

Los estudios de posgrado en química sostenible en España

Antonio de la Hoz Ayuso*

ABSTRACT (Graduate studies about sustainable chemistry in Spain)

One of the most important objectives of the Green Chemistry is education. The next generations of chemists have to be educated in the most important Green Chemistry issues. Today, most chemistry textbooks do not use the concepts of Green Chemistry. For instance, atom economy is not still used as a necessary component in planning the synthesis of a compound.

In consequence an important effort should be used in education. Several chemical Societies have developed educational projects with the development of textbooks, summer courses and post graduate studies in Green Chemistry.

In Spain the Red Española de Química Sostenible (REQS, Spain Green Chemistry Network) has developed several educational initiatives. The most important is the postgraduate studies in Green Chemistry (Doctorate and Máster in Green Chemistry). This is an interuniversity program concerning nine Universities and researchers from fifteen universities and four public research institutes.

KEYWORDS: Green Chemistry education, Máster degree, Interuniversity, REQS

"Los químicos tienen como responsabilidad profesional servir al interés público, al bienestar y al avance del conocimiento científico. Los químicos deben preocuparse de la salud y el bienestar de sus compañeros, consumidores y la comunidad. Los químicos deben comprender y anticiparse a las consecuencias medioambientales de su trabajo. Los químicos tienen la responsabilidad de evitar la contaminación y de proteger el medioambiente" (Código de conducta de la American Chemical Society¹).

La química está presente en cada una de nuestras actividades diarias y en todos y cada uno de los objetos que nos rodean. De modo cotidiano, la química está en contacto con cada uno de nosotros, es una ciencia que nos ayuda a alimentarnos, a vestirnos, a desplazarnos, a sanar enfermedades. A alojarnos e incluso nos entretiene (los CD, los DVD, etcétera, están fabricados con productos químicos). La química parti-

cipa de un modo directo e inevitable en cada una de las etapas de obtención de un determinado producto o material, desde su diseño inicial hasta su adquisición por el consumidor. Por tanto, la repercusión de la química en la vida de los ciudadanos es muy grande. La química es una ciencia central que crea sus propios objetivos. Algunos materiales como los plásticos, que han cambiado el mundo en el siglo XX y lo seguirán haciendo en el siglo XXI, no existían antes de que un químico los preparara por primera vez.

La mayoría de los compuestos y materiales que intervienen en nuestra vida han sido preparados a través de procesos industriales en los que interviene la química. Durante décadas estos procesos se han realizado sin tener en cuenta su repercusión en el medio ambiente, siendo en muchos casos muy contaminantes.

Es cierto que la mayoría de la contaminación no proviene de las industrias químicas (figura 1). Sin embargo, en muchos de los accidentes están implicados productos químicos en cualquier etapa de la producción o transporte (figura 2) y la mayoría de las fuentes de contaminación son productos químicos.

Muchos agentes contaminantes son sintéticos y se vierten al medio ambiente de manera continua por las industrias; pérdidas de fluidos o materiales residuales que se vierten a los medios acuosos naturales. Una proporción importante de los productos químicos diseminados en el medio ambiente son vertidos por otras actividades humanas que utilizan productos químicos: agricultura, industria textil, construcción, automóvil, limpieza, farmacéutica, etcétera.

Las leyes medioambientales han aumentado de manera exponencial en los últimos años (figura 3). Sin embargo, la

* Facultad de Química. Universidad de Castilla-La Mancha. 13071 Ciudad Real. España.

¹ Este documento, denominado inicialmente en inglés "The Chemist's Creed", fue aprobado por el Consejo de la ACS en 1965. Posteriormente, en 1994, se aprobaron los principios del "Chemist's Code of Conduct", que reemplazó al "Chemist's Creed". Este código de conducta se renovó y sustituyó nuevamente en 2007 por "The Chemical Professional's Code of Conduct", para que reflejara de mejor manera los tiempos de cambio y las tendencias actuales de la sociedad.

