



## Máster en Química Sostenible 66203 - Disolventes y métodos de reacción no convencionales

Guía docente para el curso 2011 - 2012

Curso: 1, Semestre: 0, Créditos: 9.0

---

### Información básica

---

#### Profesores

- **Juan Ignacio Pardo Fernández** jupardo@unizar.es
- **Luis Salvatella Ibáñez** lsalvate@unizar.es
- **José Santiago Urieta Navarro** urieta@unizar.es
- **Ana María Mainar Fernández** ammainar@unizar.es

#### Recomendaciones para cursar esta asignatura

La docencia de la asignatura está dividida en tres bloques temáticos, correspondientes a *Disolventes* (Luis Salvatella), *Fluidos supercríticos* (Ana M. Mainar) y *Fotoquímica y Electroquímica* (Juan I. Pardo, José S. Urieta). Se recomienda trabajar de forma continuada desde el primer día.

#### Actividades y fechas clave de la asignatura

A modo de indicación, se recogen las fechas más representativas del curso 2009-2010:

mediados de febrero - final de marzo: docencia de la asignatura  
segunda quincena de febrero: introducción a la experiencia de la Wikipedia  
segunda quincena de febrero: asignación a los estudiantes de los informes a realizar en *Fotoquímica y electroquímica*  
segunda quincena de febrero: asignación a los estudiantes de los informes a realizar en *Fluidos Supercríticos*  
segunda quincena de marzo: sesiones prácticas de Informática de *Fluidos Supercríticos*  
final de marzo: entrega y presentación oral del informe de *Fluidos Supercríticos*  
mediados de abril: final de la experiencia de la Wikipedia  
final de abril: entrega y presentación oral del informe de *Fotoquímica y Electroquímica*  
final de mayo: entrega ejercicios de Informática de *Fluidos Supercríticos*

---

### Inicio

---

### Resultados de aprendizaje que definen la asignatura

## El estudiante, para superar esta asignatura, deberá demostrar los siguientes resultados...

- 1:** Conoce las propiedades físico-químicas y toxicológicas y las aplicaciones de los principales disolventes convencionales y de sus alternativas más sostenibles, incluidos los fluidos supercríticos.
- 2:** Conoce las propiedades y aplicaciones de los métodos de reacción de bajo impacto ambiental, como fotoquímica, electroquímica y otros.
- 3:** Propone razonadamente la modificación o sustitución de disolventes o métodos de reacción convencionales por otros de menor impacto ambiental.

## Introducción

### Breve presentación de la asignatura

La filosofía de la Química Sostenible se basa en 12 principios propuestos por Paul Anastas y John Warner. Esta asignatura está diseñada para cubrir el octavo principio, dedicado al "*uso de disolventes y condiciones de reacción más seguros*". Entre los disolventes con bajo impacto ambiental pueden destacarse el agua, los líquidos fluorado, los líquidos iónicos, así como los fluidos supercríticos, que presentan propiedades físico-químicas intermedias entre los gases y los líquidos. Además, entre las condiciones de reacción más interesantes pueden destacarse la Fotoquímica y la Electroquímica. La asignatura está estructurada en 3 bloques temáticos, correspondientes a *Disolventes*, *Fluidos Supercríticos* y *Fotoquímica y Electroquímica*.

---

## Contexto y competencias

### Sentido, contexto, relevancia y objetivos generales de la asignatura

#### La asignatura y sus resultados previstos responden a los siguientes planteamientos y objetivos:

El principal objetivo de la asignatura de *Disolventes y métodos de reacción no convencionales* consiste en el desarrollo de la competencia específica del máster:

-Diseñar la modificación o sustitución de procesos químicos por otros menos dañinos con el medioambiente basándose en técnicas específicas en Química Sostenible

Además de ésta, se desarrollarán otras competencias específicas del máster, como:

-Evaluar el grado de riesgo de un proceso o reacción química y la toxicidad de los compuestos implicados  
-Identificar los principales obstáculos a la implantación de las distintas técnicas de Química Sostenible

La asignatura de *Disolventes y métodos de reacción no convencionales* se imparte en el segundo semestre, una vez ha finalizado la docencia de *Fundamentos de la sostenibilidad y la Química Sostenible*, *Biotransformaciones y procesos avanzados en la Industria*, *Catálisis*, *Diseño y control de procesos* y *Legislación ambiental y toxicología*. Esto permite relacionar los conceptos introducidos en esta asignatura con otros estudiados en las asignaturas citadas.

