

Educación cooperativa en Química Verde: la experiencia española

Belén Altava, M. Isabel Burguete y Santiago V. Luis¹

ABSTRACT (Cooperative Education in Green Chemistry: The Spanish Experience)

A common postgraduate training in Green Chemistry is currently being carried out by several Spanish universities. This initiative considers the corresponding Máster and PhD programs in Sustainable Chemistry and has been successfully achieved with the participation of experts from different Universities and Research Institutions grouped within the coverage of the Spanish Network on Sustainable Chemistry (REDQS). A cooperative effort and a modular design are the key elements that have allowed maintaining the Spanish Interuniversity Máster and PhD programs for more than a decade, providing a high level of quality and a unique possibility, for many students, of being trained at an advanced level in Green Chemistry.

KEYWORDS: Green Chemistry, Sustainable Chemistry, Interuniversity Master Degree, Interuniversity Ph.D. Program

Introducción: Educación y Química Sostenible

No cabe duda alguna de que el siglo XXI es el siglo de la sostenibilidad. Todo desarrollo y avance social, científico o tecnológico, debe contrastarse en nuestros días con su potencial de sostenibilidad, con su capacidad de progresar y consolidarse de un modo que sea compatible con el uso racional de los escasos recursos con los que cuenta nuestro planeta.

Esta situación es particularmente evidente en el caso de la Química, una ciencia que a lo largo del siglo pasado ha ido evolucionando de un modo dramático en su percepción social. En un intervalo de tiempo relativamente corto, la Química pasó de ser considerada la ciencia que ofrecía mayores perspectivas para el progreso de la humanidad (nuevos medicamentos, materiales, productos agroquímicos...) a ser catalogada como una actividad indeseable y perjudicial para el ser humano y para el medio ambiente que le rodea (Herradón, 2011; García Martínez y Serrano, 2011). Los que trabajamos en el ámbito de esta ciencia somos conscientes de sus limitaciones y de los riesgos que entraña, pero también sabemos que esta imagen negativa no responde a la realidad y que el desarrollo de la Química sigue siendo una necesidad para la supervivencia del ser humano, para la mejora de su calidad de vida y, también, para luchar contra la degradación de nuestro planeta. No debe extrañar, por tanto, que hayan sido los propios químicos quienes desarrollaron los conceptos y herramientas que pueden permitir compatibilizar el desarrollo y aplicación de la Química (y por consiguiente una mejora en la vida de los seres humanos considerados en su globalidad) con la optimización de su interacción con el medio ambiente. Estos conceptos

se plasmaron inicialmente en el trabajo seminal de Anastas y Warren, en los omnipresentes 12 principios de la Química Verde (Anastas & Williamson, 1996; Anastas & Warner, 1998; Anastas & Kirchoff, 2002; Anastas & Eghbali, 2010; Anastas, 2011; Horváth & Anastas, 2007) que posteriormente han sido reelaborados por distintos autores (Mestres, 2005; Poliakov *et al.*, 2002; Bourne & Poliakov, 2011) y completados con los correspondientes principios de la Ingeniería Verde (Winterton, 2001) hasta alcanzar un cuerpo de doctrina compacto y elaborado (Dunn, 2012; Dicks, 2012; Andraos, 2011; Mestres, 2011).

La educación es un aspecto clave de la Química Verde. El desarrollo de nuevas metodologías y procesos químicos que sean medio ambientalmente benignos es esencial, pero es incluso más importante el formar a las nuevas generaciones de químicos en esas metodologías y en los conceptos de la Química Verde. En su conjunto, ésta representa un nuevo modo de pensar la Química donde, además de los conceptos habituales que han integrado hasta ahora su enseñanza, es preciso aprender a tomar en consideración nuevos elementos relacionados con la huella medio ambiental de nuestras actividades.

Una revisión somera de la literatura química moderna parece sugerir que los conceptos asociados a la Química Verde han sido interiorizados por la mayor parte de los investigadores y profesionales de esta ciencia. Nada más lejos de la realidad, sin embargo. Es cierto que las denominaciones Química Verde, Química Sostenible, impacto medioambiental reducido... etc., aparecen destacadas en un gran número de publicaciones. Un análisis más detallado de las mismas revela, en numerosas ocasiones, que el empleo de dichos términos carece del más mínimo análisis crítico y obedece más a una moda coyuntural que a una interiorización de los conceptos pertinentes. En muchos casos, se trata tan sólo de utilizar términos que aparecen definiendo áreas prioritarias en revistas científicas o en programas naciona-

¹ Departamento de Química Inorgánica y Orgánica, Universitat Jaume I, Avenida Sos Baynat s/n 12071. Castellón, España.