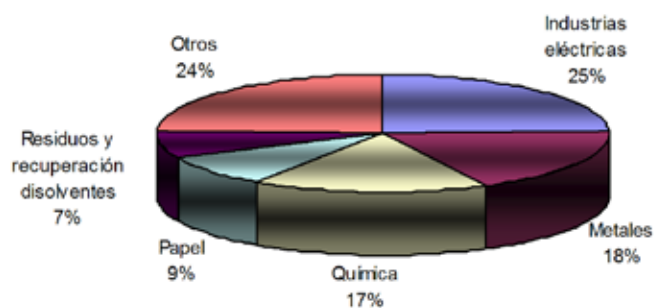


Figura 1. Fuentes de contaminación en Estados Unidos, año 2001. (Fuente: Chem&Eng News, 2004, June, 7, p 8)

mayoría de ellas se han basado en prevenir el vertido de sustancias tóxicas en el medio ambiente, es decir, en el reciclado, tratamiento y eliminación de residuos, en criterios económicos y de ingeniería. Este aumento exponencial ha provocado también un aumento en los costes de producción industrial.

En Estados Unidos, la Pollution Prevention Act (Acta de Prevención de la Contaminación) de 1990 estableció la reducción de los vertidos como la mayor prioridad para resolver los problemas medioambientales. A raíz de esta ley se produce un movimiento desde la idea de “control” de los problemas medioambientales hacia la “prevención” como la estrategia más efectiva, es decir, un enfoque basado en prevenir la formación de residuos desde el origen. En este sentido la Pollution Prevention Act puede considerarse como el primer precursor de la química sostenible.

La última normativa general es la normativa REACH (por las siglas en inglés de Registration, Evaluation, Authorisation and restriction of CHEMical substances) que entró en vigor en Europa en 2007 y pretende la regulación de los productos químicos y su uso de manera segura. Tiene en cuenta el registro, evaluación, autorización y restricción de sustancias químicas.

La química sostenible (Green Chemistry) puede definirse

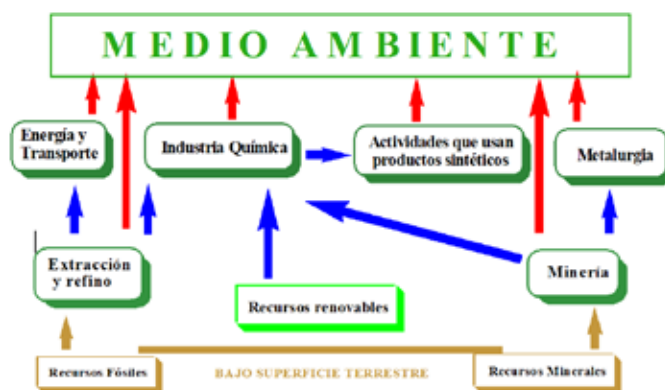


Figura 2. Origen de la contaminación química.

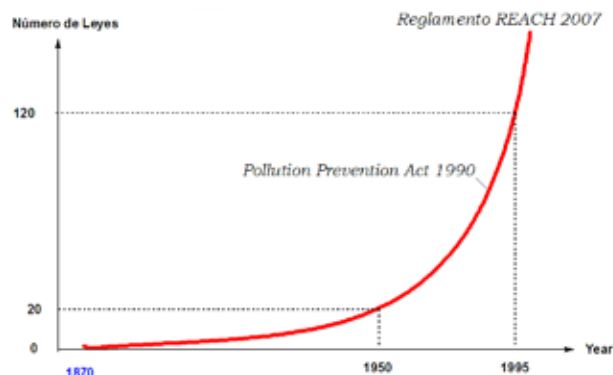


Figura 3. Proliferación de leyes medioambientales.

como el diseño de productos químicos y procesos que reducen o eliminan el uso y generación de sustancias nocivas. El término Green Chemistry fue introducido por Anastas y Warner (Anastas, 1998) y describe los esfuerzos de los químicos para desarrollar procesos y productos que prevengan la contaminación y que sean seguros tanto para los seres humanos como para el medio ambiente. Los 12 principios enunciados por Anastas y Warner son ya un clásico de la química.

