIENTE

La búsqueda de alternativas para mejorar el medio ambiente es urgente. El deterioro, voluntario o involuntario, de nuestro entorno ha ido creciendo hasta el punto en que la salud de las personas y la integridad de los ecosistemas se están viendo seriamente amenazadas.

Desde las últimas décadas del pasado siglo, la sociedad se ha convencido de que el medio ambiente debe ser protegido, lo que ha llevado a los Estados a dotarse de una legislación más restrictiva para regular las emisiones a la atmósfera, las descargas de contaminantes en las aguas y el abandono de sólidos en la superficie. No podemos dejar de mencionar que el 16 de febrero de este año ha entrado en vigor el protocolo de Kioto. Su objetivo es reducir las emisiones de *efecto invernadero* que causan el cambio climático. Pese a que Estados Unidos, el principal emisor, rechaza incorporarse al protocolo, 30 países industrializados, entre ellos España, se han comprometido a recortar sus emisiones hasta lograr una bajada del 5,2% respecto a 1990. Por tanto, es urgente conseguir procesos químicos más limpios, para lo que se necesitan nuevas tecnologías que minimicen los daños en el medio ambiente.

Reflexionando un poco, es fácil percatarse de que la mayoría de las sustancias contaminantes del medio ambiente son susceptibles de sufrir reacciones de reducción o de oxidación. Muchos compuestos orgánicos tóxicos pueden ser oxidados (incluso hasta CO<sub>2</sub>) con lo que pierden su toxicidad. También algunos compuestos inorgánicos, como por ejemplo los compuestos de cromo (VI), son sumamente tóxicos, mientras que en la forma de Cr (III) la toxicidad disminuye. Es decir, una simple transferencia de electrones cambia su estado de oxidación y con ello su geometría y su toxicidad.

Sobre esta base resulta muy conveniente instruir a los alumnos en que la tecnología electroquímica puede contribuir a mejorar, de distintas maneras, el medio ambiente (3,4) como se expresa de forma esquemática en la Figura 1, en la que se destacan los siguientes puntos:

- Generación de productos químicos. La electrólisis tiene diversas ventajas, como son: trabajar con gran selectividad y con un considerable ahorro energético; no emplear reactivos tóxicos ni peligrosos; evitar los efluentes difíciles; trabajar en condiciones, generalmente, mucho más suaves, y permitir obtener los productos químicos *in situ*, evitando un transporte que implica un peligro añadido.

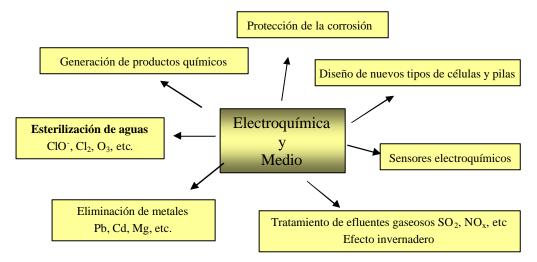


Figura 1. Contribuciones de la Electroquímica al Medio Ambiente.

- Generación de energía más limpia. Las pilas de combustible ofrecen una manera limpia de convertir combustible en energía. Esto representa una alternativa a los motores de explosión que funcionan con hidrocarburos, utilizados por automóviles, aviones, etc.
- *Mejora de la calidad del agua*. Existen procesos electroquímicos que permiten eliminar sales, bacterias e iones orgánicos y metálicos del agua.
- *Tratamiento de efluentes*. Se pueden utilizar distintos tipos de células y sistemas, para eliminar iones metálicos, tales como los presentes en los vertidos.
- *Mejora de la atmósfera*. Por ejemplo, para la eliminación de gases ácidos de la descarga de residuos gaseosos a través de las chimeneas o de compuestos orgánicos en la atmósfera.
- Sensores. Los dispositivos electroquímicos son especialmente apropiados para monitorizar y analizar los vertidos industriales y urbanos
- *Protección de la corrosión*. La corrosión es la destrucción de los metales por la oxidación debida a un medio agresivo, por lo que debe extremarse su prevención.

### 4. VENTAJAS DE LA ELECTROQUÍMICA

La Electroquímica ofrece una serie de beneficios que, en muchos casos, posibilitan procesos no contaminantes. En estos procesos se minimiza la cantidad de desechos emitidos al medio ambiente con el diseño de pasos en donde, tanto la cantidad de subproductos, como el consumo de materias primas y de energía, sean los mínimos. En este contexto, las principales ventajas que ofrece la Electroquímica son:

• *Compatibilidad con el medio ambiente*. El principal reactivo usado en la Electroquímica es el electrón, el cual, en sí mismo, es un reactivo limpio.

- *Eficiencia termodinámica*. Los procesos electroquímicos tienen, en general, altas eficiencias termodinámicas, por lo que sus requisitos energéticos son, en muchos casos, menores que en otros procesos.
- *Costo*. De entre los reductores que se utilizan normalmente, los electrones tienen el menor costo por unidad de carga. Asimismo, los reactores electroquímicos requieren, normalmente, pocas (ó ninguna) partes en movimiento, por lo que suelen ser mecánicamente simples y su mantenimiento resulta relativamente sencillo.
- *Versatilidad.* Los reactores electroquímicos pueden usarse para llevar a cabo oxidaciones, reducciones, tratar líquidos contaminados, gases (previamente disueltos) y suelos. Sirven también para producir sustancias desinfectantes, como cloro, dióxido de cloro, ozono o peróxido de hidrógeno.
- Facilidad de automatización. Las principales variables manejadas en los reactores electroquímicos son la intensidad de corriente y el voltaje, las cuales son ideales para la automatización y el control de los procesos.
- Condiciones ventajosas. A diferencia de otras técnicas (como por ejemplo la incineración o la oxidación húmeda), las condiciones requeridas en los reactores electroquímicos son, generalmente, cercanas a las del ambiente, con el consiguiente ahorro energético y sencillez de diseño y construcción.
- Selectividad. La combinación adecuada de condiciones experimentales y de los materiales de los electrodos, membranas, potencial y corriente, pueden producir procesos sumamente selectivos, en donde se evita desperdiciar energía así como subproductos que, además de indeseables, obligan a etapas de separación costosas.

### 5. INCONVENIENTES DEL USO DE LA ELECTROQUÍMICA

Pese a sus ventajas evidentes, también existe una serie de inconvenientes a vencer para optimizar el uso de los procesos electroquímicos en los casos anteriores. Por ejemplo:

- En muchos casos, los materiales electródicos se pueden erosionar, formar complejos, oxidar, desgastar o inactivar durante el trabajo.
- Dado que la mayor parte de las reacciones se realizan en medios acuosos, las reacciones de reducción y oxidación del agua son, generalmente, difíciles de evitar, por lo que se origina una pérdida de eficiencia energética.
- Los gases producidos por esta descomposición electrolítica del agua (hidrógeno y oxígeno) pueden formar mezclas explosivas que es necesario evitar.
- Hay que asumir costes adicionales debidos a la electricidad en sí misma, a las inversiones iniciales y a los metales nobles utilizados en los materiales más selectivos y resistentes.

A continuación resaltaremos, únicamente, algunos de los distintos apartados reseñados en la Figura 1, porque consideramos que, desde el punto de vista didáctico, son los más apropiadas para los diversos niveles de enseñanza de la Química y para nuevas licenciaturas tales como la de Ciencias Ambientales. La mayoría de estos

temas se basan en conocimientos que son fácilmente comprensibles por los alumnos, como son: diferencias entre conductores electrónicos y electrolíticos, leyes de Faraday, diferencias entre pila galvánica y célula electrolítica, reacciones redox, ecuación de Nernst, potenciales de electrodo, convenios para el signo de potencial de un electrodo, electrodo de referencia, corrosión, y realización de pilas y acumula dores.

### 6. ASPECTOS DIDÁCTICOS DE LAS PILAS Y BATERÍAS

El almacenamiento económico y eficiente de la energía eléctrica sigue siendo un gran reto científico. Cualquier avance en esta área repercutirá en los siguientes logros:

- Disminución de pérdidas de energía.
- Impulso a las energías renovables.
- Reducción de la producción de CO<sub>2</sub>.
- Menor dependencia de los combustibles fósiles.
- Desarrollo de vehículos eléctricos.
- Desarrollo de la producción descentralizada de energía.

Las pilas y baterías representan una de las formas más importantes de almacenar electricidad y como tales forman parte de contenidos esenciales en la didáctica de la Electroquímica en los diferentes niveles educativos. En este sentido, podrían considerarse como objetivos básicos de aprendizaje los siguientes:

- Clasificar las pilas en primarias y secundarias.
- Reconocer que las pilas primarias están basadas en una reacción química irreversible y no son recargables, y proponer ejemplos de la vida cotidiana.
- Reconocer que las pilas secundarias utilizan una reacción química reversible y son recargables, y proponer ejemplos de la vida cotidiana.
- Definir un acumulador o batería como cualquier elemento productor de energía eléctrica basado en una o varias pilas secundarias.

Otros objetivos educativos más directamente relacionados con el medio ambiente podrían ser:

- Comprender los costos del reciclado para la recuperación de los componentes metálicos.
- Reconocer que, en muchos casos, resulta más rentable económicamente el depósito en un vertedero de seguridad que el reciclado, aunque ello implique dejar una mala herencia para nuestros descendientes.

### 7. ASPECTOS DIDÁCTICOS DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

En este tipo de pilas, la electricidad se obtiene mediante una reacción de oxidación electroquímica entre un combustible y el oxígeno, sin que se queme dicho combustible. Su principal característica es que constituyen una fuente de energía limpia, y prácticamente inagotable, mientras sean alimentadas con combustible. Como consecuencia, se asemejan más a un motor que a una batería y son capaces de producir

energía durante un periodo de tiempo más prolongado. La enseñanza de sus principales características puede basarse en los objetivos siguientes:

- Conocer el dispositivo básico, formado por dos electrodos separados por un electrolito que permite el paso de los iones pero no de los electrones.
- Identificar el electrodo negativo o ánodo como lugar de oxidación del combustible (normalmente H₂, aunque puede ser también metanol, gas natural, CO, hidracina y alcoholes), y el electrodo positivo o cátodo como lugar de reducción del oxígeno del aire.
- Reconocer que las claves del futuro industrial de las pilas de combustión son la producción, almacenaje y transporte del hidrógeno, que previsiblemente sentarán las bases de una nueva economía en sustitución del petróleo (5).
- Discutir los problemas relacionados con la producción del hidrógeno y conocer que las fuentes posibles por ahora son: el procedimiento basado en el gas de agua, el reformado del gas natural y de la gasolina, y la producción electrolítica preferentemente llevada a cabo en grandes centrales hidroeléctricas.