Correo electrónico: luiss@uji.es

les o transnacionales de investigación. Un caso paradigmático sería el de la Unión Europea, donde el término sostenibilidad aparece asociado repetidamente a las prioridades consideradas en las distintas convocatorias del FP7 (Expert Group Report, 2009). En algunos casos, una revisión detallada del supuesto procedimiento verde permite observar que éste es capaz de generar un impacto medio ambiental y/o unos riesgos muy superiores a los del procedimiento original. Resulta evidente, por tanto, la necesidad de incrementar nuestros esfuerzos de educación en el campo de la Química Verde.

En el este trabajo se presentan los esfuerzos de la Red Española de Química Sostenible para llevar a cabo la formación de posgrado de estudiantes procedentes de distintas universidades en un programa común que contempla las titulaciones de máster y de doctorado en Química Sostenible.

El contexto educativo español y la filosofía del modelo de enseñanza

La creación de un sistema organizado de educación en Química Verde en España se remonta a la última década del siglo XX, cuando un conjunto de investigadores de distintas universidades, centros de investigación y otras instituciones, convencidos de la importancia creciente de este campo, comienzan a colaborar para la creación de una red temática que agrupará los esfuerzos hasta entonces aislados. El primer resultado visible de esta cooperación es la creación de la Red Española De Química Sostenible (REDQS, página web). Fruto del análisis de la situación de la Química en España fue la determinación, desde un primer momento, de que la acción más importante que debía llevar a cabo la REDQS sería la educación en Química Sostenible.

Como en cualquier otro ámbito, la formación en Química Sostenible debería contemplar todas las etapas del proceso educativo y atender a destinatarios de muy diversa naturaleza. Así, la definición del sistema en su conjunto debe abarcar desde actividades de formación no reglada hasta la inclusión específica de los conceptos de la Química Verde en los *currícula* académicos de grado y posgrado en la univer-

sidad. Las distintas áreas que se han contemplado se recogen, de modo muy esquemático, en la figura 1.

Así, las distintas actividades educativas deben contemplar como sujetos del proceso tanto a los estudiantes universitarios de grado y de posgrado como a los profesionales de la Química, en un proceso de formación permanente, e igualmente a la sociedad en su conjunto. Esto último resulta un reto fundamental de cara a combatir la imagen negativa que, como hemos comentado, ha adquirido la Química en los últimos años y que ha llevado a un alejamiento de los jóvenes de la formación en este campo (al igual que en otros campos científico-tecnológicos). En este sentido, los miembros de la REDQS han participado en distintos tipos de actividades como semanas de la ciencia, semanas de la Química, actividades de cooperación con centros de enseñanza secundaria, seminarios de formación de profesorado de enseñanza secundaria, intervenciones en prensa y otros medios de comunicación, etc. En todos los casos, el objetivo central ha sido mostrar el gran potencial de la Química y, sobre todo, nuestra capacidad para mantener el progreso minimizando o eliminando por completo los riesgos y las posibles consecuencias negativas del mismo. La realización de cursos de verano en distintas ciudades españolas ha representado, por otra parte, un elemento de formación intermedio entre la formación reglada y la difusión a la sociedad. En todos los casos, la cooperación de los distintos miembros de la Red, provenientes de distintas instituciones y con áreas de experiencia diferentes ha sido fundamental para su éxito. Sin embargo, nosotros nos vamos a centrar aquí en lo que ha sido el mayor esfuerzo educativo de la Red, es decir, la implantación de un programa completo de formación de posgrado en Química Sostenible. Este esfuerzo se ha materializado en la creación de un Programa Interuniversitario de Máster y Doctorado en Química Sostenible. Estas actividades se han completado, finalmente, con la realización de cursos de formación específicos y con la introducción, cuando ha sido posible, de conceptos de Química Verde en algunas asignaturas de grado, en particular en la titulación de Química.

La creación y mantenimiento de un programa integrado y cooperativo de formación de posgrado en Química Sostenible ha sido un proceso complejo. Por un lado, la necesidad de interaccionar con distintas instituciones académicas que, en España, poseen un grado de autonomía muy elevado y que, por lo tanto, pueden poseer regulaciones y políticas educativas diferenciadas. Por otro lado, puesto que en el modelo legal español la autorización de titulaciones es una competencia atribuida a las Comunidades Autónomas (gobiernos regionales) ha sido necesario obtener las autorizaciones correspondientes mediante procesos que en algunos casos presentaban variaciones importantes. Este proceso de autorización ha requerido, además, la aprobación de la titulación correspondiente por un organismo de evaluación antes de su aprobación definitiva por el Estado Español. Finalmente, todo este proceso se ha tenido que realizar en el



Figura 1. Principales actividades formativas en Química Verde consideradas por la REDQS.

marco de la creación del Espacio Europeo de Educación Superior y de la adaptación al proceso de Bolonia (Bergan y Rauhvargers, 2006; Council of Europe página web).