El desarrollo de la química sostenible en los últimos 10 años ha sido espectacular. Se han creado instituciones en todo el mundo (ACS Green Chemistry Institute, EEUU; Monash University Centre for Green Chemistry, Australia; Green & Sustainable Chemistry Network, Japan; Green Chemistry Network, Royal Society of Chemistry, Reino Unido), los Presidential Green Chemistry Awards en EEUU y revistas científicas entre las que hay que destacar la revista *Green Chemistry* creada en 1999 por la Royal Society of Chemistry (índice de impacto 4,836 en 2007) a la que hay que sumar las revistas *ChemSusChem* y *Green Chemistry Reviews and Letters* publicadas desde 2008 por Wiley y Taylor & Francis respectivamente.

La industria química también se ha posicionado a favor de la química sostenible ya que además de las ventajas medioambientales, como la reducción de residuos o la seguridad, la química sostenible supone también un considerable ahorro en el tratamiento y eliminación de residuos. Por ello, la creación de la Plataforma Tecnológica de Química Sostenible (SUSCHEM) a nivel europeo y también en España (SUSCHEM España) revela que el sector industrial ha asumido los planteamientos de la química sostenible como una necesidad fundamental para su trabajo futuro. En los próximos años no habrá industria química en Europa si no se adapta a los conceptos y principios de la química sostenible. Este hecho se hará cada vez más patente conforme progrese la implantación de una normativa común europea, en particular con la puesta en marcha del REACH, que generará un contexto legal que hará inviable cualquier otra alternativa.

La educación en química sostenible (Química Verde) representa un auténtico desafío a nivel mundial para nuestro

futuro próximo y requiere la participación de actores muy diferentes. Entre éstos, cabe considerar a los gobiernos, a las universidades, a los centros de investigación, a las propias industrias, a las agencias no gubernamentales, a los medios de comunicación, etcétera. Sin embargo, parece claro que, en este ámbito, son los químicos y los ingenieros químicos, en particular aquellos que están involucrados en actividades educativas, los que deben jugar un papel primordial. De acuerdo con ello, se requiere que las instituciones educativas, y muy particularmente las universidades, realicen un esfuerzo importante en este campo de modo que sean capaces de educar a los formadores en química sostenible y preparar adecuadamente a los investigadores y profesionales, presentes y futuros, que están actualmente o estarán en el futuro involucrados en la química del siglo XXI.

Actualmente los libros de texto de química orgánica, ni siquiera los de síntesis orgánica, no utilizan los conceptos de la química sostenible. En muchas ocasiones se omiten los productos secundarios y concomitantes de las reacciones e incluso el disolvente empleado o la concentración. A pesar de su utilidad sintética y medioambiental, la economía atómica no se trata como un componente necesario para comprender las reacciones. Solamente la catálisis está presente de modo general pero por su eficacia sintética y no desde el punto de vista medioambiental.

Sin embargo las próximas generaciones de científicos deben ser entrenados en las metodologías, las técnicas y los principios generales de la química sostenible. Es una demanda de la industria cada vez más importante.

La educación en química sostenible debe incluir actividades a niveles muy diferentes. Los conceptos generales de sostenibilidad y de química sostenible deben presentarse al público en general de una manera simplificada y comprensible a través de los medios de comunicación. Igualmente, algunos de estos conceptos deben introducirse en los niveles preuniversitarios de enseñanza, lo que, lógicamente, requiere una formación específica de los educadores en los distintos niveles de la misma. Si consideramos la formación de los profesionales de la química, resulta evidente que dichos conceptos deben introducirse, aunque también de una forma relativamente simplificada, en los currícula de grado en las universidades. Por otro lado, la celebración de cursos de verano en Química Verde o química sostenible juega también un papel importante a la hora de introducir en este campo a los estudiantes recién graduados o en las últimas etapas de sus estudios de grado, dándoles una visión general pero más profunda del área.