En lo posible, sería interesante recurrir a equipos didácticos de demostración y estudio de la tecnología de las pilas de combustible para alumnos de enseñanza secundaria y universitaria, como los que están comercializados en nuestro país (6).

Una de las aplicaciones más novedosas de estas pilas, y que puede ser de especial interés para los alumnos, es el desarrollo de los *vehículos eléctricos*, como una alternativa eficiente a los motores de combustión. En relación con este tema pueden proponerse los siguientes objetivos didácticos:

- Establecer los efectos beneficiosos que puede tener en nuestras ciudades el cambio paulatino de coches con motores de combustión interna por coches de motor eléctrico alimentados por pilas de combustible (7).
- Conocer que en todos los países industrializados se están llevando a cabo esfuerzos de financiación para la producción y suministro de hidrógeno para automoción, por ejemplo con destino a autobuses no contaminantes.

### 8. ASPECTOS DIDÁCTICOS DE LOS SENSORES APLICADOS PARA MEJORAR EL MEDIO AMBIENTE

El propósito de un sensor químico es suministrar, en tiempo real, información fidedigna acerca, en este caso, de la composición química del medio ambiente (8). Para la enseñanza de este tema podemos centrar la atención en los siguientes aspectos:

- Hacer hincapié en que la nariz, la lengua, los ojos, los oídos y los dedos son nuestros sensores a imitar.
- Indicar que el papel de pH usado en el laboratorio actúa como un sensor que cambia de color por la presencia o ausencia de un ácido. También actúa como un sensor el pH-metro, que es un dispositivo electroquímico que mide la acidez mediante una respuesta eléctrica que se puede leer, bien por el movimiento de una aguja sobre una escala o por una lectura digital.

- Mostrar que la evolución de los sistemas electrónicos ha permitido importantes avances en el desarrollo e imitación de los sentidos.
- Explicar cómo funciona una nariz electrónica y cómo puede detectar olores y vapores.
- Resaltar, entre otras importantes aplicaciones, el control de olores en vehículos, trenes, autobuses, aviones, edificios, fábricas, etc., que constituye un buen sistema de detección de fugas de gases tóxicos y una importante ayuda para mantener limpio el medio ambiente.

### 9. ASPECTOS DIDÁCTICOS DE LA PROTECCIÓN DE LA CORROSIÓN

El último punto a tratar es la corrosión, de gran importancia tanto en el ámbito científico como en el económico. Es además un tema que a los alumnos les resulta muy interesante, ya que lo ven amenudo a su alrededor, como en los barrotes de una barandilla, en los coches, en las verjas y puertas metálicas de un jardín, etc. Aquí propondríamos los siguiente objetivos didácticos:

- Concienciar al alumno de la importancia que tiene la corrosión en relación con el medio ambiente.
- Resaltar que la corrosión es la destrucción de un material por el efecto de la interacción con el medio ambiente y que, en el caso de los metales, es debido a la acción electroquímica del medio sobre ellos.
- Conocer los diferentes métodos para proteger los metales de la corrosión como son las técnicas de anodizado, el uso de pinturas anticorrosivas, la protección catódica, el ánodo de sacrificio, etc., pero resaltando que el mejor método anticorrosivo es cuidar el medio ambiente para que no sea agresivo con los materiales (9).

De todo lo expuesto anteriormente podemos concluir que lo más importante es concienciar al alumno de la incidencia que la Ciencia y la Tecnología y, en particular, la Electroquímica tienen en la vida actual. Y esto es labor del profesorado. Hoy más que nunca es necesario dar a los alumnos una formación científica y tecnológica adecuada que les proporcione conocimientos para intervenir con criterio frente a los problemas a los que se enfrenta la sociedad actual.

### **REFERENCIAS**

- 1. M. C. Izquierdo, F. Peral, M. A. de la Plaza, M. D. Troitiño, *La Electroquímica y el medio ambiente*, UNED, Madrid (2001), y la pagina web <a href="http://www.uned.es/pea-electroquimica-y-medio-ambiente/">http://www.uned.es/pea-electroquimica-y-medio-ambiente/</a>
- 2. La Enseñanza de la Física y la Química en Educación Secundaria, *Química e Industria*, **2004**, 539.
- 3. M. E. Sastre de Vicente (coord.), *Electroquímica y Medio ambiente en el umbral del siglo XXI*, Universidad de A Coruña (1994).
- 4. J. González-García, V. García, J. Iniesta, V. Montiel y A. Aldaz, *Química e Industria*, **2001**, 557 y 625.

- 5. J. Rifkin, La economía del hidrógeno, Ed. Paidós, Madrid (2002).
- 6. Heliocentris, Fuel cell technology for middle and secondary schools, representada por Ventus Ciencia Experimental, Madrid (2003).
- 7. J. F. Fullea, F. T. López, J. C. Amasorrain, M. Sanzberro, *El vehículo eléctrico*, Ed. McGraw-Hill, Madrid (1997).
- 8. A. M. Hayka, M. del Valle, S. Alegret, *Sensores Electroquímicos*, Universidad Autónoma de Barcelona (2004).
- 9. E. Otero, Corrosión y degradación de materiales, Ed. Síntesis, Madrid (2001).

### RECICLADO DE LOS ACUMULADORES DE PLOMO: UN EJEMPLO DE INTERACCIÓN POSITIVA ENTRE LA QUÍMICA Y EL MEDIO AMBIENTE

Idoia Ruiz de Larramendi<sup>1</sup>, José Ignacio Ruiz de Larramendi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Química Inorgánica, Facultad de Ciencia y Tecnología Universidad del País Vasco, Bº Sarriena s/n, 48940 Leioa, Bizkaia. qibruvii@lg.ehu.es

<sup>2</sup> Departamento de Química Inorgánica, Facultad de Farmacia
Universidad del País Vasco, Paseo de la Universidad nº 7, 01006 Vitoria-Gasteiz qipruloj@vf.ehu.es

La vida útil estimada de un acumulador de automóvil está en torno a los seis años y cada año se destinan más de cinco millones de toneladas de Pb en su fabricación. Una concentración de  $1\,\mathrm{mm}^3$  de Pb en el aire produce una concentración entre  $1\,\mathrm{y}\,2\,\mathrm{mg}\cdot\mathrm{dl}^{-1}$  en el torrente sanguíneo de las personas. Teniendo en cuenta estos datos, con el reciclado de los acumuladores se colabora de manera excelente en la mejora de la calidad de vida y se contribuye al desarrollo sostenible.

### 1. INTRODUCCIÓN

El proceso de reciclado es un elemento esencial del desarrollo sostenible y posibilita una utilización racional de recursos naturales escasos, o que pudieran escasear, como el Pb (1). El proceso de reciclado presenta grandes ventajas:

- Mayor duración de los recursos naturales. Los recursos naturales son finitos y este límite está relacionado con su ritmo de utilización. De ahí que los procesos de reciclado aumenten la duración de los yacimientos. En el caso de los acumuladores de Pb las cifras son relevantes:

| Tabla 1. Producción estimada de acumuladores de Pb para automóviles (1999). |
|---|
|---|

| País         | Producción (x 10 <sup>6</sup> ) | % del total |
|--------------|---------------------------------|-------------|
| EE.UU.       | 117                             | 40.3        |
| Europa       | 87                              | 30.0        |
| Japón        | 36.2                            | 12.5        |
| Otros Países | 49.8                            | 17.2        |
| Total        | 290                             | 100         |

- *Menor costo*. La utilización de materiales de segunda fusión permite gastar menos, ya que los procesos son más baratos que los de recuperación de minerales primarios y disminuye la producción de desechos, especialmente los de extracción primaria.

- *Conservación de la energía*. Los procesos de reciclado permiten la producción de metales con apenas un 25% de la energía utilizada en los procesos primarios.

Además de estos aspectos, comunes a todos los procesos de reciclado de metales, en el caso del Pb hay otros factores importantes que hacen que su reciclado sea aún más aconsejable a los efectos de la protección del medio ambiente: toxicidad para el medio ambiente y la salud humana (2), facilidad para su reciclado por su bajo punto de fusión, y un gran mercado (tabla 1).

### 2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS ACUMULADORES DE PLOMO

Un acumulador eléctrico está constituido por un electrolito, un elemento y un contenedor que permite almacenar la energía eléctrica en forma de energía química y liberarla cuando se conecta con un circuito de consumo externo.

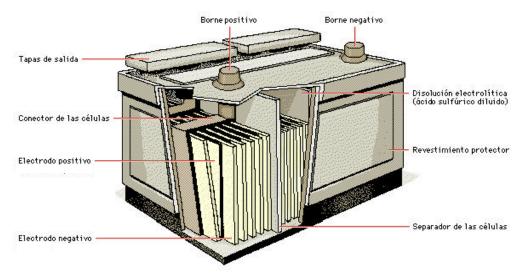


Figura 1. Componentes y estructura interna de los acumuladores de plomo.

Un acumulador de Pb típico consta de los siguientes elementos:

- Bornes positivo y negativo: Son de Pb, y es el lugar en que se conectan los dispositivos de consumo de electricidad externa.
- *Tapones*: Uno por cada elemento de acumulador, cierran el lugar donde se reemplaza el agua destilada o desionizada siempre que sea necesario. También constituyen una vía de escape para los gases que puedan formarse en las celdas.
- *Conectores*: Están hechos de Pb. Efectúa el contacto eléctrico entre placas de igual polaridad y también entre elementos separados.
- *Tapas de salida y revestimiento protector:* Hasta hace unos años se fabricaban de ebonita, en la actualidad son de polipropileno o de un copolímero.
  - Solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Es el electrolito del acumulador.

- Separadores de elementos: Generalmente forman parte de la caja y están hechos del mismo material. Proporcionan aislamiento químico y eléctrico entre los elementos. Se conectan en serie para aumentar el voltaje final del acumulador.
- Separadores de placas: Están hechos de PVC u otro material poroso. Evitan el contacto físico entre dos placas contiguas, pero al mismo tiempo permiten el libre desplazamiento de los iones en la solución del electrolito.
- *Placas negativas*: Están formadas por una rejilla de Pb recubierta por una pasta de PbO<sub>2</sub>.
  - Placas positivas: Están constituidas por placas de Pb.
- *Elemento del acumulador:* Es una serie de placas negativas y positivas colocadas consecutivamente y aisladas entre sí por separadores de placas. Las placas de igual polaridad están conectadas eléctricamente.

