

Una propuesta de actuación para la enseñanza de una química sostenible

Carmen Orozco Barrenetxea,* Antonio Pérez Serrano y M.^a Nieves González Delgado

Resumen: En este trabajo se plantea la posibilidad de utilizar diversas estrategias para familiarizar a los estudiantes de Química con los aspectos ambientales de la misma y presentarla al mismo tiempo como una Ciencia cercana al contexto personal, social y académico del alumnado. Se proponen diversos ejemplos, aplicados a diferentes ramas de la Química, de enunciados ambientales para problemas numéricos y cuestiones teóricas y se comparan dichos enunciados con la redacción habitual de cuestiones semejantes. Se incluyen también algunos comentarios y conocimientos ambientales que permiten incluir los enunciados alternativos sugeridos.

Palabras clave: Química sostenible, química general, enunciados problemas y cuestiones, medioambiente, enseñanza-aprendizaje.

Abstract: The present text proposes diverse strategies that could be used in order to (i) get Chemistry students acquainted with environmental Chemistry aspects, and (ii) depict Chemistry as a science in close relationship with students' personal, social and academic context. Diverse examples of environment-related wordings of numerical problems and theoretical questions are presented. They are compared to the usual statements of similar problems. These examples apply to different Chemistry disciplines. Finally, some remarks and environmental knowledge that help incorporate the suggested alternative wordings are included.

Keywords: Sustainable chemistry, general chemistry, problems and wordings of questions, environment, teaching-learning.

Introducción

Actualmente, el estudio de la Química debe abordar necesariamente los aspectos ambientales asociados a la misma. El alumnado debe considerar la Química como una Ciencia necesaria para el desarrollo de la sociedad actual,^{1,2} comprometida con el medio ambiente³ y capaz de compatibilizar el desarrollo económico e industrial con el desarrollo sostenible.^{4,5} Es imprescindible que los estudiantes capten la enorme aportación que la Química realiza al conocimiento, control y minimización de los problemas ambientales, evitando las posibles agresiones que una actuación inadecuada puede ocasionar. Por todo ello, familiarizar a los estudiantes de Química con los aspectos ambientales de esta Ciencia es un objetivo prioritario no sólo para conseguir incrementar su interés por la misma sino, fundamentalmente, para el cuidado del medio natural y la creación en ellos de una conciencia ambiental que les encamine a ser en un futuro profesionales y ciudadanos con un alto grado de responsabilidad en este aspecto.

No obstante, cuando se analizan textos y/o materiales empleados en el proceso de enseñanza-aprendizaje de esta Ciencia, se detectan con frecuencia ciertas formas de actuación que no contribuyen a conseguir el objetivo indicado. Así, podría señalarse que:

- No se observa que se haga un uso importante de las referencias ambientales en las cuestiones teóricas y problemas numéricos propuestos.
- No se asume suficientemente la dimensión ambiental de los procesos químicos por lo que, en muchas ocasiones, se encuentran referencias a procesos industriales, en los que no hay ninguna alusión a la producción de vertidos al ambiente.

- Los tratados de prácticas de laboratorio suelen obviar aspectos inherentes a la generación y gestión de residuos, lo que impide que el alumnado asimile la dimensión ambiental de los procesos y la necesidad de gestionar de forma correcta las consecuencias de los mismos.
- Muchos textos de Química General no incluyen todavía ningún capítulo referente a Química Ambiental.

Para superar estas carencias, se podrían proponer diversos tipos de acciones, aunque en este trabajo se hará referencia únicamente a la posibilidad de introducción de temas ambientales en la redacción de problemas numéricos y cuestiones.

Un temario estándar de Química General abarca aspectos referentes a estequiometría, estructura de la materia, estados de agregación, sistemas dispersos, termoquímica y cinética, equilibrios químicos, química descriptiva, etc., campos todos ellos en los que está involucrada, de una u otra forma, la Química Ambiental, que destaca por ser la más interdisciplinar de las ramas de la Química.⁶ Para cualquiera de estas materias se pueden proponer cuestiones con enunciados medioambientales⁷ que, por un lado, incrementan la motivación de los alumnos por el estudio de esta Ciencia y, por otro, al situar la materia objeto de estudio en su contexto personal, social y académico,⁸ favorecen el cuestionamiento y la búsqueda de respuestas reflexivas para comprender el mundo en que viven. Además, los grados de dificultad pueden ser muy diversos, pudiendo plantearse cuestiones sencillas o ejercicios relativamente complejos, dependiendo del nivel de enseñanza al que se dirijan.