Varias sociedades químicas han asumido el reto y lideran los proyectos educativos en este campo con el desarrollo de libros de texto (Lancaster, 2003; Doxsee, 2004), casos estudiados, experimentos de laboratorio (Proyecto NOP, Leadbeater, 2007, Roesky, 2009), cursos de verano del "Interuniversity National Consortium 'Chemistry for the Environment'" (INCA), herramientas docentes y de laboratorio (Proyecto Beyondbenign), simposios educacionales, etcétera.

Sin embargo, parece claro que el esfuerzo educativo fundamental tiene que producirse al nivel del posgrado. Por un lado, se requiere la elaboración de cursos de formación muy focalizados sobre temas específicos dirigidos a los profesionales actuales que necesitan conocer con detalle, de modo inmediato, algún elemento muy definido dentro de este ámbito. Por otro lado, la preparación de profesionales de la química con una alta preparación y cualificación en el área de la química sostenible requiere la elaboración de los currícula correspondientes que lleven a la obtención del grado de Máster en Química Sostenible e igualmente al grado de Doctor en Química Sostenible.

En los últimos años se han desarrollado los primeros programas de grado de química sostenible y los primeros Máster en Química Sostenible especialmente en el Reino Unido, Estados Unidos, Australia y Japón.

En España en el año 2002 se crea la Red Española de Química Sostenible (REDS) como un consorcio de investigadores de varias universidades y centros de investigación, con los siguientes objetivos:

- Promover el conocimiento, la educación y la investigación en Química Verde, así como su uso y aplicación industrial.
- Potenciar la cooperación entre sus miembros, el impulso de iniciativas comunes, el intercambio de experiencias y conocimientos para el desarrollo, difusión y aplicación industrial de la Química Verde.
- Fomentar la relación con otras organizaciones e instituciones científicas, así como departamentos, agencias y administraciones gubernamentales.
- Presentar proyectos cooperativos de investigación a los diferentes programas públicos de ámbito estatal, europeo e internacional.
- Diseminar la capacidad de investigación e innovación de sus miembros hacia la comunidad científica mediante la participación y organización de conferencias, cursos, jornadas y escuelas de verano.
- Promover la transferencia de tecnología mediante reuniones entre centros de I+D y empresas (*brokerage events*).

Desde entonces se han establecido varios proyectos conjuntos de investigación, la REQS participa activamente en la plataforma SusChem España.

También se ha encargado de la difusión de la química sostenible a través de la Jornadas de Química Verde.

En cuanto a la docencia universitaria, se han organizado cursos de verano en la Universidad Internacional Menéndez Pelayo (UIMP) y Universidad Internacional de Andalucía.

Finalmente desde el año 2003 la Red organiza el Programa de doctorado interuniversitario en química sostenible que ha obtenido la mención de calidad de la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (ANECA) desde la primera convocatoria en el curso 2003-04 hasta el curso 2008-09, siendo una de las primeras iniciativas de este tipo a nivel mundial y uno de los primeros programas de doctorado en conseguir la mención de calidad.

Los objetivos docentes que se persiguen con los programas de posgrado en química sostenible son los siguientes:

- Definir la química sostenible y dar una visión de los desarrollos históricos que han dado lugar al desarrollo de la misma y de otros descubrimientos asociados.
- Establecer los principios de la química sostenible y definir su implementación en la práctica de los procesos químicos industriales.
- Definir las herramientas y las áreas generales de trabajo de la química sostenible. Se presentan las siguientes áreas: i) Empleo de materiales de partida renovables, ii) Economía atómica, iii) Empleo de disolventes más limpios (disolventes en condiciones supercríticas, química en agua, reacciones sin disolvente, etcétera), iv) Condiciones de reacción alternativas (microondas, electroquímica), v) Catálisis: catalizadores ácido-base, catalizadores redox, *imprinting* de catalizadores sólidos etcétera, vi) Biocatálisis: procesos catalizados por enzimas o células enteras, empleo de organismos modificados genéticamente, vii) Fotoquímica y fotocatalisis y viii) Polímeros biodegradables y su uso en procesos químicos.
- Reconocer la toxicidad/peligro como una propiedad física/estructural que puede ser diseñada y manipulada.
- Presentar ejemplos de Procesos Industriales donde se cumplen los principios de la química sostenible.
- Familiarizarse con las tendencias actuales de la química verde para poder realizar un análisis crítico sobre el "grado de cumplimiento" de los postulados de la química sostenible en un determinado proceso industrial.

De acuerdo con estos objetivos, las competencias profesionales mínimas que deben alcanzar los estudiantes implican poseer un conocimiento avanzado de los conceptos generales arriba reseñados de química sostenible, así como de las principales técnicas y metodologías implicadas. Aunque el estudiante pueda haber realizado una intensificación específica en alguna de dichas técnicas y metodologías, se espera que al acabar sus estudios disponga al menos de un conocimiento suficiente de la mayor parte de ellas.

Del mismo modo, un estudiante que finalice este programa de posgrado debe poseer, entre otras, las siguientes aptitudes y destrezas:

- Evaluar el grado de sostenibilidad de un proceso químico o reacción química;
- Evaluar el grado de riesgo de un proceso/reacción química y la toxicidad de los compuestos implicados, y
- Ser capaz de trabajar experimentalmente con varias de las siguientes técnicas:
 - Biotransformaciones.
 - Trabajo con disolventes no convencionales (líquidos iónicos, fluidos supercríticos...).
 - Transformaciones catalíticas.
 - Empleo de técnicas alternativas para el suministro de energía en procesos químicos (electroquímica, fotoquímica, microondas, ultrasonidos...).

Conceptos básicos en Química Sostenible
 Materias primas renovables
 Aplicaciones industriales
 Biotransformaciones Industriales
 Química en agua y disolventes benignos
 Reacciones sin disolvente. Microondas
 Fluidos supercríticos
 Polímeros orgánicos
 Catálisis ácido-base
 Catálisis y oxidantes benignos
 Catálisis enantioselectiva
 Catálisis enzimática
 Microorganismos en Biotransformaciones
 Pilas de combustible poliméricas
 Fotoquímica y electroquímica
 Electroquímica y Química Verde
 Ultrasonidos

Figura 4. Estructura del Programa de Doctorado de química Sostenible.

- Diseñar la modificación de un proceso químico existente con objeto de mejorar su impacto ambiental y la sostenibilidad del mismo.
- Diseñar nuevos productos en función de la sostenibilidad tanto del proceso de fabricación como de los procesos que los utilicen.
- Diseñar nuevos procesos químicos para la preparación de un determinado compuesto con objeto de optimizar la sostenibilidad de los mismos.

Las materias impartidas se encuentran recogidas en la figura 4. En estos programas posgrado participan actualmente profesores de más de 15 Universidades y Centros de Investigación.

Como una evolución del programa de doctorado y para adaptarse al Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) la Red organiza el Máster en química sostenible que ha obtenido la mención de calidad en los cursos 2006-07 a 2008-09. Este Máster de carácter investigador y que por tanto lleva unido un programa de doctorado, será la única opción a partir del curso 2009-2010. Las materias impartidas en sedes comunes se encuentran recogidas en la tabla 1.

El diseño global del máster está basado en el diseño del programa de doctorado adaptándolo a las necesidades del EEES y de los nuevos Grados que resulten de la adaptación de las actuales Licenciaturas al EEES. El Máster tiene carácter modular y los cursos y temas se han agrupado en cuatro bloques:

- Conceptos básicos complementarios de química.
- Conceptos básicos de química sostenible.
- Conceptos y temas avanzados en química sostenible.
- Conceptos y temas avanzados en química sostenible con orientación a la investigación.