Las placas del acumulador se fabrican en Pb que puede contener también otros elementos químicos, como Sb, As, Bi, Cd, Cu, Ca, Ag, Sn u otros. En el proceso de fabricación de las placas también se utiliza material inerte, como BaSO<sub>4</sub>, negro de humo y lignina que se añaden para prevenir la contracción de la placa.

Un elemento estándar del acumulador tiene entre 13 y 15 placas y puede producir 2 V de gran amperaje. Un acumulador tipo de automóvil tiene seis elementos en serie que producen (2 V x 6 elementos) 12 V.

Cuando un acumulador suministra energía eléctrica a un dispositivo externo se producen simultáneamente distintas reacciones químicas. En las placas positivas (cátodo) se produce una semirreacción reductora cuando el PbO<sub>2</sub> se convierte en PbSO<sub>4</sub>. Por otra parte, en las placas negativas (ánodo) tiene lugar una semirreacción de oxidación y el Pb se convierte en PbSO<sub>4</sub>. El electrolito, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, aporta los iones SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> para ambas semirreacciones y actúa como puente químico entre ellas. A cada e generado en el ánodo corresponde un electrón consumido en el cátodo:

### 3. RECICLADO DE LOS COMPONENTES INORGÁNICOS

Podemos distinguir tres procesos principales:

- Apertura de los acumuladores.
- Reducción del plomo.
- Refino o purificación del plomo.

### 3.1. Apertura del acumulador

Es imprescindible drenar los acumuladores antes de que entren en el proceso de reciclado, ya que el electrolito ácido crea algunas complicaciones en el proceso de fusión-reducción del Pb.

Los acumuladores se deben abrir antes del reciclado porque:

- aumenta el porcentaje de producción de Pb y disminuyen las escorias,
- se puede producir Pb blando (con bajo contenido en Sb o sin As), así como Pb con Sb,
  - cabe la posibilidad de recuperar polipropileno, y
  - se simplifica el tratamiento de los gases del horno.

En el proceso moderno de apertura de acumuladores, el contacto humano se reduce al mínimo posible (3); los acumuladores se reciben en la planta de reciclado y por medio de cintas transportadoras se llevan a la trituradora de martillo u otros mecanismos de trituración que los dividen en pequeños trozos.

A continuación, los óxidos y sulfatos de Pb se separan hidráulicamente de los demás materiales gracias a un sistema de cedazos de movimiento variable.

Después de estas etapas de separación, la capa orgánica vuelve a separarse en desechos de polipropileno (desechos orgánicos ligeros) y en separadores y ebonita (desechos orgánicos pesados). Los compuestos de Pb y las partes metálicas se introducen en el horno (proceso continuo) o se almacenan a la espera de su posterior procesamiento.

### 3.2. Reducción del plomo

La chatarra obtenida a partir del proceso de apertura de los acumuladores consiste en una mezcla de varias sustancias: Pb, PbO, PbSO<sub>4</sub>, y otros metales, como Ca, Cu, Sb, As, Sn y, en ocasiones Ag. Para aislar el Pb de esa mezcla se aplican dos métodos: métodos pirometalúrgicos, y métodos hidrometalúrgicos.

### 3.2.1. Métodos pirometalúrgicos

Consisten en reducir todos los compuestos de cationes metálicos a sus formas metálicas, mediante calentamiento y la adición de agentes fundentes y reductores.

Antes de la fundición se puede desulfurar la pasta de PbSO<sub>4</sub> adicionando una mezcla de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> e NaOH, dándose la reacción:

$$2 \text{ PbSO}_4(s) + \text{Na}_2\text{CO}_3(l) + 2 \text{ NaOH}(l) \longrightarrow 2 \text{ PbO}(s) + 2 \text{ Na}_2\text{SO}_4(l) + \text{CO}_2(g)$$

El agente desulfurante puede ser también el Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> o la piedra caliza (CaCO<sub>3</sub>):

$$3 \text{ PbSO}_4(s) + \text{Fe}_2\text{O}_3(s) \longrightarrow 3 \text{ PbO}(s) + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3(l)$$

$$2 \text{ PbSO}_4(s) + \text{CaCO}_3(s) \longrightarrow 2 \text{ PbO}(s) + \text{PbCO}_3(s) + 2 \text{ CaSO}_4(s) + \text{CO}_2(g)$$

El PbCO<sub>3</sub> tiene una gran tendencia a formar carbonatos básicos de composición variable con la concentración, la temperatura, etc. Este procedimiento reduce el volumen de formación de escoria y también, según el método de fundición utilizado, la cantidad de SO<sub>2</sub>(g) que se desprende a la atmósfera (4).

El electrolito ácido debe tratarse también antes de que su contenido en Pb sea enviado al horno de fundición, neutralizando la solución del electrolito con NaOH:

$$H_2SO_4(ac) + PbSQ(ac) + 4 NaOH(ac) \longrightarrow Pb(OH)_2(s) + 2 Na_2SO_4(ac) + 2 H_2O$$

Aunque el PbSO<sub>4</sub> es ligeramente soluble en  $H_2SO_4$ , una parte se puede encontrar precipitado (Kps =  $2,3\cdot10^{-8}$ ). En cualquier caso, el precipitado evolucionara al Pb(OH)<sub>2</sub> ya que es mucho más insoluble (Kps =  $2,5\cdot10^{-16}$ ). El Pb(OH)<sub>2</sub> se extrae por filtración o decantación y se envía al horno. La solución que queda, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(ac), se puede seguir purificando para finalmente aislar en grado de gran pureza.

La fracción metálica y los compuestos de Pb derivados de los procesos de desulfuración y neutralización pasan al horno y se funden con agentes fundentes (CaCO<sub>3</sub> o Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) y reductores (coque u otra fuente natural de carbón):

$$CO_2(g) + C(s) \rightleftharpoons 2 CO(g)$$

$$PbO(s) + CO(g) \xrightarrow{800-1000} Pb(l) + CO_2(g)$$

en tanto que el PbSO<sub>4</sub> se transforma en sulfuro:

$$PbSO_4(s) + 4 CO(g) \xrightarrow{800-1000 {}^{\circ}C} PbS(s) + 4 CO_2(g)$$

El PbS se separa del Pb fundido por orden de densidades (parte superior). Los agentes fundentes, que se derriten a una temperatura inferior a la de fusión de los compuestos de Pb, sirven no sólo para bajar la temperatura de fusión del Pb, sino también para aportar un solvente líquido que atrapa los compuestos indeseables durante los procesos de fundición y reducción (5). A medida que el fundente comienza a contaminarse con todo tipo de impurezas provenientes del proceso de fundición, comienza también la formación de escorias.

Si el fundente utilizado es el CaCO<sub>3</sub>, se forman escorias no lixiviables, lo que equivale a desechos más tolerables para el medio ambiente. La compactación de escorias supone controlar bien las etapas de fusión-reducción-refino o afino. Las escorias de sodio, provenientes de la utilización de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, no tiene uso alguno, dadas sus propiedades físicas y químicas, por lo que se elimina en vertederos de desechos peligrosos. Las escorias de calcio se utilizan como materia prima en la producción de cemento para la construcción de carreteras, la fabricación de ladrillos y otros usos, con resultados prometedores.

### 3.2.2. Métodos hidrome talúrgicos

El objetivo de los métodos hidrometalúrgicos es reducir selectivamente todos los compuestos de Pb a Pb°.

Las reacciones de obtención de CaO, Ca(OH)<sub>2</sub> y extracción de sulfatos son

$$CaCO_{3}(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_{2}(g)$$

$$CaO(s) + H_{2}O \Longrightarrow Ca(OH)_{2}(ac)$$

$$H_{2}SO_{4}(ac) + Ca(OH)_{2}(ac) \Longrightarrow CaSO_{4}(s) + 2 H_{2}O$$

La electrolisis final deposita el Pb en forma de materia esponjosa, que se separa y se comprime para formar laminillas de Pb puro (99,9%).

### 3.3. Refino o purificación del plomo

Si la actividad de la planta de fundición sólo llega a la etapa de fusión y reducción, se producirá lo que se conoce como Pb endurecido o antimonial. Si la planta está destinada a producir Pb blanco, el Pb de obra debe ser sometido a un proceso de refino, cuya finalidad es extraer casi todo el Cu, el Sb, el As y el Sn, ya que el Pb blanco estándar no puede contener más de 10 g de estos metales por tonelada.

Hay dos métodos de refino: métodos hidrometalúrgicos, ya descritos, y procesos pirometalúrgicos que se describen a continuación.

### 3.3.1. Refino pirometalúrgico

La purificación térmica se realiza en fase líquida, (temperatura > 327°C, que es la de fusión del Pb). El concepto químico en que se basa el proceso de refino consiste en añadir reactivos específicos al Pb fundido a temperaturas adecuadas. Esos reactivos extraerán los metales no deseados en un orden específico, ya que se van adicionando selectivamente.

El Cu es el primer elemento en un procedimiento de dos etapas. En la primera se extrae casi todo el Cu en forma de espumas de CuS, añadiendo S al Pb fundido a 450°C. En la segunda se extrae todo el Cu restante añadiendo pequeñas cantidades de S al Pb fundido a 330°C hasta que cesa toda reacción.

$$Cu(s) + S(l) \longrightarrow CuS(s)$$

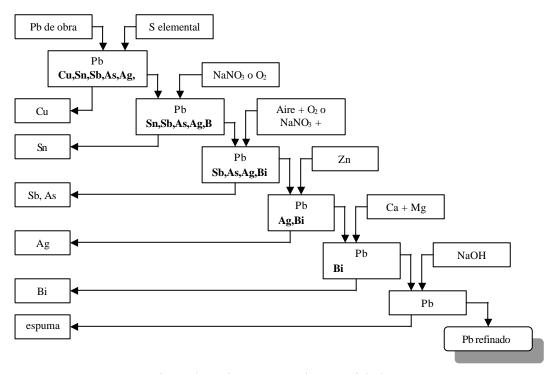


Figura 2. Refino pirometalúrgico del plomo.