El diagrama de la figura 2 permite analizar los principales cambios legales de carácter general a los que se ha tenido que enfrentar el Programa. Inicialmente, la enseñanza se centraba en la licenciatura (300-340 créditos) que se podía completar con un doctorado tras cursar 32 créditos adicionales de formación (BOE, 1998). En este modelo los estudios de máster representaban un papel secundario. La primera etapa de adaptación al EEES supuso reducir la duración de la licenciatura y la introducción de los estudios de Máster como una etapa de educación oficial reglada intermedia entre la licenciatura y el doctorado. De esta manera, la licenciatura constaba de 240 créditos (se eligió en todo el país el número máximo de créditos permitido), mientras que el máster podía variar entre 60 y 120 créditos. Una vez que un estudiante hubiera cursado 300 créditos entre licenciatura y máster, podía acceder al programa de doctorado que no requería actividades formativas adicionales (BOE, 2005). Finalmente, la última modificación ha consistido en considerar el título de Máster como un requisito necesario para incorporarse a un programa de doctorado (BOE, 2007, 2011; UJI-doctorado, 2012; UJI-Máster, 2012). Este programa de doctorado debe incluir actividades formativas complementarias cuya cuantificación real resulta más difícil. Ello ha conllevado el fijar la duración del Máster en 60 créditos excepto en casos excepcionales, en particular cuando dicha titulación llevaba asociadas competencias profesionales específicas. Atendiendo a esta situación histórica, la REDQS creó inicialmente un Programa de Doctorado Interuniversitario en Química Sostenible (32 créditos) que posteriormente se desdobló en un Programa de Máster (60-90 créditos) y un Programa de Doctorado, para evolucionar actualmente a un máster de 60 créditos y un doctorado con actividades formativas específicas.

A pesar de todo lo anterior, este Programa Interuniversitario de formación de posgrado en Química Sostenible ha conseguido no sólo sobrevivir, sino hacerlo con una elevada vitalidad durante más de una década. Hasta la fecha, más de 200 estudiantes de distintas procedencias han seguido el programa formativo correspondiente. Es interesante señalar que aproximadamente el 30% de los estudiantes proceden de otros países, mayoritariamente iberoamericanos pero también europeos, norteafricanos o asiáticos.

La flexibilidad y modularidad del Programa educativo han sido claves para el éxito de esta iniciativa, que ha podido adaptarse con facilidad a los distintos cambios normativos sin modificar sus características fundamentales. Como elementos esenciales del modelo, podemos consignar los siguientes:

1. Existencia de un conjunto central de enseñanzas comunes a todas las universidades participantes, que homogeneiza el núcleo básico de la formación que reciben los estudiantes.

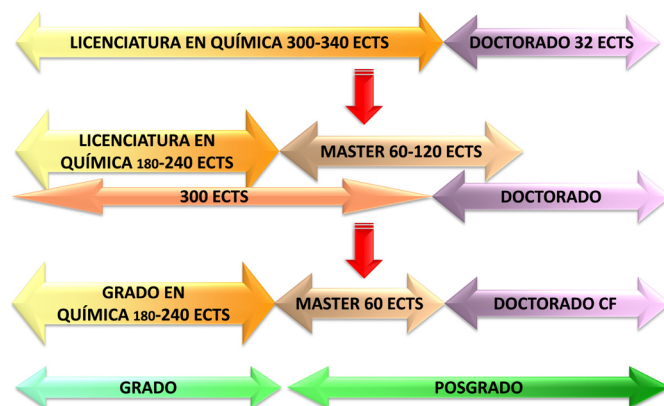


Figura 2. Evolución de los estudios universitarios de Química en España durante el proceso de adaptación al Espacio Europeo de Educación Superior. ECTS: Sistema Europeo de Transferencia de Créditos; CF: Complementos Formativos.

2. Flexibilidad para que cada universidad plante un conjunto reducido de enseñanzas que permita ofrecer un perfil específico a sus estudiantes.
3. Combinación de docencia presencial en sedes comunes y en las instituciones de origen.
4. Diseño del plan de estudios con base en una doble modularidad: horizontal, reflejando los núcleos conceptuales básicos que deben considerarse, y transversal, considerando los objetivos formativos generales que se pretenden alcanzar.
5. Integración completa de los estudios de máster y doctorado.