Tabla 1. Asignaturas impartidas en sedes comunes del Máster Interuniversitario en química sostenible (bloques 2-4).

Plan de estudios			
Descripción	Tipo	ECTS	Temporalidad
Trabajo fin de Máster	OB	18	2-3S
Asignaturas optativas. Elegir 42 créditos			
Módulo: conceptos básicos en química sostenible			
Conceptos básicos de química sostenible	OP	3	1S
Materias primas renovables	OP	3	1S
Disolventes benignos	OP	3	1S
Módulo: Conceptos y temas avanzados en química sostenible. Orientación investigadora			
Catálisis homogénea	OP	3	1S
Biocatálisis	OP	3	1S
Catálisis inmovilizada	OP	3	1S
Reacciones activadas por medios no convencionales	OP	3	1S
Módulo: Conceptos y temas avanzados en química sostenible. Orientación profesional			
Aplicaciones industriales de la química sostenible	OP	3	1S
Energías sostenibles	OP	3	2S
Catálisis heterogénea	OP	3	1S
Biotransformaciones industriales	OP	3	1S
Fotoquímica y electroquímica ambiental	OP	3	1S
Fluidos supercríticos. Aplicaciones	OP	3	1S
Total a cursar por el estudiante		90	

El primer bloque temático de cursos (Conceptos básicos complementarios en química) pretende complementar la base de conceptos de química e ingeniería química de cada uno de los estudiantes de una manera individualizada, de modo que se alcance un nivel razonable de homogeneidad entre los estudiantes.

Se impartirán en cursos de seis créditos (semestrales, tres horas por semana) en la institución matriz en la que se matricule el alumno. Se incluyen en esta categoría conceptos avanzados en las distintas áreas de química, química analítica, química física, química inorgánica, química orgánica, e incluso materiales, ingeniería y bioquímica.

El segundo bloque (Conceptos básicos en química sostenible/verde) agrupa los cursos y materias más básicos en el campo y pretende proporcionar al estudiante una visión general, de conjunto, de la química sostenible.

La tercera categoría conceptual considerada (Conceptos y temas avanzados en química sostenible/verde con una orientación profesional) desarrollará en más detalle y profundidad algunos de los temas considerados en la segunda categoría, pero con una focalización muy específica hacia sus aplicaciones prácticas. Un estudiante que esté interesado en obtener el grado de Máster sin continuar sus estudios hacia la obtención del grado de Doctor se espera que seleccione preferentemente (pero no exclusivamente) este tipo de conceptos y temas avanzados.

La cuarta categoría (Conceptos y temas avanzados en química sostenible/verde con una orientación hacia la investigación) es similar a la tercera pero considerando con mayor detalle el conocimiento básico necesario para continuar la investigación en estos ámbitos. Naturalmente, este tipo de materias están pensadas preferentemente (pero no de modo exclusivo) para los estudiantes que están interesados en obtener el grado de Doctor en química sostenible.

Los cursos de segunda, tercera y cuarta categorías son de tres créditos y se imparten de manera intensiva en dos sedes comunes (dos semanas). Se incluyen los siguientes conceptos:

- *Disolventes benignos*
Conceptos generales.
Reacciones en agua.
Líquidos iónicos.
Fluidos supercríticos.
Química fluorada.
- *Ingeniería sostenible*
Intensificación de procesos.
Medida de sostenibilidad.
Diseño de reactores y evaluación.
Reacciones a presión.
Monitorización *on-line*.
Gestión de residuos.
- *Catálisis en química sostenible*
Conceptos generales de catálisis.
Catálisis ácido-base.
Catálisis oxidante.
Catálisis enantioselectiva.
Zeolitas y materiales relacionados.
Catálisis soportada.
Aplicaciones industriales catalíticas.
- *Fuentes alternativas de energía*
Bases generales.
Electroquímica.
Fotoquímica.
Pilas de combustible.
Microondas.
Ultrasonidos.
- *Biotransformaciones*
Biotransformaciones.
Biotecnología.
Enzimas en química.
Células y microorganismos en química.
- *Otros temas*
Conceptos generales de química sostenible.
Materias primas renovables.
Aplicaciones industriales de la química sostenible.
Toxicología.