Para extraer el Sn se añade, con agitación, un poco de NaNO<sub>3</sub>. Si queda algún residuo de Sn, se puede extraer inyectando aire:

$$Sn (l) + 2 NaNO3(s-l) \longrightarrow SnO2(s) + 2 NaNO2(d)$$
  
 $Sn(l) + O2(g) \longrightarrow SnO2(s)$ 

El As y el Sb se extraen mecánicamente mediante oxidación con aire enriquecido con oxígeno o una mezcla de NaNO<sub>3</sub> y NaOH. La temperatura del Pb fundido se eleva hasta 550°C y se insufla un chorro de aire enriquecido con oxígeno. La reacción es marcadamente exotérmica, por lo que la temperatura aumenta rápidamente a 650°C. Las espumas resultantes son una mezcla de óxidos (25% de Sb, 10% de As y 65% de Pb).

$$As_4(s) + 3 O_2(g) \longrightarrow As_4O_6(g)$$
  
 $2 Sb_2(s) + 3 O_2(g) \longrightarrow Sb_4O_6(s)$ 

A continuación se extrae la Ag, aprovechando la solubilidad preferente de la Ag en Zn fundido en vez del Pb fundido. Por tanto, se añade Zn metálico al Pb fundido a 470°C y la mezcla se deja enfriar hasta los 325°C. Se separa una aleación de Ag, Pb y Zn, que forma una costra en la superficie. Se saca la costra y el Zn se separa de la Ag por destilación a vacío. La plata en bruto se refina por medio de O<sub>2</sub> para producir Ag de ley. Del Pb desprovisto de Ag se extrae el Zn residual mediante destilación a vacío.

Por último, se extrae el Bi mediante el tratamiento con una mezcla de Ca y Mg, formándose una aleación de Ca, Mg y Bi que sobrenada en la superficie del Pb fundido que se extrae. Esta costra se oxida y se sigue refinando para producir Bi de gran pureza.

El Pb fundido se trata entonces con NaOH para eliminar todas las impurezas restantes, y finalmente se funde en bloques o lingotes (6).

### 4. RECICLADO DE LOS COMPONENTES ORGÁNICOS

Podemos distinguir dos procesos

- Reciclado de materia orgánica pesada.
- Reciclado del polipropileno.

### 4.1. Reciclado de materia orgánica pesada

La materia orgánica pesada está formada por separadores de placas y ebonita; el 50% de su masa consiste en C, lo que significa que esta materia orgánica puede usarse como agente reductor en el horno. Este uso implica disminuir la cantidad de otros agentes reductores y el volumen de desechos. Aunque el proceso presenta inconvenientes tales como menos escorias fluidas, formación de alquitrán, etc.

### 4.2. Reciclado del polipropileno

El polipropileno es un producto tan valioso que por sí solo podría costear la apertura de acumuladores de Pb. Por lo tanto, el reciclado de los componentes plásticos debe considerarse una actividad rentable que, lamentablemente, no está generalizada.

### **REFERENCIAS**

- 1. A. Arnau, El medio ambiente. Problemas y soluciones, Miraguano, Madrid (2000).
- 2. J.I.R. Larramendi, en *Didáctica de la Química y Vida Cotidiana*, Sección de Publicaciones de la ETS de Ingenieros industriales de la U.P.M., Madrid (2003).
- 3. Conferencia de las partes en el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos, Ginebra (2002).
- 4. T.G. Spiro, W. Stigliani, *Química Medioambiental*, Ed. Pearson, Madrid (2004).
- 5. M.E. Henstock, *The recycling of non-ferrous metals*, Ed. CIME, Ginegra (1996).
- 6. G.C. Pimental, J.A. Coonrod, *Química: presente y futuro*, Mc Graw-Hill, México (1995).

### EL PAPEL DE LA QUÍMICA EN LA DIDÁCTICA DE LA ECOLOGÍA

### Consuelo Escolástico León, Mª. del Pilar Cabildo Miranda

Departamento de Química Orgánica y Bio-Orgánica, Facultad de Ciencias, UNED Senda del Rey 9, 28040 Madrid. cescolastico@ccia.uned.es, pcabildo@ccia.uned.es

La Química juega un papel importante en la didáctica de la Ecología ya que todos los procesos metabólicos y fisiológicos de los organismos vivos dependen de reacciones químicas. Un buen conocimiento en Química ayuda a la Ecología a comprender aspectos tan importantes como la composición y estructura de la materia, permitiendo estudiar mejor la influencia de los factores ambientales sobre los organismos. En esta presentación se hace referencia a los ciclos bio geoquímicos de los nutrientes de gran importancia para el funcionamiento y desarrollo de los organismos y de los ecosistemas, así como una breve descripción de una rama de la Ecología: la Ecología Química.

### 1. INTRODUCCIÓN

La Ecología moderna se define como la Ciencia que se encarga del estudio de las relaciones que los organismos, incluida la especie humana, mantienen entre sí, con los de su misma especie y con organismos de otras especies y con su medio ambiente. Es evidente que en dichas relaciones se produce, en la mayoría de los casos, un intercambio de energía y materia, y para poder explicar los diferentes procesos que tienen lugar se recurre a la Química.

Es por todos aceptado que la Química juega un papel central en el entendimiento del mundo de la naturaleza, ya que se utiliza para explicar la estructura y función de las moléculas necesarias para la vida tales como las proteínas, ácidos nucleicos o carbohidratos, o que la cinética y termodinámica química son utilizadas para explicar las rutas metabólicas o la energía utilizada durante el metabolismo. Pero hay que dar un mayor reconocimiento a la Química sobre el papel que juega en el estudio y la enseñanza de la Ecología, puesto que no sólo interviene en los procesos químicos a nivel de los organismos individuales sino en todos los procesos que tienen lugar en los ecosistemas, en la atmósfera, en la hidrosfera y en la geosfera.

En la didáctica actual de la Ecología se tratan obligatoriamente temas que son de crucial importancia para conocer los efectos sobre el mantenimiento de las especies o de los ecosistemas tales como:

- El papel de los nutrientes que necesitan las plantas para su desarrollo.
- Los ciclos biogeoquímicos en la naturaleza.
- Los impactos ecológicos antropogénicos.

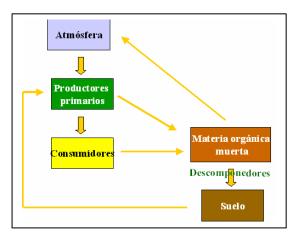
Curiosamente, el primero es un tema de Química del Suelo y los dos segundos de Química Ambiental. También la Química forma parte de otros temas de Ecología transversalmente, ya que el estudio de muchos procesos ecológicos pasa por el estudio de los productos naturales, donde la Química Orgánica y la Química de productos naturales son elementos imprescindibles. Por otra parte, la Ecología, como otras ciencias en su desarrollo se ha ido ramificando y en la actualidad se conocen muchas vertientes de la Ecología. De este modo, ha surgido en las últimas décadas la llamada Ecología Química.

A continuación se expone una breve descripción de algunos temas puramente químicos abordados en Ecología.

### 2. NUTRIENTES UTILIZADOS POR LAS PLANTAS

Los seres vivos necesitan para su desarrollo del orden de 30 a 40 elementos químicos, en cantidades variables. Los *macronutriente* s (C, N, P, O, S, H, Na, K, Mg, Ca, y Cl) son aquellos elementos que los organismos necesitan en grandes cantidades, mientras que los *micronutrientes* (Mo, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, B, Se,..) son elementos también imprescindibles que se requieren en menor cantidad.

Los macronutrientes y micronutrientes que necesitan las plantas provienen de la atmósfera o de minerales liberados al suelo por meteorización de las rocas. Los nutrientes minerales que se encuentran en el suelo en forma de iónes disueltos (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, etc) son absorbidos por las raíces de las plantas mediante difusión y transportados a través de las membranas mediante un mecanismo de transporte activo. Una vez asimilados por las plantas, los nutrientes entran en la cadena trófica.



Con el tiempo, los nutrientes del suelo se van agotando, pero son restituidos por la difusión de agua y nutrientes procedentes de áreas con una mayor concentración. Las plantas no pueden absorber directamente estos nutrientes (hidratos de carbono y proteínas), teniendo que ser fragmentados y transformados en compuestos inorgánicos por los descomponedores. Las bacterias y hongos son los responsables de digerir los compuestos orgánicos y liberar los nutrientes minerales en

forma de compuestos inorgánicos que pueden ser utilizados por las plantas; este proceso se denomina *mineralización*. Los descomponedores, a su vez, reducen la cantidad de nutrientes disponibles para las plantas, puesto que necesitan nutrientes que toman del suelo en un proceso llamado *inmovilización*. Como resultado la disponibilidad de nutrientes para las plantas o *mineralización neta* es la diferencia entre la tasa de mineralización y la tasa de inmovilización de nutrientes.

Por consiguiente, aunque en la corteza terrestre existe abundancia de estos elementos, la disponibilidad de los mismos es limitada, ya que no siempre están accesibles. Por ello, han de reciclarse continuamente para estar disponibles de forma que puedan ser asimilados por los diferentes seres vivos.

## 3. CICLOS BIOGEOQUÍMICOS Y SU DESESTABILIZACIÓN POR IMPACTOS ANTROPOGÉNICOS

La biosfera constituye la reserva biótica de los elementos y trata de retenerlos el mayor tiempo posible en sus estructuras. Los ciclos biogeoquímicos de los elementos comprenden una serie de caminos realizados por la materia que escapa de la biosfera a través de otros sistemas, como la atmósfera, la hidrosfera o litosfera, antes de regresar a ella.

Durante millones de años los ciclos biogeoquímicos se han repetido sin cesar, dando lugar a un determinado equilibrio ecológico que ha condicionado las distintas formas de vida que actualmente se conocen sobre la Tierra. Los ciclos biogeoquímicos están perfectamente regulados por diversas realimentaciones y en ellos se encuentran implicados el ciclo del agua o los procesos vitales de fotosíntesis y respiración.

A partir de la revolución industrial, no hace más de cien años, las actividades humanas relacionadas con el uso de los recursos naturales han puesto en peligro los ciclos biogeoquímicos desestabilizando sus delicados mecanismos de autorregulación.

Los seis elementos más importantes son: hidrógeno, carbono, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre, ya que estos elementos representan el 95% de los constituyentes de la materia viva.

### 3.1. Ciclo del carbono

El carbono en un elemento esencial de la biosfera ya que es el componente principal de la materia viviente. El ciclo del carbono es de suma importancia para la para la fotosíntesis, así como para la regulación del clima de la Tierra.