Propuesta de actuación

A continuación se plantean algunos ejemplos, referentes a distintas materias y se analizan las ventajas de los enunciados que se proponen. El esquema utilizado para comentarlos será siempre el mismo: para diferentes temas de Química General se propone en primer lugar un enunciado habitual en la bibliografía para un determinado tipo de problema/cuestión y, a continuación, en letra cursiva, se presenta el mismo problema/cuestión con un enunciado que permita introducir, resaltar, o comentar aspectos medioambientales. Por último, se hace una breve indicación de los conceptos ambientales que el enunciado alternativo permite incidir y explicar.



C. Orozco



A. Pérez



M.^a N. González

Departamento de Química, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Burgos. C/Villadiego s/n, 09001 Burgos, C-e: qporozco@ubu.es

Recibido: 16/01/2007. Aceptado: 03/07/2007.

Una propuesta de actuación para la enseñanza de una química sostenible

Estequiometría:

- **Enunciado habitual:** Calcule la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar totalmente 150 mg de etanol, si el rendimiento del proceso es del 70%.

Enunciado alternativo: La Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) es la cantidad de oxígeno que necesitan consumir los microorganismos aerobios para oxidar la materia orgánica biodegradable del agua. Calcule cuál será la DBO_5 de un agua residual con un contenido en etanol de 150 mg/L (ppm) Considere que la DBO_5 es un 70% de la DBO total.

Comentarios y conocimientos que permite introducir el enunciado alternativo:

- Estudiar el parámetro DBO de un agua como medida de materia orgánica de carácter biodegradable.
- Reflexionar sobre el problema de desoxigenación de las aguas debido al consumo de oxígeno en la degradación de la materia orgánica.
- Identificar las unidades de concentración ppm y mg/L en agua.
- Comparar la mayor o menor biodegradabilidad de los compuestos orgánicos según su naturaleza.

Enlace Químico:

- **Enunciado habitual:** Calcule la longitud de onda de las radiaciones capaces de romper los enlaces de las siguientes especies:

H_2O : 337 kJ/mol; O_2 : 495 kJ/mol; N_2 : 943 kJ/mol

¿A qué zona del espectro electromagnético corresponden?

Enunciado alternativo: Las energías medias de enlace de algunos de los gases componentes de la atmósfera son las siguientes:

H_2O 337 kJ/mol; O_2 495 kJ/mol; N_2 943 kJ/mol

Indique la zona del espectro electromagnético a que corresponden las radiaciones solares cuya llegada a la tierra podrán impedir los posibles procesos de fotodisociación de estos gases.

Comentarios y conocimientos que permite introducir el enunciado alternativo:

- Estudiar las reacciones de fotodisociación por acción de la radiación solar que sufren algunos de los gases componentes de la atmósfera de nuestro planeta.
- Explicar la importancia de estas reacciones para preservar la vida terrestre ya que impiden la llegada a la superficie terrestre de radiaciones de longitudes de onda pertenecientes a la zona UV del espectro.
- Comentar la diferente composición de las distintas zonas en las que se divide la atmósfera.

Gases ideales:

- **Enunciado habitual:** Calcule la masa correspondiente a 200 mm³ de ozono medidos en condiciones normales de presión y temperatura.

Enunciado alternativo: La atmósfera urbana de una ciudad tiene un contenido en ozono de 200 ppb, medidos a 101,3 kPa de presión y 20°C de temperatura. Sabiendo que el valor umbral de protección a la salud establecido por la legislación es de 110 µg/m³ como valor medio en 8 h, medidos en las mismas condiciones de presión y tempe-

ratura, indique si la atmósfera de la ciudad citada está por encima o por debajo del valor legal.

Comentarios y conocimientos que permite introducir el enunciado alternativo:

- Identificar la unidad de concentración ppb con mm³/m³ y la diferencia entre concentraciones masa/volumen y volumen/volumen en aire, a diferencia de especies en agua.
- Explicar que el ozono troposférico es un importante contaminante atmosférico.
- Conocer la importancia del ozono estratosférico para el desarrollo de la vida en la Tierra.
- Estudiar los niveles de inmisión máximos de este contaminante que fija la legislación atmosférica.
- Comentar las diferencias entre los niveles de protección a la salud y a la vegetación y la relación que se establece entre nivel de concentración y tiempo de exposición.