La organización de los estudios interuniversitarios de Máster y Doctorado en Química Sostenible en España

La figura 3 recoge, de modo sumario, la integración de los estudios de máster y doctorado y la modularidad transversal de los estudios. Tal como puede verse, se han considerado siete grandes módulos claramente diferenciados. El primero de ellos se corresponde con la formación complementaria en el campo de la Química. El objetivo fundamental del mismo es prever el que los estudiantes que vayan a seguir estos estudios puedan presentar unos *curricula* formativos heterogéneos, al provenir de centros diferentes o incluso poseer titulaciones distintas de la del grado o licenciado en Química.

Por otro lado, los conceptos relacionados directamente con la Química Verde/Sostenible se han agrupado en tres módulos. El primero de ellos se corresponde con los conceptos más generales y fundamentales, mientras que el segundo y el tercero consideran la enseñanza en aspectos más específicos y avanzados. En uno de ellos se agrupan aquellos aspectos que hoy en día pueden tener una aplicación práctica más directa a nivel industrial, mientras que en el segundo se han incluido aquellos aspectos avanzados que estarían más conectados con la investigación actual. Un

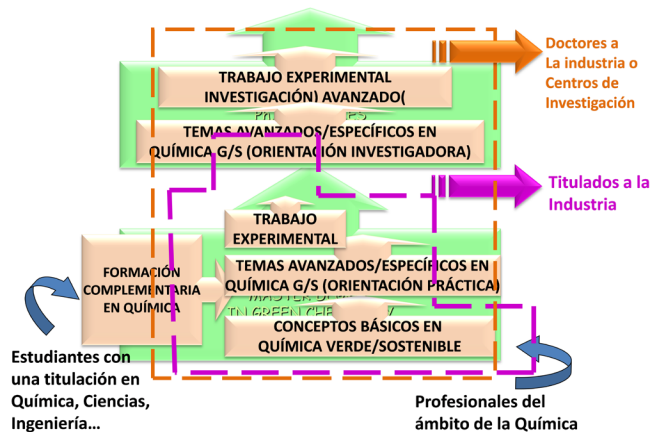


Figura 3. Organización general del programa de formación de posgrado en Química Sostenible.

El primer módulo de trabajo experimental se corresponde con la introducción al empleo de alguna de las técnicas fundamentales de la Química Sostenible y es necesario para completar los estudios de máster. El segundo módulo es mucho más extenso y se corresponde con el trabajo investigador requerido para completar la tesis doctoral.

El segundo nivel de modularidad es el que agrupa las diferentes temáticas que se consideran en siete grandes bloques. El primero de ellos se corresponde con uno de los considerados para la modularidad transversal. Se trata del módulo que agrupa las materias que pueden llegar a ser necesarias para una adecuada homogeneización de los conocimientos previos de los estudiantes. Los otros módulos consideran aspectos relacionados con el uso de los disolventes, la energía, la catálisis, las biotransformaciones, los aspectos fundamentales de la ingeniería verde. Debe señalarse que los aspectos energéticos incluyen tanto aquellos que consideran la contribución de la Química al desarrollo de energías sostenibles como la implicación de fuentes alternativas de energía para llevar a cabo las reacciones químicas. Finalmente, en un último bloque se han agrupado un conjunto más heterogéneo de aspectos no considerados en los apartados anteriores, pero no por ello menos importantes en muchos casos. La tabla 1 recoge información adicional sobre estos módulos. De modo tentativo, los distintos conceptos incluidos se han calificado como básicos (B), aplicados (A) o de investigación (I) de acuerdo con la modularidad transversal considerada anteriormente. Es importante señalar que los contenidos de cada módulo pueden agruparse o desdoblarse, en su momento, para generar las asignaturas (unidades de enseñanza) deseadas al organizar la programación correspondiente.