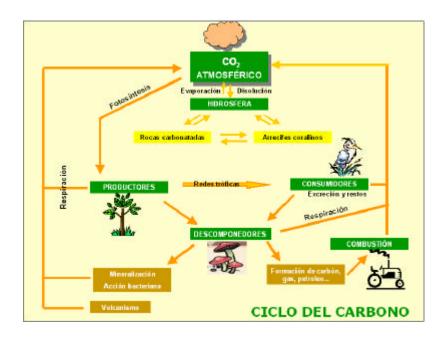
Mediante la **fotosíntesis**, uno de los procesos más fascinantes que tiene lugar en la naturaleza, el carbono es retenido, y mediante la respiración es devuelto a la atmósfera. La fotosíntesis es un proceso anabólico que consiste en transformar la materia inorgánica en orgánica, utilizando para ello la energía luminosa que queda transformada en la energía química de los enlaces de las sustancias orgánicas obtenidas. Los productos finales de la fotosíntesis son moléculas orgánicas muy variadas, como la glucosa,  $C_6H_{12}O_6$ :

$$CO_2$$
 + Clorofila + Energía luminosa + sales minerales  $\rightarrow C_6H_{12}O_6 + O_2$ 

Dentro de la biosfera, los animales se alimentan de plantas. Este alimento se oxida biológicamente para producir dióxido de carbono y agua. Este proceso se denomina respiración y su mecanismo supone una degradación de la energía, que tras ser utilizada en los procesos vitales se transforma en calor:

$$C_6H_{12}O_6 + O_2 \rightarrow CO_2\uparrow + H_2O$$

En el océano tiene lugar también otro ciclo de características similares. Ello es lógico puesto que el océano contiene grandes cantidades de  $CO_2$  disuelto. Por tanto, los animales de la tierra y del mar devuelven el  $CO_2$  a la atmósfera y a la hidrosfera.



Otro proceso de oxidación biológica se efectúa en los suelos de la litosfera y en la hidrosfera, e incluye la descomposición de materia muerta vegetal o animal. Por lo general, esta descomposición se logra mediante microorganismos y bacterias, y en la mayoría de los casos se produce CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O y de esta forma se cierra el ciclo.

Hay otros gases que también participan en el ciclo del carbono, como el metano, CH<sub>4</sub>, y el monóxido de carbono, CO, que también están presentes en la atmósfera aunque en concentraciones mucho menores. Tanto el CO<sub>2</sub> como el CH<sub>4</sub> son gases de efecto invernadero.

El ciclo del carbono es muy frágil y puede romperse por distintas causas. Así, por ejemplo, las erupciones volcánicas, la quema de biomasa, la deforestación y, sobre todo, la combustión de carburantes fósiles, pueden añadir importantes cantidades de  $CO_2$  a la atmósfera y, por tanto, desequilibrar el ciclo de este elemento, originando el calentamiento global del Planeta.

### 3.2. Ciclo del nitrógeno

El nitrógeno como el carbono, es un ingrediente básico de los organismos vivos. Se encuentra, por ejemplo, en el ADN, en las proteínas y en la clorofila. El nitrógeno comparte otra característica importante del carbono: es muy común. Pero casi todo este nitrógeno atmosférico es nitrógeno molecular,  $N_2$ .

El nitrógeno molecular no puede ser metabolizado por la mayoría de los organismos vivos. Sólo se hace biológicamente activo cuando se produce una *fijación de nitrógeno* y es convertido a distinta forma molecular, principalmente ion amonio,  $NH_4^+$ , y nitrato,  $NO_3^-$ . La asimilación de nitrógeno es catalizada por la enzima nitrogenasa, capaz de transformar el nitrógeno molecular en ion amonio  $(NH_4^+)$ .

$$N_2 + 8 H^+ + 6 e^- \rightarrow 2 N H_4^+$$

En el suelo, el ion amonio es oxidado por la intervención de bacterias nitrificantes, las cuales transforman esta especie química en nitrato, dejando el suelo ácido. El proceso global se denomina *nitrificación*:

$$2 \text{ NH}_4^+ + 3 \text{ O}_2 \rightarrow 2 \text{ NO}_3^- + 8 \text{ H}^+$$

A su vez, el nitrato puede disolverse en las aguas subterráneas y unirse con las aguas superficiales. Otra posibilidad es que los nitratos se vuelvan a transformar en nitrógeno, cerrándose el ciclo. Este proceso se denomina *desnitrificación* y hay bacterias que catalizan la oxidación de materia orgánica por parte del ion nitrato, con lo que este a su vez se reduce, ya sea totalmente para dar nitrógeno gas, o bien parcialmente para dar óxidos nitrosos.

$$5 C_6 H_{12}O_6 + 24 NO_3^{-} \rightarrow 30 CO_2 + 18 H_2O + 24 OH^{-} + 12 N_2^{-}$$

$$C_6 H_{12}O_6 + 6 NO_3^{-} \rightarrow 6 CO_2 + 3 H_2O + 6 OH^{-} + 3 N_2O^{-}$$

El  $N_2O$  es un gas extremadamente estable que, una vez formado, se difunde hacia la atmósfera, donde inicia un largo recorrido durante el cual se irá transformando poco a poco en otros óxidos, como NO y  $NO_2$ , con las consecuencias que ello implica.

El nitrógeno fijado también fluye a lo largo de la cadena alimentaria: primero es absorbido por las plantas, luego por los animales herbívoros y posteriormente por sus depredadores y parásitos. En cada nivel trófico se libera al ambiente nitrógeno por muerte o en forma de excreciones, utilizadas por los organismos descomponedores donde interviene el proceso de *amonificación*, según el cual se transforman los desechos de animales y los residuos de las plantas en ion amonio, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Con lo que se cierra el ciclo.

La contaminación del aire proviene de los óxidos de nitrógeno generados en la quema de combustibles fósiles, siendo el componente básico de las *lluvias ácidas* debido a su transformación en ácido nítrico que afecta al suelo y a las aguas dulces. La lixiviación y, a causa del nitrógeno, podría *envejecer* algunos suelos por un periodo equivalente a 5000 años. El exceso de nitrógeno en el suelo afecta también de otra

forma a campos y bosques ya que, por ejemplo, puede reducir la resistencia al frío de ciertas especies y hacerlos más propensos a enfermedades o a la muerte durante el invierno. De forma similar las aguas cada vez más ácidas tienen menos formas de vida acuática

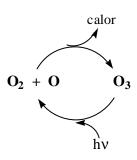
### 3.3. Ciclo del oxígeno

El oxígeno y el nitrógeno son los dos gases más abundantes de la atmósfera, pero el primero, a diferencia del segundo, es mucho más reactivo. Las tres sustancias, agua, dióxido de carbono y oxígeno molecular, junto con las moléculas de los seres vivos, constituyen las principales sustancias que participan en el ciclo del oxígeno, el cual está íntimamente unido al ciclo del carbono y al ciclo del agua

Los procesos que se efectúan en la biosfera estimulan el intercambio de oxígeno entre las diversas esferas del medio ambiente, principalmente mediante los procesos de fotosíntesis y respiración.

Por cada molécula de oxígeno utilizada en la respiración celular, se libera una molécula de dióxido de carbono. Inversamente, por cada molécula de dióxido de carbono absorbida en la fotosíntesis, se libera una molécula de oxígeno. La cantidad de oxígeno que consumen los animales es muy similar a la aportada por la vegetación, por tanto no hay prácticamente ningún cambio en la cantidad de oxígeno en la atmósfera.

Parte del oxígeno molecular de las regiones más altas de la atmósfera se convierte en la fórmula molecular triatómica denominada ozono, O<sub>3</sub>, mediante la siguiente ecuación:



El ozono se descompone con rapidez para volver a formar oxígeno diatómico. Puesto que la capa superior de la atmósfera está expuesta a la luz solar de un modo continuo, existe una cantidad más o menos constante de ozono en una zona de la atmósfera superior llamada ozonosfera (aproximadamente a 50 km de altura del suelo). Esta producción de ozono sirve de barrera química, que constituye una pantalla protectora de la superficie terrestre que la protege de la adiación ultravioleta de alta energía. Es la denominada *capa de ozono*. Ciertos contaminantes emitidos a la atmósfera, principalmente los compuestos

organoclorados la destruyen, provocando los conocidos agujeros de la capa de ozono.

En la troposfera, el ozono es creado a partir de las reacciones fotoquímicas de los óxidos de nitrógeno con el oxígeno del aire, formando, junto con otros contaminantes, el smog.

### 3.4. Ciclo del azufre

El azufre se encuentra almacenado principalmente en la hidrosfera en forma de sulfato,  $SO_4^{2-}$ , siendo también abundante en los suelos, pues aunque se pierdan por

lixiviado de las tierras, son repuestos por las lluvias de forma natural. En la biosfera se presenta dentro de todos los organismos en pequeñas cantidades pero resulta imprescindible para la síntesis de ciertas moléculas orgánicas como las proteínas, enzimas, vitaminas, etc. Sólo las plantas, bacterias y hongos son capaces de incorporarlos directamente en forma de  $SO_4^{\ 2^-}$ . De esta forma, puede ser transferido a los demás niveles tróficos. Los seres vivos, al morir, liberan  $H_2S$  a la atmósfera y a otros sistemas terrestres.

Algunos de los sulfatos presentes en la tierra son llevados al mar por los ríos, y este azufre es devuelto a la tierra por un mecanismo que consiste en convertirlo en compuestos gaseosos tales como el ácido sulfhídrico, H<sub>2</sub>S y el dióxido de azufre, SO<sub>2</sub>. Estos penetran en la atmósfera y vuelven a tierra firme. En la profundidad de los océanos y lugares pantanosos en ausencia de O<sub>2</sub>, el sulfato es reducido a H<sub>2</sub>S. El paso de H<sub>2</sub>S del océano a la atmósfera sirve para compensar las pérdidas de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Las elevadas concentraciones de H<sub>2</sub>S producen el típico olor a huevos podridos, pero en pequeñas concentraciones provocan un agradable olor a mar.

En la atmósfera, el H<sub>2</sub>S se oxida rápidamente por los iónes OH formando ácido sulfúrico, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, que haciendo el papel de núcleos de condensación, favorecen las lluvias, que devuelven el azufre al mar o al continente, con lo que el ciclo se cierra.