Disoluciones:

- **Enunciado habitual:** Indique a cuantos µg Pb/L corresponde una concentración $3 \cdot 10^{-5}$ M de nitrato de plomo (II).

Enunciado alternativo: El contenido en nitrato de plomo (II) de un agua es $3 \cdot 10^{-5}$ M. Calcule si dicha agua podrá ser destinada a potable si la legislación indica que el límite máximo permitido para el plomo en aguas que van a ser destinadas a potables es de 50 ppb (µg Pb/L).

Comentarios y conocimientos que permite introducir el enunciado alternativo:

- Conocer la importancia y los efectos que los llamados metales pesados pueden producir cuando están presentes en las aguas.
- Explicar el grave problema de contaminación que puede ocasionar en un agua la presencia de Pb por encima de un nivel que asegure la calidad de la misma.
- Comentar la existencia de legislación específica para aguas potables.
- Recopilar las diferentes legislaciones existentes para los distintos tipos de aguas, según el uso al que vayan destinadas.
- Identificar la unidad de concentración ppb en agua con µg/L.

Equilibrio químico:

- **Enunciado habitual:** Sabiendo que la reacción entre el nitrógeno y el oxígeno para formar monóxido de nitrógeno es un proceso endotérmico, explique cómo se desplazará el equilibrio de formación de este compuesto a medida que se incremente la temperatura de reacción.

Enunciado alternativo: En los motores de explosión de los coches se alcanzan temperaturas de cientos de grados centígrados. Sabiendo que la reacción entre el nitrógeno y el oxígeno para formar monóxido de nitrógeno es un proceso endotérmico, explique por qué el monóxido de nitrógeno es uno de los principales contaminantes gaseosos emitidos por el transporte.

Comentarios y conocimientos que permite introducir el enunciado alternativo:

- Explicar que los óxidos de nitrógeno se formarán en cualquier proceso de combustión que utilice aire como comburente.

- o Comentar que la presencia en la atmósfera de NO_x está relacionada con la formación de smog fotoquímico y con los fenómenos de lluvia ácida.
- o Relacionar la cantidad de NO_x emitidos con la temperatura de combustión.
- o Conocer las posibilidades de actuación en los vehículos para minimizar las emisiones de estos óxidos.

Equilibrios en solución acuosa:

Oxidación-reducción

- **Enunciado habitual:** Calcule la cantidad de solución de KMnO_4 2 M necesaria para oxidar hasta Mn(IV), en medio básico, todo el Mn(II) existente en 96.000 m³ de una disolución que contiene 320 µg Mn(II)/L. Ajuste previamente la reacción redox que tendrá lugar.

Enunciado alternativo: La concentración de Mn(II) en un agua destinada a potable es de 320 ppb. Si para alcanzar las condiciones exigidas en la legislación de aguas potables se decide eliminar este componente por oxidación a Mn(IV) y posterior precipitación como óxido de manganeso (IV), calcule la cantidad diaria de disolución de KMnO_4 2 M que será necesaria utilizar en una planta potabilizadora que trata 4000 m³/h de agua. Ajuste previamente la reacción redox que tendrá lugar si el agua a tratar tiene un pH básico.

Comentarios y conocimientos que permite introducir el enunciado alternativo:

- o Estudiar un procedimiento de eliminación de una especie no admisible en el agua.
- o Conocer los límites permisibles que la legislación establece para determinadas especies.
- o Introducir magnitudes que se utilizan en el mundo real como el caudal horario de agua suministrada por una planta potabilizadora o el consumo diario de reactivos.

Ácido-base

- **Enunciado habitual:** Calcule el pH de una solución 3.10⁻⁴ M de cloruro amónico. (Nota: haga los cálculos a 25°C).

Enunciado alternativo: La velocidad de corrosión del hierro se incrementa notablemente a pH inferior a 4,5. Calcule si puede sufrir corrosión una tubería que se emplea para la recogida de un agua residual que contiene una solución 3.10⁻⁴ M de cloruro amónico. (Nota: haga los cálculos a 25°C).

Comentarios y conocimientos que permite introducir el enunciado alternativo:

- o Estudiar la corrosión que pueden sufrir las tuberías de hierro.
- o Explicar la importancia del valor del pH en la velocidad de corrosión.
- o Comentar que este grave problema puede producirse por vertidos de sustancias que, en principio, no son consideradas como muy problemáticas.
- o Explicar cómo la incorporación de Fe al agua alteraría la calidad de la misma.
- o Relacionar algunos problemas de contaminación o

- de calidad de aguas con la degradación de materiales.
- o Conocer algunos métodos para paliar esta degradación.