En esta asignatura se pretende que el estudiante tome conciencia de la importancia de los disolventes en los procesos industriales y que adquiera la capacidad de proponer alternativas menos dañinas para el medioambiente. Asimismo, se aspira a que el alumno conozca las ventajas e inconvenientes de los métodos de reacción no convencionales para que pueda analizar el efecto de su implantación en la Industria.

Las actividades docentes programadas permitirán desarrollar la siguiente competencia básica (según el RD 1393/2007):

-Que los estudiantes sepan comunicar sus conclusiones (y los conocimientos y razones últimas que las sustentan) a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades

Además, estas actividades docentes permitirán el desarrollo de las siguientes competencias transversales del máster:

- Obtener información de distintos tipos de fuentes y evaluar su fiabilidad
- Ordenar, analizar críticamente y sintetizar información
- Usar de forma efectiva las tecnologías de la información y de las comunicaciones
- Gestionar de forma adecuada los recursos y el tiempo disponibles
- Transmitir información de forma oral, escrita o gráfica usando herramientas de presentación adecuadas

## **Contexto y sentido de la asignatura en la titulación**

En la Química moderna, cada vez es más frecuente el desarrollo de procesos que implican manejo de fluidos a presión. Por un lado, la búsqueda de disolventes alternativos, benignos para el medio ambiente, ha conducido al empleo de fluidos a presión y/o en condiciones supercríticas que sustituyan a los disolventes orgánicos para evitar su efecto negativo. Por otro lado, estos fluidos se están mostrando muy eficaces para la eliminación de contaminantes (agua supercrítica), tratamiento de materiales (secado de hidrogeles, limpieza de circuitos y prótesis), extracción, fraccionamiento y precipitación (antioxidantes, biocidas) así como en la síntesis y formulación de nuevos materiales complejos (composites, recubrimientos, micro y nanopartículas).

Esta asignatura queda enmarcada perfectamente dentro de los objetivos de la titulación ya que permite profundizar en un campo de estudio específico dentro de la Química Sostenible permitiendo desarrollar en los estudiantes habilidades de adaptación a nuevas estrategias y tendencias que le capaciten para enfrentarse, con nuevas herramientas, a problemas multidisciplinares diversos y actuales.

## **Al superar la asignatura, el estudiante será más competente para...**

- 1:** Justificar el papel y la importancia de los disolventes en los procesos químicos.
- 2:** Clasificar los principales tipos de disolventes verdes y sus propiedades.
- 3:** Explicar los beneficios de la sustitución de los disolventes habituales por otros más respetuosos con el medioambiente.
- 4:** Identificar los principales métodos de reacción no convencionales y su utilidad sintética e industrial.
- 4:** Reconocer las propiedades físico-químicas de los fluidos supercríticos.
- 4:** Identificar las principales aplicaciones industriales de los fluidos supercríticos.
- 4:** Reconocer los fundamentos físico-químicos de la fotoquímica y su importancia en el medioambiente.
- 4:** Identificar las principales aplicaciones industriales de la fotoquímica.
- 4:** Identificar los fenómenos electroquímicos más importantes.
- 4:** Enumerar y explicar las principales aplicaciones industriales de la electroquímica.
- 4:** Contrastar las ventajas e inconvenientes de las activaciones por microondas y ultrasonidos.

## **Importancia de los resultados de aprendizaje que se obtienen en la asignatura:**

Un disolvente es un líquido necesario para llevar a cabo la mayoría de las reacciones y numerosos procesos químicos, pero que no se incorpora en el producto de reacción. Desgraciadamente, la mayoría de los disolventes actuales son dañinos para el medioambiente o la salud humana (destrucción de la capa de ozono, cambio climático, toxicidad, etc.). Teniendo en

cuenta que buena parte de la producción anual de disolventes (17,9 millones de toneladas en 2005) acaba vertiéndose en la naturaleza, es lógico deducir que constituye una prioridad para la Humanidad la reducción de la cantidad y la toxicidad de los disolventes usados en la Industria. Sin embargo, la eliminación o sustitución de los disolventes industriales requiere conocimientos específicos sobre las propiedades a tener en cuenta en las correspondientes alternativas.

Por otra parte, un importante objetivo de la Química Sostenible consiste en la maximización de la obtención de los productos deseados (minimizando así la cantidad de residuos) y la minimización de la energía necesaria para su obtención. Una de las formas de conseguir estas mejoras se basa en la aplicación de algunos métodos de reacción no convencionales (fotoquímica, electroquímica, sonoquímica, activación por microondas).