Los volcanes de forma natural y las industrias o la quema de combustibles fósiles incrementan en la atmósfera la cantidad de  $SO_2$  y, por tanto, la de ácido sulfúrico,  $H_2SO_4$ , originando el problema de la lluvia ácida.

### 3.5. Ciclo del fósforo

El fósforo se encuentra mayoritariamente en la corteza terrestre y en los depósitos de rocas marinas. La proporción de fósforo en la materia viva es relativamente pequeña, pero el papel que desempeña es vital. Es componente de los ácidos nucleicos como el ADN, y muchas sustancias intermedias en la fotosíntesis y en la respiración celular están combinadas con el fósforo, como el ATP. Forma parte también de las estructuras rígidas de los animales.

El ciclo del fósforo difiere con respecto al del carbono, nitrógeno y azufre, en que no forma compuestos volátiles que le permitan pasar de los océanos a la atmósfera y desde allí retornar a tierra firme.

Las rocas fosfatadas y las cenizas volcánicas contienen fosfatos y liberan iones fosfato, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, que son transportados de forma soluble por las aguas corrientes hasta los lagos o hasta el mar, donde precipitan para formar almacenes. Su proceso de liberación es muy lento por depender del ciclo geológico (10<sup>5</sup>-10<sup>8</sup> años), razón por la que constituye el principal factor limitante, considerándose por ello un recurso no renovable.

El ciclo del fósforo se ve afectado por las actividades humanas tales como la pesca, el abuso de fertilizantes y el uso de detergentes con fosfatos. Debido al empleo indiscriminado de fertilizantes y todo tipo de productos químicos se presentan problemas en las aguas, tanto superficiales como subterráneas, como la eutrofización.

### 4. ¿QUÉ ES ECOLOGÍA QUÍMICA?

La Ecología Química o Química Ecológica es un campo multidisciplinar que estudia las sustancias químicas implicadas en las interacciones entre organismos. Los estudios en este campo consideran la enorme riqueza química en la naturaleza, siendo de gran utilidad para el conocimiento de la biodiversidad y en campos tan aplicados como la agricultura o la industria farmacéutica.

Su estudio está centrado en los mecanismos químicos que ayudan a controlar las interacciones intra e interespecíficas entre los organismos vivos para comunicarse, buscar alimento, y otros mecanismos. Esta disciplina se ha desarrollado en relación con la química de los productos naturales dando prioridad a la investigación sobre metabolitos secundarios activos con acción biológica diversa. Por ello, cobra un interés particular, debido a la aplicación potencial de estos metabolitos como herbicidas, pesticidas, reguladores del crecimiento, antibióticos y agentes citotóxicos, entre otros.

### **BIBLIOGRAFÍA**

- 1. M. Begon, J.L. Harper, C.R. Townsend, *Ecología: individuos, poblaciones y comunidades*, Ed. Omega (1999).
- 2. P. Cabildo, P. Cornago, C. Escolástico, M. Esteban, C. López, D. Sanz, *Bases Químicas del Medio Ambiente*, Ed. UNED (2004).
- 3. C.J. Krebbs, *Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance*, Ed. Benjamin Cummings (2001).
- 4. R. Margalef, Ecología, Ed. Omega (1998).
- 5. R. Margalef, Ecología, Ed. Planeta (1992).
- 6. M.C. Molles, Ecology: concepts and applications, Ed. McGraw-Hill (2005).
- 7. B. Nebel, R. Wright, *Ecología y desarrollo sostenible*, Ed. Prentice-Hall (1999).
- 8. E.P. Odum, *Ecología*, Ed. Interamericana (1992).
- 9. R.L. Smith, T.M. Smith, *Ecología*, Ed. Adison Wesley (2000).
- 10. C.R. Townsend, M. Begon, J.L. Harper, *Essentials of Ecology*, Ed. Blackwell (2003).

# MODELO DE ENFOQUE CIENCIA, TECNOLOGÍA, SOCIEDAD Y AMBIENTE EN LA DIDÁCTICA DE FÍSICA Y QUÍMICA EN LA ENSEÑANZA SECUNDARIA: CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Andrés García Ruiz <sup>1</sup>, Mª. Dolores Castro Guío <sup>2</sup>, Rafael Gómez Fernández <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Didácticas Específicas, Universidad Autónoma de Madrid.

28049 Madrid, andres.garcia.ruiz@uam.es

<sup>2</sup> Departamento de Física y Química, IES Atenea

Colombia s n, 28945 Fuenlabrada (Madrid), mdcastroguio@hotmail.com

<sup>3</sup> Departamento de Física y Química, IES El Olivo, Felipe II 11, 28980-Parla (Madrid) ies.elolivo.parla@educa.madrid.org

En el presente trabajo planteamos un modelo de desarrollo curricular para aplicar el enfoque Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente (CTSA) en las clases de Física y Química. Planteamos un problema ambiental actual, como es la contaminación atmosférica, para observar y analizar las visiones de los estudiantes y pretendemos inculcar una adecuada formación científica para favorecer una actitud de ciudadanos responsables.

### 1. INTRODUCCIÓN

La Ciencia la debemos considerar como una actividad práctica además de teórica, estando en gran parte centrada en la experimentación.

La educación en la Ciencia para la acción, y para la relevancia social, tiene como objetivo ayudar a formar futuros ciudadanos para la acción y considera a los adolescentes como ciudadanos que tendrán su lugar en la sociedad (1).

Pensamos que debemos trabajar para conseguir una educación que sirva de agente de transformación de la sociedad y que también se aproveche para mejorar las condiciones sociales de la población en general.

La contaminación atmosférica afecta al medio ambiente directa e indirectamente. Por ejemplo, cuando los contaminantes descienden con la lluvia, el suelo y el agua recogen ácidos, dependiendo la acidificación de estos medios de la magnitud de los contaminantes y de la resistencia que tanto el suelo como el agua ofrezcan a dicha acidificación.

### 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

En la última década, hemos observado una evolución positiva en los docentes hacia el tratamiento de las relaciones entre Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente (CTSA), en la enseñanza en general y, sobre todo, en la didáctica de las Ciencias.

La incorporación en el currículo de Educación Secundaria y Bachillerato de objetivos y contenidos CTSA, han potenciado la formación científica de nuestro alumnado y la actitud positiva hacia los problemas ambientales. En la actualidad, el

alumnado muestra un mayor conocimiento de las aplicaciones tecnológicas de la Ciencia o a su implicación sobre los problemas ambientales (2-5).

A pesar de todo ello, los resultados no son lo satisfactorios que se esperaban y se debe seguir profundizando en el estudio de la dimensión CTSA, para constatar su grado de incorporación en la enseñanza de las Ciencias y modificar la imagen de la Ciencia con la inclusión adecuada de la perspectiva CTSA en la enseñanza, para favorecer la adecuada formación de los futuros ciudadanos, para la participación, la responsabilidad social y la toma de decisiones (6).

La alfabetización científica y tecnológica de nuestro alumnado requiere la incorporación de la perspectiva CTSA en el currículo, puesto de manifiesto en numerosas investigaciones y publicaciones (7,8).

#### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La presente experiencia la hemos realizado con alumnos de 2º de Bachillerato que cursan actualmente la asignatura de Ciencia, Tecnología y Sociedad.

Partimos de las noticias aparecidas en los diarios El País y El Mundo en las secciones de Sociedad y de Ciencia, respectivamente, sobre artículos referidos a problemas de contaminación atmosférica surgidos en varias ciudades de nuestro país.

El planteamiento del problema lo abordamos desde la dimensión CTSA, organizando a los alumnos en cinco grupos, en los que cada uno tenía una función y un enfoque específico que detallamos seguidamente:

- 1. Planteamiento de la noticia y del problema.
- 2. Tratamiento ambiental del tema.
- 3. Interés económico y social.
- 4. Medidas legislativas.

### 3.1. Planteamiento de la noticia y del problema

Partimos de de tres noticias sobre contaminación atmosférica, una producida en dos grandes ciudades (Madrid y Barcelona), por el desarrollo de la vida cotidiana e industrial y otras dos surgidas por motivos industriales (Cartagena y Campo de Gibraltar).

Iniciamos el tema con una introducción teórica sobre la contaminación atmosférica, agentes, tipos, etc.

En el caso de la contaminación en Madrid y Barcelona, la problemática ambiental es compleja, ya que hay que tener presente que las fuentes potenciales de contaminación en este entorno son muy diversas, aunque se suelen vincular a las industrias del entorno.

Aunque se han realizado varios estudios para caracterizar la situación de este entorno ambiental, el conocimiento global de la calidad del aire es aún limitado.

El objetivo de nuestro estudio será aportar datos que permitan conocer mejor el estado de contaminación atmosférica de las dos zonas.

Los episodios de contaminación del aire, como consecuencia de la acumulación y estratificación de gases industriales, son conocidos, aunque es necesaria una mayor información para conocer el efecto global.

En el caso de Gibraltar y Cartagena, la contaminación se debe a la acumulación de azufre, emitido por el macropolígono industrial de la primera ciudad y a un accidente producido por la combustión de abono en la segunda.

#### 3.2. Tratamiento ambiental del tema

El enfoque ambiental del tema lo dividimos en tres partes. La primera era un informe general sobre la contaminación atmosférica, origen, tipos de contaminantes y sus efectos, y estrategias de lucha contra la contaminación atmosférica.

La segunda consistió en un informe detallado sobre los principales contaminantes aparecidos en cada una de las noticias. Respecto a Madrid y Barcelona detallamos los compuestos químicos que producen sobre todo la emisión de gases de los coches. Aquí estudiamos también los gases producidos en el entorno urbano, como los CFCs, óxidos de nitrógeno y metano.

En Gibraltar, la principal causa parece deberse a la refinería existente. Se desarrolló un informe sobre las características y efectos de los gases hallados: benceno, tolueno y ácido sulfhídrico.

Respecto a Cartagena, la contaminación producida tuvo un efecto a corto plazo, provocado sobre todo por el dióxido de azufre. Al igual que en los casos anteriores, además de describir las características y los efectos del gas anteriormente citado, también incluimos en nuestro estudio el monóxido de carbono, el cloruro de hidrógeno y anhídrido sulfuroso.

La tercera parte consistió en un estudio sobre aplicación de nuevas tecnologías aplicadas a la contaminación atmosférica. Entre ellas una de las principales aplicaciones es para los sistemas de escape y catalizadores, detallando las nuevas tecnologías utilizadas sobre todo en Norteamérica.