A partir de estos elementos básicos, la Comisión Académica del Máster y del Doctorado Interuniversitario en Química Sostenible organiza el plan de estudios específico y la programación de actividades anuales. En esta comisión, que se reúne dos veces al año, participa un representante de

Tabla 1. Módulos temáticos considerados para la organización de las enseñanzas del Máster Interuniversitario en Química Sostenible.

| Módulo Temático | Contenidos |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Formación Complementaria en Química | <ul style="list-style-type: none"> - Determinación Estructural - Tecnologías de Separación - Ingeniería Química y Química Industrial - Química Física aplicada - Química Orgánica y Síntesis Orgánica - Metodologías analíticas - Química Inorgánica - Ciencia y Química de los Materiales - Biología, Bioquímica y otros |
| Biotransformaciones | <ul style="list-style-type: none"> - Biotransformaciones (B) - Biotecnología (I) - Enzimas en Química (A) - Células y Microorganismos en Química (A) |
| Fuentes alternativas de energía | <ul style="list-style-type: none"> - Química y Energía (B) - Electroquímica (A+I) - Fotoquímica (A+I) - <i>Fuell-cells</i> (A) - Química asistida por microondas (I) - Química asistida por ultrasonidos (I) |
| Disolventes verdes | <ul style="list-style-type: none"> - Conceptos Generales (B) - Reacciones en agua (I) - Líquidos Iónicos (A+I) - Fluidos Supercríticos: - Propiedades fundamentales (I) - Reacciones en scFs (A) - Extracciones con scFs (A) |
| Catálisis verde | <ul style="list-style-type: none"> - Conceptos generales de catálisis (B) - Catálisis ácido-base (A) - Catalizadores de oxidación (A) - Catálisis enantioselectiva (B) - Zeolites y materiales relacionados (I) - Catalizadores soportados (I) - Procesos catalíticos industriales (A) |
| Ingeniería Química verde | <ul style="list-style-type: none"> - Intensificación de procesos (A) - Métricas de sostenibilidad (B) - Diseño y evaluación de reactores (I) - Química a altas presiones (A) - Monitorización <i>on-line</i> (I) - Gestión de residuos (A) |
| Otros aspectos | <ul style="list-style-type: none"> - Conceptos generales de Química Verde (B) - Materias primas renovables (B) - Aplicaciones industriales (B) - Toxicología (B) - Química del medio ambiente (B) - Análisis de riesgos (A) - Legislación (A) - Economía y Sostenibilidad (A) - Química facilitada (B) - Laboratorio en metodologías de Química Verde (B) |

cada una de las universidades participantes, y se invita a ella a los representantes de la REDQS y de las universidades que, no participando académicamente, contribuyen con profesorado. El programa de actividades debe garantizar una oferta superior a los 60 créditos (42 si descontamos los 18 créditos del trabajo de fin de máster que son los únicos obligatorios) para que los estudiantes dispongan de un cierto

grado de optatividad, así como la programación de actividades complementarias en el campo de la Química Sostenible que sirvan como actividades formativas para los estudiantes de doctorado.

De modo general, la organización de los estudios se ajusta al diagrama mostrado en la figura 4. Como puede verse, en este esquema se consideran las actividades necesarias para cubrir cuatro años académicos. El primero de ellos corresponde a los estudios de máster, mientras que los tres siguientes se dedican a completar los estudios de doctorado.

Tal como se recoge en el esquema, los cursos para el programa de máster se organizan en tres grandes bloques. Dos de ellos corresponden a los cursos que tienen lugar en las sedes comunes del programa y que se desarrollan en dos periodos intensivos de tres semanas cada uno. Las asignaturas específicas ofertadas por cada universidad participante en su propia sede representan el tercer bloque. Estas asignaturas están abiertas a todos los estudiantes matriculados en el máster y permiten combinar una formación común para todos los estudiantes con un perfil propio para cada centro. Los dos bloques intensivos se imparten habitualmente en enero y mayo, mientras que las asignaturas propias se extienden a lo largo del curso académico. A modo de ejemplo, en la tabla 2 se recogen las asignaturas comunes y las propias de la Universitat Jaume I que se están impartiendo actualmente. Los métodos de evaluación combinan un seguimiento continuado con pequeños tests y la realización de trabajos individuales o en grupo. La evaluación del Trabajo de Fin de Máster requiere la elaboración de una memoria y su defensa pública ante un tribunal compuesto por tres profesores asociados al máster (Máster en Química Sostenible, páginas web).

Siempre que las circunstancias económicas lo permitan, la Comisión Académica gestiona el que entre los dos periodos de docencia común se realice un Taller de Química Sostenible con la participación de expertos de distintos países que imparten un número reducido de sesiones (no más de tres) durante dos días consecutivos y están disponibles para realizar consultas y un trabajo más práctico con los estudiantes durante los días próximos al evento. Este taller varía cada año, lo que permite que pueda ser seguido, como una herramienta formativa fundamental por los estudiantes de doctorado durante los tres años siguientes al Máster.



Figura 4. Organización académica del Máster y del Doctorado Interuniversitario en Química Sostenible.