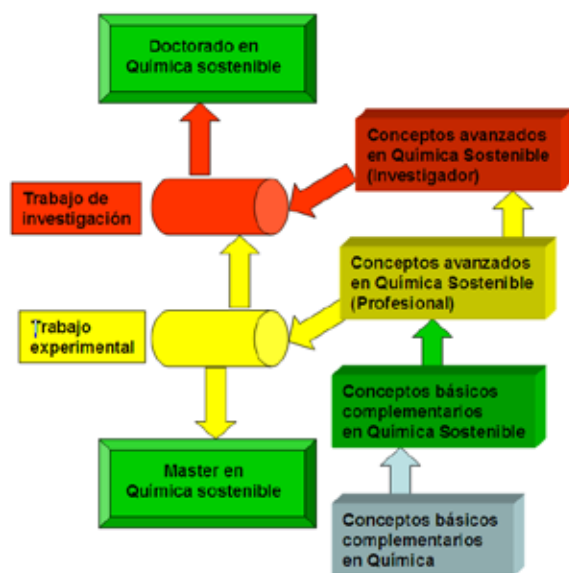


Figura 5. Estructura modular del Máster.

Química medioambiental.
Análisis de riesgos y peligros.
Legislación.
Economía y sostenibilidad.
Metodologías de laboratorio en química sostenible.

Finalmente los alumnos deben realizar un proyecto fin de Máster (18 créditos) que se desarrolla nuevamente en la institución matriz.

El carácter modular de los cursos debe facilitar a los alumnos el diseño de itinerarios con orientación profesional (industrial) o investigador (académico) (figura 5).

La obtención del grado de Máster en Química Sostenible requiere superar un total de 90 créditos (ECTS). Estos 90 créditos incluyen todas las actividades de enseñanza que puedan diseñarse: clases magistrales, cursos prácticos, trabajo experimental, etcétera.

Los procesos de admisión y selección, en su caso, se realizan por la Comisión Académica del Programa de Posgrado en Química Sostenible. En caso de recibir un número de solicitudes superior al límite considerado en el Programa, la Comisión Académica es responsable del proceso de selección basándose en los siguientes criterios:

- Curriculum vitae del solicitante.
- Distribución regional de los estudiantes. Si fuese necesario la Comisión Académica podrá establecer un número mínimo/máximo de estudiantes por cada institución participante, de modo que se garantice, por ejemplo, que cada una de estas instituciones puede aportar al menos un estudiante al programa de posgrado.
- Un porcentaje del número total de plazas se reserva para estudiantes procedentes de países en vías de desarrollo (al menos un 10%).



Figura 6. Estructura del Máster en Química Sostenible (Universidad de Zaragoza).

- Un porcentaje del número total de plazas se reserva para estudiantes que estén desarrollando una actividad profesional en el campo de la química, con objeto de facilitar el objetivo de formación permanente de nuestros profesionales (*lifelong learning* en la terminología de la Unión Europea) (al menos un 10%).

Alternativamente la Universidad de Zaragoza, una de las fundadoras del Programa de doctorado y de la REQS ha desarrollado un Máster en Química Sostenible cuyos contenidos se resumen en la figura 6.

Desde la perspectiva de la creación del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) las iniciativas nacionales deben ser un paso para crear un sistema coherente de formación en química sostenible a un nivel europeo.

El objetivo central de nuestro esfuerzo debe ser la consecución de un programa europeo de Máster y doctorado en Química Sostenible.