### 3.3. Interés económico y social

Este punto los dedicamos sobre todo a los efectos producidos por la contaminación en la salud, haciendo un especial hincapié en el caso de Gibraltar, ante la polémica que suscita el macropolígono industrial, ya que es una fuente importante de trabajo y de ingresos para los habitantes del Campo.

Se detalló los efectos sobre la salud de todos los gases citados anteriormente, sobre todo en cuanto a las enfermedades que generan.

Respecto al caso de Cartagena, también elaboramos un informe detallado de la gestión ambiental de la empresa en la que se produjo el fuego, en el que pudimos observar las medidas tomadas desde el 2002, con la instalación de reductores de óxidos, la segregación de aguas residuales, la captación de polvo de la planta de nitrato y la constante reforestación de la zona de apilamiento de yesos. Con estas

medidas, en dos gráficas, pudimos observar la disminución de las emisiones y de los vertidos.

### 3.4. Medidas legislativas

Respecto a las medidas legislativas, comenzamos con el estudio del cumplimiento del Protocolo de Kioto.

Hicimos un estudio comparativo de "las grandes chimeneas que contaminan el planeta": Estados Unidos, Unión Europea, China, Rusia, Japón e India. Finalmente abordamos las dos propuestas básicas del Banco Mundial para influir en el comportamiento de los contaminadores:

- Mecanismos oficiales de control, estableciendo normas y reglamentaciones.
- Políticas basadas en el funcionamiento del mercado o en los incentivos económicos.

### 4. CONCLUSIONES

La experiencia ha resultado totalmente satisfactoria, ya que los alumnos han tenido que indagar, buscar información y sugerir soluciones al problema de la contaminación atmosférica.

Los resultados obtenidos con la experiencia nos hacen ver que el enfoque CTSA es imprescindible para una buena formación ciudadana, responsable e involucrada por los problemas del planeta.

Por último, cabe destacar, como señala Hodson (9), que con este tipo de experiencias podemos hacer que nuestro alumnado pueda ser conocedor de las diferentes opciones que se les presente sobre Ciencia y Tecnología, pudiendo compararlas y valorarlas, favoreciendo su participación social en la toma de decisiones.

### BIBLIOGRAFÍA

- 1. P. Membiela, *Enseñanza de las Ciencias*, **2002**, Vol. 20 (3), pp. 443-450.
- 2. B. Marco, *La Alfabetización Científica*, en F. Perales, P. Cañal (eds.), *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, pp. 141-164, Ed. Marfil, Alcoi (2000).
- 3. A. Caamaño, *Presencia de CTS en el currículo escolar español*, en P. Membiela (ed.). *Enseñanza de las ciencias desde la perspectiva ciencia-tecnología-sociedad, Formación científica para la ciudadanía*, pp. 121-133, Ed. Narcea, Madrid (2001).
- 4. M.A. Manassero, A. Vázquez, *Opinions sobre ciencia, tecnología i societat,* Palma de Mallorca, Conselleria d'Educació (1998).
- 5. M.A. Manassero, A. Vázquez, Actitudes y creencias de los estudiantes relacionadas con CTS, en P. Membiela (ed.). Enseñanza de las ciencias desde la perspectiva ciencia-tecnología-sociedad, Formación científica para la ciudadanía, pp. 162-169, Ed. Narcea, Madrid (2001).
- 6. J. Solbes, A. Vilches, *Enseñanza de las Ciencias*, **2004**, Vol. 22 (3), 337-348.
- 7. R.W. Bybee, *The American Biology Teacher*, **1991**, Vol. 53 (3), 146-153.

- 8. D. Gil, A. Vilches, *Investigación en la Escuela*, **2001**, Vol. 43, 27-37. 9. D. Hodson, *Enviromental Education Research*, **1994**, Vol. 1(2), 71-98.

### **ANEXO**

Se incluyen en las siguientes páginas las noticias utilizadas en la experiencia.



### Una nube tóxica causada por la combustión de abono dispara la alarma en Cartagena

Las autoridades piden a la población de la zona que no salga de sus casas ni encienda la calefacción

ANTONIO AGUILAR, Murcia La combustión de varias toneladas de abonos quimicos compuestos de nitrógeno, fósforo y potasio almacenados en un silo de la empresa Fertiberia, ubicada en Valle de Escombreras

industrial. El suceso, que se inició el sábad obligó ayer a las autoridades a activar el pla de emergencia. También pidieron a la poble ción de los alrededores que no saliera de s casas ni encendiera la calefacción.

quimicos compuestos de nitrógene potasóo almacenados en un silo de Fertiberia, ubicada en Valle de Es El vicepresidente del Gobierno regional, Antonio Gómez Fayrén, aseguró anoche que la nube "no tiene consecuencias graves para la salud de las personas", salvo irritación y picor en la garganta, la nariz y los ojos. Añadió que en los hospitales sólo se había atendido a varios bomberos por inhalación de humo y sarpulidos en la piel debidos al contacto con el abono. Este responsable señaló que las mediciones junto a la nave siniestrada "reflejan una parte 20.2 a d. 3 partes por millón de cloro y 30 partes de millón de amoniaco". Sin embargo, los resultados de los análisis en zonas habitandas, entre Alumbres y Cartagena y en Santa Lucia, eran "negativos".

La combustión de los abonos químicos se produjo de manera lenta. Provocó una creciente nube contaminante difici de apagar, pero no causó llamas. Las autoridades iniciaron a la una de la tarde de ayer el plan exterior de emergencia del sector químico de la zona, el Valle de Escombreras (a unos cuatro kilómetros del centro de Cartagena), en grado 2. Este nivel se activa cuando se producen alteraciones graves en el ambiente exterior. El siguiente nivel, en el cando de se ha originado la nube alberga I empresas (como Engads el berdrola) que han tenido que paralizar su actividad. Los empleados han abandonado la zona, a excepción de los equipos de seguridad. Según las asociaciones de vecinos, viven unas 6.000 personas en los altrededos es abstruieran de salir de sus causa, no abrieran las vertanas y no hicieran uso de la calefacción.



Policías con máscaras antigas alertan a los conductores de la proximidad de la nube tóxica. / EFE

Policías con máscares antigas alertan a Gómez Fayrén anunció que la administración regional va a iniciar una investigación "sobre el origen del episodio contaminante", así como sobre las condicionada", de abonos químicos. Cree que la solución al problema "no será rápida", "Hay que ver cómo evolucióna la nube, que no tiene toxicidad para la población", dijo. Medio centenar de bomberos de Cartagena y Murcia trabajan desde el sábado para frenar la combustión. Emplean grandes cantidades de agua. Para aislar el foco esparcen un compuesto

a los conductores de la proximidad de químico de aspecto granuloso conocido como "triple 15". En algunos momentos, los trabajos de extinción se paralizaron por la excesiva concentración de gases junto al silo inecediado.

La combustión, cuyo origen no se ha dado a conocer, se detetectó a primera hora del sábado en una silo de Fertiberia que almacenaba 15.363 toneladas de abono. La nube generada está compuesta por "trazas de cloruro amónico, de cloruro de hidrógeno, de ácido nitrico y de vapor de agua", según el director general de Protección Civil, Enrique Albacete.

En el centro de control y medi-

a nube tóxica./EFE

ción atmosférica de Cartagena se
registraron al mediodía de ayer picos de 300 microgramos por metro
cúbico de aire de anhidrido sulfuroso y partículas en suspensión. Podrian repetirse hoy por la imposibidiad de combatir rápidamente el
foco emisor. Los trabajos de extinción pueden prologarse más de 48
horas, según Protección Civil. Las
condiciones meteorológicas (elevado grado de humedad en el aire y
antición) hacian prever ayer la
ausencia de vientos, lo que empeoraria la situación. Fertiberia produce abonos y fertilizantes y maneja
amoniáco, dióxido de nitrógeno,
nitrato amónico y propano.

Diario El País, lunes 28 de enero de 2002.

### CIENCIA

MEDIO AMBIENTE / El estudio ha revelado la distribución mundial de dióxido de nitrógeno, un gas contaminante que puede causar daños pulmonares / Se acumula sobre todo en las grandes ciudades y las rutas marítimas

## Madrid y Barcelona, dos puntos negros de la polución mundial

El satélite europeo Envisat realiza el mapa global más preciso que jamás se ha llevado a cabo sobre los niveles de contaminación en nuestro planeta

nas más trassitudas por los barcos, y en especial allá donde se cruzan varias ruías martimas, como en el Ocisno ladico o el Mar Muerto.

El Envisat, que pentencer a la Agencia Espocial Europeo (ESA), ha realizado estas observaciones mediane un instrumento llamedo SCIAMACEN, que significa peraguir sociones en griego, aunque el anentre tarribide es un acréaimo en inglés de Espectrimento de Absorción por Esciner de Imágenes para in Cartografía Almosférica. En cualquier caso, este aparato regismo como la stendiera terrestera, la que permite determinar con escatitud in composición quínica de ésta.

El instrumento detecin la lac vielade y instrumento destantina la configuración quínica de ésta.

El instrussento defecer la lac visible y tanthien los rayos informações y sitrovaletas proventeres de suestra estrela. La reducirio sodar puede ser absorbida, reflejada o bien espareido cuando entre en cuniacio con massim reducirio del airo. Los investigadores acatizan este comportamiento y eliminaria el efecto del congreso, el airogeno y la eliminaria el efecto del congreso, el airogeno y la eliminaria el esco congreso, el airogeno y la eliminaria el acayor.

ANGEL DAZ

MADRID.— El sufélio europeo Envisat, el más grando del mando dedición a estudiar el citima, acata de cuada a sus observaciones sobre la discribución mandial de dibidio desarrogeo, sur gas consuminante operpuede cousar daños polinomanos y problemas respiratorios. Sus mendiados, los más completos y procesas que se han presentado hosta la focha, muestran cherariemte que la acción del hantine esta demas de la problemación de esta sasmasia nocivia, que se se acuntula soter indo en las grandes ciudades y un las rutas martinas. De hacho,
Madrid y Barcelona son dos de los justitos del globo más perjudicados por la presencia de este compuesta.

11 Envisas, que beva orbitando la filem desde la tronse del desde de mistogenos comande del llemado econo parte, una supecio de nicio de los masos personas en las capas se acumula a mivel del sealo y el na las capas anas hajas de la atimafera. Un equipo de investigadoses por las cross más hajas de la atimafera. Un equipo de investigadoses de la Universidad de Heddeberg, en Alermalia, se ha enfrentado a las datos del sealos y el la cumanisción, que muestra con total exactivad ha zonas donde más guase nocircos se generan.