De acuerdo con la normativa vigente en nuestro país (BOE 2007, 2010, 2011), el periodo de tres años del doctorado se centra sobre todo en realizar el trabajo de investigación que se convertirá en la tesis doctoral correspondiente. Sin embargo, se ha incluido también la necesidad de demostrar que durante ese periodo se realizan un número mínimo de actividades formativas. Estas actividades no están estrictamente reguladas y se considera que se deben completar 600 horas equivalentes. Para alcanzar esta formación complementaria, el Doctorado en Química Sostenible ha considerado distintas actividades:

- *Realización de cursos complementarios en Química Sostenible* (hasta 60 horas como máximo y 30 como mínimo). En este apartado se incluyen cursos del máster que no hubieran sido seguidos por el estudiante, el seguimiento de los talleres organizados anualmente o bien otros cursos externos que hayan sido autorizados previamente por la comisión académica.
- *Publicación de trabajos relacionados con su tesis en revistas indexadas* (máximo de 300 horas equivalentes, mínimo de 150). Cada artículo publicado será valorado por 75 horas. El mismo tratamiento se concederá a las patentes. El estudiante deberá indicar al solicitar la validación de la publicación o patente cuál ha sido su participación específica en la misma.

Tabla 2. Asignaturas comunes ofertadas en el presente curso académico y asignaturas propias ofertadas por la Universitat Jaume I.

| Sede Común 1 | Sede Común 2 | Asignaturas propias UJI |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Conceptos Básicos en Química Sostenible | Fotoquímica y Electroquímica sostenibles | Seguridad y Análisis de Riesgos en Química |
| Aplicaciones Industriales | Fluidos Supercríticos | Química Supramolecular y Biomimética |
| Catálisis Homogénea | Biotransformaciones Industriales | Ingeniería Sostenible |
| Disolventes Benignos | Materias Primas Renovables | Química Fina |
| Catálisis Heterogénea | Energías Sostenibles | Formación Complementaria y Transversal |
| Biocatálisis | Reacciones Activadas por Medios No Convencionales | |
| Catálisis Inmovilizada | | |

a) Todas las asignaturas son de 3ECTS, excepto la Formación Complementaria y Transversal (6C). No se ha incluido el Trabajo de Fin de Máster (18 ECTS).

- *Asistencia a eventos científicos* (máximo de 100 horas equivalentes, mínimo de 50). Se trata de la asistencia del estudiante a eventos científicos nacionales/internacionales, presentando trabajos de investigación que constituyen parte de su tesis doctoral, así como la posible discusión de los resultados que presentan otros investigadores. La participación en un congreso relevante con presentación de una comunicación podrá valorarse en 30 horas equivalentes y en ausencia de comunicación en 10.
- *Participación activa en proyectos de I+D+i* (máximo de 50 horas, no se contempla un mínimo). Participación del estudiante dentro de un proyecto de I+D+i financiado competitivamente. Se trata de una actividad no obligatoria en la que se asignan 20 horas por dedicación completa a un proyecto durante un año.
- *Estancias en otros centros de investigación* (máximo de 300 horas, no se contempla un mínimo). Realización de estancias cortas del doctorando en otros centros participantes en el doctorado, en otros centros asociados al Programa o en centros de investigación de reconocido prestigio, preferentemente internacionales, para completar su formación y su trabajo de investigación. Se contabilizarán 25 horas equivalentes por cada semana de estancia.
- *Participación en Seminarios* (máximo de 30 horas, mínimo de 10 horas). El estudiante deberá participar activamente en los seminarios realizados dentro del grupo de investigación en el cual desarrolla su tesis. En el transcurso de dichos seminarios deberá exponer el trabajo realizado a lo largo de cada año académico, lo cual implica: (i) diseño y redacción de memorias científicas; (ii) presentación de trabajos de investigación, y (iii) discusión de trabajos de investigación. Adicionalmente, el estudiante deberá asistir a conferencias científicas impartidas en los centros participantes. Cada seminario o conferencia se contabilizará como 1 hora.

En todos los casos, las actividades equivalentes realizadas durante una estancia tendrán la misma consideración que las realizadas en el Centro de origen. La Comisión Académica valorará la idoneidad de cada una de las actividades realizadas y asegurará el cumplimiento de las horas equivalentes requeridas y los mínimos exigidos en cada una de ellas.