Bibliografía

- Anastas, P.T. and Warner, J.C. *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxford, Gran Bretaña: Oxford University Press, 1998.
- Doxsee, K. and Hutchison, J. *Green Organic Chemistry: Strategies, Tools, and Laboratory Experiments*, Mason, U.S.A.: Thompson Learning, 2004.
- Lancaster, M. *Green Chemistry: An Introductory Text*, Cambridge, Gran Bretaña: Royal Society of Chemistry, 2002.
- Leadbeater, N., McGowan, C., *Clean, Fast, Organic Chemistry. Microwave-Assisted Laboratory Experiments*, Matthews, U.S.A.: CEM Publishing, 2006.
- Roesky, H. W. Kennepohl, D. (eds.). *Experiments in Green and Sustainable Chemistry*, Weinheim, Alemania: Wiley, 2009.
- Presidential Green Chemistry Awards*. Consultada por última vez en junio 9, 2009 en la URL <http://www.epa.gov/greenchemistry/pubs/pgcc/presgcc.html>
- Sustainability in the Organic Chemistry Lab Course. NOP Project*. Consultada por última vez en junio 9, 2009 en la URL <http://www.oc-praktikum.de/en-entry>
- Warner Babcock Foundation. *Beyond Benign. K-12 project*. Consultada por última vez en junio 9, 2009 en la URL <http://www.beyondbenign.org/index.html>

INCA Consortium. Interuniversity Consortium "Chemistry for the Environment". Consultada por última vez en junio 9, 2009 en la URL <http://www.incaweb.org/>
Programas de grado y posgrado en Estados Unidos. Consultada por última vez en junio 9, 2009 en la URL <http://portal.acs.org/portal/Navigate?nodeid=1440>

Instituciones

ACS Green Chemistry Institute. Consultada por última vez en junio 9, 2009 en la URL www.acs.org/greenchemistry
Monash University, Center for Green Chemistry, Australia. Consultada por última vez en junio 9, 2009 en la URL <http://www.chem.monash.edu.au/green-chem/>
Green & Sustainable Chemistry Network, Japan. Consultada por última vez en junio 9, 2009 en la URL <http://www.gscn.net/aboutE/index.html>
Green Chemistry Network, Royal Society of Chemistry, Reino Unido. Consultada por última vez en junio 9, 2009 en la URL <http://www.rsc.org/chemsoc/gcn/index.htm>
Red Española de Química Sostenible (REQS). Consultada por última vez en junio 9, 2009 en la URL <http://redqs.s43.eatj.com/redqs/>
The European Technology Platform for Sustainable Chemistry (SUSCHEM). Consultada por última vez en junio 9, 2009 en la URL <http://www.suschem.org/>

Plataforma Tecnológica Española de Química Sostenible (SUSCHEM ESPAÑA). Consultada por última vez en junio 9, 2009 en la URL <http://www.pt-quimicasostenible.org/>

Direcciones Máster Interuniversitario en Química Sostenible

Universidad de Castilla-La Mancha. Consultada por última vez en junio 9, 2009 en la URL http://www.uclm.es/organos/vic_docencia/eees/másteres2.asp?id_máster=492
Universitat Jaume I. Consultada por última vez en junio 9, 2009 en la URL <http://www.uji.es/ES/infoest/estudis/postgrau/oficial/quimsos.html>
Universitat Politècnica de Valencia. Consultada por última vez en junio 9, 2009 en la URL http://www.upv.es/contenidos/PO/menu_495043c.html
Universidad Pública de Navarra. Consultada por última vez en junio 9, 2009 en la URL <http://www.unavarra.es/posgrado/quimica.htm>
Universitat de Valencia. Consultada por última vez en junio 9, 2009 en la URL <http://www.uv.es/postgrau/experimentals/quimicasosteniblesp.htm>
Universidad de Zaragoza. Consultada por última vez en junio 9, 2009 en la URL http://ciencias.unizar.es/máster_qs/