Solubilización-precipitación

- **Enunciado habitual:** Calcule la concentración de ión sulfato remanente en el agua cuando se ha procedido a la precipitación estequiométrica de sulfatos por adición de cloruro de calcio. (Nota: haga los cálculos a 25°C).

Enunciado alternativo: Para eliminar los sulfatos contenidos en el agua residual de una industria, se ha procedido a su tratamiento adicionando cloruro de calcio en cantidad estequiométrica. Calcule cuál será el contenido en sulfatos del agua una vez tratada y comente si considera este método eficaz para reducir el vertido por debajo de las 2000 ppm admitidas como máximo en la legislación para vertido a cauce público. (Nota: haga los cálculos a 25°C).

Comentarios y conocimientos que permite introducir el enunciado alternativo:

- o Explicar que las reacciones de precipitación son habituales en los tratamientos físico-químicos de depuración de aguas residuales industriales y urbanas.
- o Comprobar que, según sean las condiciones de trabajo, puede quedar un remanente de contaminante por encima de lo establecido en la legislación.
- o Comentar el tipo de medidas a tomar, o los cambios oportunos a introducir en el tratamiento, para mejorar el resultado.

Química Orgánica:

- **Enunciado habitual:** Explique cómo las reacciones de cloración de estructuras m-dihidroxibencénicas pueden conducir a la formación de clorometanos.

Enunciado alternativo: Los trihalometanos son compuestos cancerígenos que se producen en la desinfección de las aguas con cloro, siendo el cloroformo uno de los más importantes. Si las metilcetonas originan dicho compuesto al experimentar la reacción del haloformo, explique por qué los compuestos con estructuras m-dihidroxibencénicas (presentes por ejemplo entre las sustancias húmicas del agua natural) pueden ser importantes precursores de dichos contaminantes. Aplique el concepto de tautomería.

Comentarios y conocimientos que permite introducir el enunciado alternativo:

- o Estudiar la problemática ocasionada por la desinfección de aguas potables por cloración.
- o Conocer un grupo de contaminantes orgánicos importantes, los trihalometanos, y la legislación referente a los mismos.
- o Comprobar que sustancias naturales presentes en el agua pueden ser precursoras de este tipo de contaminantes.
- o Debatir sobre el principio de precaución ante la resolución de cualquier problema ambiental.

Química Nuclear:

- **Enunciado habitual:** Sabiendo que el período de semi-desintegración del ²³⁹Pu es de 2,410.10⁴ años, calcule el tiempo que debe transcurrir para que su actividad decaiga en un 95%.

Una propuesta de actuación para la enseñanza de una química sostenible

Enunciado alternativo: *Un residuo de alta actividad, proveniente del combustible gastado de una central nuclear contiene un 0,9% de ^{239}Pu . Calcule el tiempo de almacenamiento del mismo que debe garantizarse para que no origine daños al medio ambiente, sabiendo que el período de semidesintegración del ^{239}Pu es de $2,410 \cdot 10^4$ años y que el residuo resulta inocuo cuando ha perdido un 95% de su actividad radiactiva.*

Comentarios y conocimientos que permite introducir el enunciado alternativo:

- Explicar la naturaleza de los productos que se originan en una central nuclear.
- Comentar los peligros que puede producir el mal uso de los mismos.
- Introducir el problema de la necesidad de control y almacenamiento definitivo de los residuos nucleares de alta actividad durante períodos de tiempo elevados.

Conclusiones

Los ejemplos expuestos son una breve muestra que indica cómo se pueden utilizar ejercicios, de los que de forma reiterada se resuelven al estudiar diferentes partes de Química, para ir iniciando a los estudiantes en diversos aspectos de las ciencias medioambientales,⁹ al tiempo que se aprenden y explican conceptos químicos fundamentales. Se considera que la utilización de este tipo de enunciados va creando un poso de conocimientos relacionado con el tema de contaminación ambiental y va familiarizando al alumnado con situaciones reales, parámetros de medida de calidad, existencia de diferentes legislaciones, procedimientos de actuación, etc., lejos del carácter abstracto que en ocasiones presenta la enseñanza de esta Ciencia.¹⁰

Aunque, en un principio, los enunciados medioambientales pueden aumentar la dificultad de comprensión frente a los enunciados tradicionales, dado que son más extensos, este hecho no debe ser un inconveniente porque puede fomentar en el alumnado capacidades y habilidades de alto interés como la lectura comprensiva, la facultad de relación de distintas materias, la comprensión de la necesidad de las ciencias básicas para las aplicaciones tecnológicas, etc. La consecución de todos estos objetivos debe ser uno de los pilares básicos de la enseñanza de Química.² Esta propuesta con enunciados medioambientales no propugna, para todas las situaciones, la supresión de cuestiones con enunciados más sencillos (escuetos) o tradicionales sino plantearlos de forma secuencial a los mismos.