Balance de la experiencia española después de la primera década

A pesar de todos los cambios señalados en el marco estructural, el primer esfuerzo que se ha realizado durante estos años ha sido el mantener una estructura estable, así como los objetivos fundamentales y la filosofía de trabajo. Algunos cambios han sido necesarios y otros más se deben realizar en el futuro con objeto de mejorar el funcionamiento de los programas y adaptarlos a las situaciones cambiantes. Dentro de este contexto, el balance global del Programa Interuniversitario de Máster y Doctorado en Química Sos-

tenible puede considerarse extraordinariamente positivo. Anteriormente ya se han mencionado algunas cifras que revelan la salud del Programa, pero ¿qué ventajas hemos encontrado en este proceso cooperativo de formación en Química Sostenible? Muchas de ellas resultan evidentes, pero se han mostrado como elementos vitales a lo largo de los años. De un modo resumido podemos señalar las siguientes:

- La participación de expertos de distintos centros facilita el que todos los módulos puedan ser impartidos por especialistas del máximo nivel en cada campo.
- La cooperación de centros con distintas experiencias previas y orientaciones, permite elaborar el programa central mediante la combinación de distintas ideas y visiones.
- Los estudiantes procedentes de distintas universidades, con diferentes intereses y puntos de partida se ven obligados a convivir estrechamente entre sí y con el profesorado durante los periodos de docencia intensivos. Ésta es una de las ventajas más importantes del sistema elegido.
- Del mismo modo, los profesores responsables de los distintos módulos y materias también conviven entre sí y con los estudiantes de otros centros, lo que representa una gran oportunidad de enriquecimiento.
- La mejora de la economía de escala es fundamental. Resulta más fácil el alcanzar la masa crítica requerida y el coste para cada Universidad se reduce considerablemente. Ninguna Universidad de tamaño medio-pequeño hubiera podido mantener este tipo de estudios por sí sola.
- Los contactos generados por cada uno de los grupos y profesores facilitan, en gran medida, la participación de expertos industriales y de nivel internacional en los distintos procesos formativos.
- El sistema cooperativo permite combinar una formación común para todos los estudiantes con un cierto grado de especialización/orientación promovido por cada centro.

Naturalmente, también se han encontrado algunas dificultades o inconvenientes asociados a nuestro programa. Algunas de ellas son las siguientes:

- La movilidad de estudiantes y profesores es indispensable, y ello requiere la existencia de fondos que permitan promover dicha movilidad.
- La complejidad de los procesos de gestión (matrícula, actas de evaluación...) se multiplica.
- Los aspectos legales requieren un cuidado extremo ya que deben adaptarse a legislaciones diversas y deben ser aceptados por cada uno de los Centros.
- La ordenación académica considerada no facilita la incorporación de estudiantes que estén trabajando (*lifelong learning*).
- Se requiere un esfuerzo de coordinación muy elevado de modo continuo.
- Es esencial garantizar la participación de todos los actores para asegurar, en cada curso académico, una mejora del sistema.

Conclusiones y prospectiva

En general podemos, por tanto, concluir que estos años de formación de estudiantes de posgrado en Química Sostenible han resultado una experiencia enormemente positiva tanto para los estudiantes como para los profesores. Se ha planteado un modo diferente de afrontar el proceso formativo y la formación en Química que ha sido enormemente gratificante en la mayor parte de los casos. No queda otra alternativa, en consecuencia, que continuar con los esfuerzos cooperativos en este campo y afrontar la mejora de aquellos elementos que nos han limitado hasta la fecha.

Como perspectivas de futuro, independientemente de la incorporación de otras universidades españolas, el mayor esfuerzo se centra actualmente en ampliar el ámbito de cooperación. Esto se está realizando en dos niveles diferentes. Por un lado la apertura hacia la coordinación con otras entidades europeas, lo que podría llegar a representar el embrión de un programa común europeo. Por otro lado, los esfuerzos de cooperación con terceros países, en particular países en desarrollo. Este aspecto es muy importante, porque la Sostenibilidad, en Química como en cualquier otro aspecto, es un concepto global, universal, que no puede restringirse a un país o una zona geográfica localizada.

En el primer apartado, se mantiene una estrecha relación con el Programa de Doctorado Interuniversitario Portugués en Química Sostenible en el que participan las Universidades de Porto y Nova de Lisboa. Por otro lado, se han establecido contactos y convenios con otros centros europeos para el intercambio de estudiantes de máster y doctorado dentro de los esquemas de los programas Sócrates-Erasmus.