La a grandes columnos vercicasos de discriptorios de Alexandos de la Contra de consentinación, que muestra con confesso de generan.

notal exactibud las zones donde mis gases nacious se generan. «Las grandes colomatos verilentes de distribución de citárida de nitrogeno estan secciada con las cindides más importantes de Norteste de China, junto a otros lugares como Medio DF, en Centrometrica, y las cestrades energéticas impulsados por carbon en Sudáfricas, según explica el ciertullos Steffen Bairle, que ha capitales de la timberado la investigación en el Isatian de Pisixa Medioambiendo la Universidad de Hesdelberg.

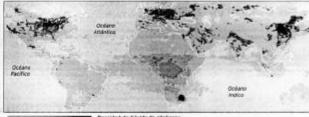
Microbios terrestres

El pis contaminante tambiés se cesa
consecuencia de la acción de
eliganes nácrobios temestres e inclanos est los religirações, pero se concertución en los direos más industidadas del globo no deja ninguna
tidad de que se principal causa son
tou attavidades humanas, en especial
lo redustria posada, el transporte tementre y las centrales de energia,
adereas de la quema de biomasa.
Así, las altas concentraciones de
humanimento en eliginas áreas de
átrica y del Sudeste natificio son
traducir de la sperna de vegentinata, y no de las actividades indusnativa, del la sperna de vegentinates, alcemans, los mavers datos
sermiten seguir también el rastro
let dióxido de nitrigemo en los zo-





El satélite emblentel de le ESA ha realizado el estudio atmosférico entre enero de 2003 y lunio de 2004.



ute de la atmisfera. Lo que queda se les muss contaminantes.

perte de la atmissierra. Lo que quecha son los guese contamientes. Este método permite encontrar hasta las más pequeñas concentra-ciones de dióxido de nitrógeno. Es-te gas se encuentra distribuido en cantidades similares por toda la es-

trateofera, una de las capas extenderes de la atmédière. Sin embargo, en la tropodera, que se encuentra entre los ocho y los 16 de altitud, su presencia varia en gran medida entre unas fareas y orus, y llega a ser preocupante en grandes

ciudades como Londres u Madrid-Según la ISA, las observaciones desde el espacio con el único mado ricza de curirolas la distribución de guase en la atmisiéra. Proximemen-te, el Ervisar también estudiarà los guases de efecto inversadero:

El 23 de octubre, 3.000 personas se manifestaron contra el macropoligono industrial del Campo de Gibraltar, y especialmente contra la refinería de Cepsa, con el lema *En defensa del medioambiente y la salud*. Es la primera vez que este problema con-

grega a tanta gente en la zona. Un grupo ecologista estadounidense de métodos revolucionarios colabora con las asociaciones locales: es la Brigada del Cubo, herederos de Erin Brockovich, encarmada en cine por Julia Roberts. Han analizado el aire, y no

### Azufre en la azotea

Vecinos y autoridades polemizan por el grado de contaminación en el Campo de Gibraltar

ANTONIO JIMĖNEZ BARCA Madrid Raquel Neco, de 33 años, subió una mañana de julio a la azotea de su casa, en la barriada de Puente Mayorga, en San Roque (Cádiz), y recibió en la cara una bofetada do olor a azufre. Un polvillo naranja caído del cielo había manchado to-respira veneno. Ahora, cast caida del cielo también, le ha llegado un aliado de nombre estrambótico con el que no contaba: la Brigada del Cubo, un grupo de ecologistas estadounidenses especializado en luchar contra plantas petrolíferas del tamaño de ciudades, que ha ganado demandas en California y Luisiana y que ya ha desembarcado en la bahía de Algeciras para analizar el aira. Y aseguran que lo analizado en un punto pegado a la refineria contiene 22 veces más benceno de lo permitido. Las organizaciones ecologistas de la zona calculan que 3.000 personas viven, como Raquel, pegadas al complejo industrial, y que 15.000 están directamente afectadas.

Todo empezo, como otras co-

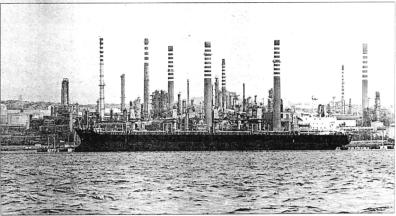
industrial, y que 15.000 están directamente afectadas.

Todo empezó, como otras comando sopla levante, el mal olor — sos en Cádiz, con el viento: cuando sopla levante, el mal olor — sos supuestos elementos tóvicos — viaja hacia Algeciras o San Roque; cuando sopla poniente, la peste se balancea hacia Gibraltar Y fue desde Gibraltar dede donde el Environmental Safety foroup envió nu SOS a los miembros de la Brigada del Cubo: "Decidimos invitar a Denny Circumo de los miembros más destacados de este grupo, para que nos ayudara, y aceptó, vino, se espantó de lo que vio, nos espantó a utilizar su cubo, y se fue", explica Janet Howitt, miembro del grupo ecologista.

El cubo que da nombre al moderne al moderne de la male de la cuerta de la cultura de la cu

se espaintute to que vio riso tare, a combina a utilizar su cubo, y se fue", explica Janet Howitt, miembro del grupo cologista.

El cubo que da nombre al mosimiento nació en California en 1995, cuando Edward Masry, un abogado que acusaba a una refineria de contaminar la vida de los vecinos de Contra Costa County, espoleó a un ingeniero ma barato y transportable que permitiera a comunidades pobres recolectar por su cuenta muestras de aire supuestamente contaminado. El ingeniero lo jeró: incorporó determinadas válvulas y una bolsa de plástico a un cubo metálico normal y corriente. El principio básico es sim-



ple: hacer el vacío en el cubo mientras la bolsa que contiene se va llenando del aire que lo rodea. Masry a su vez consiguió que las muestras recogidas fueran consideradas por la Agencia Norteamericana de Medioambiente. Había nacido un arma pequeña pero efectiva contra algunas industrias petrollieras. El abogado de la idea es el jefe del gabinet donde trabajó Erin Brockovich, la mujer que consiguió doblegar una planta química y personaje

laboratorio californiano recomendado por Larson. Tres resultaron inocuas. Pero en la de La
Colonia aparecieron 110 microgramos de benceno por metro cúbico —lo permitido es cinco— y
riveles de disulfuro de carbono,
touleno y ácido sulfihidrico tambien por encima de lo estipulado.
Un portavoz de la refineria Gibraltar de Cepsa califica de "fantasmuda" la acción de los brigadistas. "No se mantiene desde el
punto de vista científico. Noso-

tros hacemos nuestras muestras, con sistemas más elaborados que ses del cubo. Y no sólo nosotros. También la Junta de Andalucia lo hace y nos controlar, añade. Y concluye: "Esta planta da trabajo a más de 3.000 personas. Y el poligono entero, a 30.000 e. 100 de 100 dia, alguien en la planta comentaba que mientras en San Fernando protestan porque sellevan los astilleros, aqui lo hacen para que se vayan las fábricas". Juan Luis Ramos, profesor del CSIC, lleva más de un año, por encargo de la Junta de Andaucia, analizando el aire y el agua de la zona. "Y en todas las mediciones la media de beneeno y de tolueno no ha sobrepasado nunca los límites permitidos", asegura. En el caso del beneeno, la media en La Linea es de 1,4 microcramos por metro cúbico. En Los Barrios, es de 0,5. Los ecologistas replican que estas localidas están la varios kilómetros donde ellos mideron. Responsable", añade. Mientras, los vecinos siguen protestando: el miércoles, una cincuentena se concentró cerca de la refinería. Una de ellas, Francisca Ruiz, de 55 años, asegura que desde los 13 es asmática. Otra. Ana Luz Mateos, de 47 años, quiere hacer "una lista de muertos de cáncer y otra de los condenados a muerte". En esto, la Junta de Andalucia es terminante: "La Escuela Andaluza de Consejería de Medio Ambiente. El ecologista Uceda le responden: "Que vayan al sitio donde medimos aquella noche. Y que nos demeustren que es mentira lo de benecno".

### Dependencia económica



CANDIDO ROMAGUERA
Algeciras
Los problemas medioambientales en el arco
de la Bahia de Algeciras no son nuevos, a pesar de que en los últimos dos meses las protestas de los ecologistas y
vecinos de las zonas
más próximas al poligono industrial que recoreto do el litoral de los
municipios de Algeciras, Los Barrios, San
Roque y La Linea, se
han incrementado considerablemente.

Mensajes como
"Nos están robando
hasta las estrellas" y
"No estamos locos", escrito sobre una imagen
de Don Quijote luchando contra chimeneas o
"No más cáncer"; cuelgan desde hace días en
algunos de los balcones
de estos barrios.

Los vecinos en esta
coasión no se encuentran solos ya que se han
visto reapaldados en
sus últimas protestas
por el Ayuntamiento
de San Roque, Durante
15 días del verano pasado, los 3.000 habitantes

de Pueste Mayorga, Campamento y Guada-rranque (barriadas de San Roque) tuvieron que soportar irritacio-nes, vómitos y proble-mas respiratorios, entre otras afecciones, por es-capes de dióxido de azu-fre. La situación medio-ambiental no es la más idónea nel Campo de Gibraltar, donde a epi-

sodios como los ocurri-dos este verano hay que sumar otros como el es-cape radioactivo ocurri-do en la siderúrgica Acerinox, en Los Ba-rrios, el 30 de mayo de 1998, los continuos ver-tidos de hidrocarburos a las aguas de la Bahía, procedentes de Gibral-tar, o la famosa visita del submarino nuclear

británico Tireless, cuya presencia provocó la mayor respuesta social vivida en esta comarca. No obstante, los campogibraltareños saben de la dependencia que su economía tiene de estas fábricas que conforman el primer poligono industrial de Andalucia, que comprende, además de la refineria, dos centres de comprende, además de la refineria, dos centres de certricidad y una factoria de acero inoxidable, entre otras plantas. Del complejo dependen unos 30,000 puestos de trabajo. A pesar de ello esta "dependencia" no fue obstáculo para que el concejal de urbanismo del Ayuntamiento de San Roque, el independente de Unidad por San Roque, el independente de septiembre "el progresivo desmantelamiento de las fábricas que se encuentran en su municipio", algo que fue contestado por sindicatos y organizaciones empresariales.