Los autores han valorado como altamente satisfactoria la experiencia de implementar esta actividad en clases de Química en enseñanzas técnicas. Al presentar dos posibilidades como las aquí recogidas, la mayoría de los estudiantes mostraba su preferencia por la denominada "alternativa medioambiental", lo que se demostró en las opiniones recogidas del alumnado durante varios años. Además, al resolver problemas numéricos y ejercicios prácticos de este tipo, adquirieron conciencia de la relevancia de la Química en otras ramas del conocimiento como la Ingeniería Ambiental y aumentó su capacidad de razonamiento para comprender los principios de los conceptos básicos de la Química Verde y las Tecnologías Limpias.^{11,12}

Para concluir, se quiere señalar la oportunidad de poner en práctica acciones como la indicada, dado que contribuyen a alcanzar objetivos de carácter marcadamente profesional y social, fomentando el componente transversal de las diferentes materias cuya importancia y relevancia en la formación del alumnado se reconoce en las directrices promulgadas para la elaboración de nuevos Planes de Estudio en el nuevo marco del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES).¹³

Bibliografía

- [1] Informe All Chem. E., Química: Europa y el futuro (I), *Anales de la Real Sociedad Española de Química*, **1999**, Vol. 95, nº2, p. 45–49
- [2] Informe All Chem. E., Química: Europa y el futuro (III). Energía y procesos. La Química y la Sociedad, *Anales de la Real Sociedad Española de Química*, **1999**, Vol. 95, nº4, p. 32–39
- [3] Informe All Chem. E., Química: Europa y el futuro (II). La conservación de nuestro planeta. *Anales de la Real Sociedad Española de Química*, **1999**, Vol. 95, nº3, p. 33–35
- [4] Collins, T., "Hacia una Química Sostenible". En: Blound, E. y col. *Industria como naturaleza. Hacia la producción limpia*. Los Libros de la Catarata, Madrid **2003**, p.87–92.
- [5] Mestres, R., "Hacia la calidad ambiental a través de la Química", *Anales de la Real Sociedad Española de Química*, **2003**, Vol. 99, nº 3, p. 58–65
- [6] Connell, D. W., *Principles of Environmental Chemistry, Basic Concepts of Environmental Chemistry*, Lewis Publishers, Boca Ratón, Florida **1997**, p.7–10.
- [7] Orozco Barrenetxea, C., González Delgado, M. N., Alfayate Marcos, J. M., Pérez Serrano, A., Rodríguez Vidal, F. J., *Contaminación Ambiental: Cuestiones y problemas resueltos*, Madrid: Editorial Thomson, **2004**. ISBN 84–9732–188–X.
- [8] Edward, M., Gil, D., Vilches, A., Praia, J., La atención a la situación del mundo en la educación científica, *Enseñanza de las Ciencias*, **2004**, vol. 22, nº 1, p. 47–64.
- [9] Orozco C., Pérez A., González M.N., "Hacia la Enseñanza de una Química Sostenible". En Fraga López, F. Y col. *Perspectivas de la Química Española para el siglo XXI, XXX Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Química*, (Lugo, 2005). Universidad de Santiago de Compostela 2005.
- [10] De Manuel Torres, E., "Química cotidiana y currículo de Química", *Anales de la Real Sociedad Española de Química*, **2004**, Vol. 100, nº1, p. 25–32.
- [11] Anastas, P. T. y Warner, J. C., *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxford University Press, **1998**.
- [12] Geiser, K., "Química Verde: Diseño de procesos y materiales sostenibles". En: Blound, E. y col. *Industria como naturaleza. Hacia la producción limpia*. Los Libros de la Catarata, Madrid **2003**, p.93–100.
- [13] Colás Bravo, P. "La formación Universitaria en base a Competencias". En Colás Bravo, P y De Pablos Pons, J. (coords). *La Universidad en la Unión Europea, El Espacio Europeo de Educación Superior y su impacto en la Docencia*, p. 101–123, Ediciones Aljibe, **2005**.