En el segundo apartado, se ha avanzado notablemente en la cooperación con los países del Norte de África, en particular Argelia y Marruecos, y con países iberoamericanos como Cuba y Perú. La línea de actuación no es sólo el facilitar el intercambio de estudiantes de estos países, sino el establecer, junto con esta acción, programas conjuntos de formación en Química Sostenible que pudieran incluso permitir la obtención de dobles titulaciones de máster o co-tuteladas doctorales entre dos instituciones de distintos países.

Agradecimientos

Resulta necesario agradecer el esfuerzo continuado de un conjunto elevado de profesores e investigadores de los centros participantes que de un modo completamente desinteresado han permitido la puesta en marcha y subsistencia de este Programa. No procede enumerarlos dado que se trata de un conjunto de gran tamaño y, además se correría el riesgo de omitir a alguno.

Referencias

Anastas, P. T., *Chem. Eng. News*, **89**(26), 62–65, 2011.
Anastas, P. T. y Kirchhoff, M. M., *Acc. Chem. Res.*, **35** (9), 686–694, 2002.
Anastas, P. T. y Warner, J. C., *Green Chemistry: Theory and Practice*. Oxford: Oxford University Press, 1998.

Anastas, P. T. y Eghbali, N., *Chem. Soc. Rev.*, **39**, 301–312, 2010.
Anastas, P. T. y Williamson, T. C., *Green Chemistry: An Overview*. Washington DC: ACS Symposium Series, ACS, 1996.
Andraos, J., *Pure Appl. Chem.*, **83**, 1361–1378, 2011.
Bergan, S. y Rauhvargers, A. (eds.), *Recognition in the Bologna Process: policy development and the road to good practice*. Council of Europe Higher Education Series No. 4, 2006.
BOE, Legislación original sobre doctorado, 1998: <http://www.boe.es/boe/dias/1998/05/01/pdfs/A14688-14696.pdf>
BOE, regulación de los estudios de posgrado, 2005: <http://www.boe.es/boe/dias/2005/01/25/pdfs/A02846-02851.pdf>
BOE: Legislación sobre enseñanzas universitarias, 2007: <http://www.boe.es/boe/dias/2007/10/30/pdfs/A44037-44048.pdf>
BOE: Legislación sobre estudios de doctorado, 2011: <http://www.boe.es/boe/dias/2011/02/10/pdfs/BOE-A-2011-2541.pdf>
BOE: Modificación del decreto de enseñanzas universitarias, 2010: <http://www.boe.es/boe/dias/2010/07/03/pdfs/BOE-A-2010-10542.pdf>
Bourne, R. A. y Poliakov, M., *Mendeleev Commun.*, **21**(5), 235–238, 2011.
Council of Europe: información completa del proceso de Bolonia, utilizar el enlace siguiente: http://www.coe.int/t/dg4/highereducation/EHEA2010/BolognaPedestrians_en.asp#P132_13851
Dicks, A. P., (ed.), *Green organic chemistry in lecture and laboratory*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2012.
Dunn, P. J., *Chem. Soc. Rev.*, **41**, 1452–1461, 2012.
Expert Group Report, 2009 <ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/era/docs/kife.pdf>
García Martínez, J. y Serrano, E. (eds.), *The Chemical Element. Chemistry's Contribution to Our Global Future*. Mannheim: Wiley-VCH, 2011.
Herradón, B., *Los avances de la química*. Madrid: Ed. CSIC y Catarata, 2011.
Horváth, I. y Anastas, P.T., *Chem. Rev.*, **107**, 2169–2173, 2007.
Máster Interuniversitario en Química Sostenible, páginas web de interés: <http://www.miqs.uji.es/>; <http://www.uji.es/ES/infoest/estudis/postgrau/oficial/e@/22891/?pTitulacionId=42108>; http://e-ujer.uji.es/pls/www/gri_ass.lleu_ficha_d?p_titulacion=14025; <http://www.quimicasostenible.uji.es/index.php>
Mestres, R., *Environ. Sci. & Pollut. Res.*, **12**, 128–132, 2005.
Mestres, R., *Química Sostenible*. Madrid: Síntesis, 2011.
Poliakov, M., Fitzpatrick, J. M., Farren, T. R. y Anastas, P. T., *Science*, **297**(5582), 807–810, 2002.
REDQS, página web: <http://redqs.s43.eatj.com/redqs//>
UJI, Doctorado 2012: Normativa aprobada el 26 de enero de 2012, <http://www.uji.es/bin/infoest/estudis/doctorat/norma.pdf>
UJI, Máster 2012: Normativa aprobada el 25 de junio de 2012, <http://www.uji.es/bin/uji/norm/est/nage1213-e.pdf>
Winterton, N., *Green Chem.*, **3**, 73–75, 2001.