En esta asignatura se presenta una panorámica sobre los principales tipos de nuevos disolventes (agua, disolventes fluorados, líquidos iónicos, fluidos supercríticos, disolventes inmovilizados...), incluyendo sus propiedades y aplicaciones.

En concreto, los resultados de aprendizaje del bloque temático dirigido a Fluidos Supercríticos permitirán al alumno adquirir una formación avanzada, tanto teórica como práctica, en un ámbito innovador como es el de los sistemas a presión y supercríticos. Con los resultados alcanzados, el alumno contará con una base robusta que le permita establecer estrategias alternativas y complementarias al trabajo de investigación que tradicionalmente se viene desarrollando en otras áreas de la Química para su aplicación directa en el campo de las reacciones orgánicas e inorgánicas, de los nuevos materiales y de la separación e identificación de sustancias.

Dentro de los métodos de reacción no convencionales tienen una importancia especial la Fotoquímica y la Electroquímica. Los resultados de aprendizaje correspondientes a los temas de Fotoquímica y Electroquímica permitirán al alumno comprender las potencialidades de la luz y la electricidad para una síntesis más limpia de productos o para la eliminación de contaminantes. Asimismo el alumno estará en disposición de plantear procesos de reacción en condiciones suaves de temperatura similares a las que se dan en la naturaleza. El alumno conocerá el uso de la luz como energía renovable al servicio de la Química, las principales aplicaciones industriales de la Fotoquímica y los desarrollos actuales. En cuanto a la Electroquímica, el alumno estará en disposición de aplicar las ventajas del electrón como reactivo para llevar a cabo reacciones más adecuadas. Interpretará cómo la energía eléctrica resulta limpia y segura en su uso y permite realizar reacciones a temperaturas moderadas, con el consiguiente ahorro energético, y conocerá cómo modificando adecuadamente las variables del proceso se consiguen elevadas selectividades con una notable disminución de la cantidad de subproductos.

---

## Evaluación

---

### Actividades de evaluación

**El estudiante deberá demostrar que ha alcanzado los resultados de aprendizaje previstos mediante las siguientes actividades de evaluación**

**1:**  
***Creación o modificación de una página wiki de la Wikipedia: 33%***

Esta página wiki estará dedicada a un término relacionado con la asignatura asignado por el profesor. La página deberá estar organizada de forma sencilla y lógica y presentar una introducción que explique el resto de la página. El contenido del artículo debe estar escrito correctamente con un lenguaje sencillo para el gran público y ofrecer detalles y ejemplos. La página wiki debe estar documentada con rigor citando enlaces adecuados de bibliografía en papel y a páginas de Internet. En el anexo se incluye un modelo del documento entregado a los estudiantes en la jornada de presentación de esta actividad docente y un modelo de cuestionario para la valoración de la satisfacción de los estudiantes. La calificación de esta actividad supondrá un 33% de la calificación final del estudiante en la asignatura.

**2:**  
***Presentación de informes escritos y orales sobre temas de la asignatura: 53%***

Bloque Temático *Electroquímica y Fotoquímica*: 28%  
Bloque Temático *Fluidos Supercríticos*: 19%

*Criterios:*

- *Tratamiento de la búsqueda científica (profundidad, criterios de selección, fuentes empleadas, etc.): ≤*

30% de la puntuación del bloque.

- Capacidad de Síntesis y Análisis (presentación de objetivos, interés del trabajo, relación con los bloques temáticos, adecuación de la extensión del trabajo, visión crítica, etc.):  $\leq 40\%$  de la puntuación del bloque.

- Habilidades orales y técnicas (estructura del trabajo, calidad de la presentación, capacidad expositiva, dominio del lenguaje y de la terminología, etc.): 30% de la puntuación del bloque.

**3: Resolución de casos prácticos por ordenador: 13%**

Bloque Temático *Fluidos Supercríticos*: 10%

Criterios:

- Realización de los casos prácticos propuestos ( $\leq 10\%$  del apartado)
- Ejecución y resolución ( $\leq 90\%$  del apartado)

En cualquier caso, el sistema de evaluación se regirá por la normativa vigente.

---

## Actividades y recursos

---

### Presentación metodológica general

#### El proceso de aprendizaje que se ha diseñado para esta asignatura se basa en lo siguiente:

El proceso de aprendizaje que se ha diseñado para esta asignatura se basa en la combinación de actividades de información o conceptuales con las de evaluación y resolución de casos prácticos y próximos a la realidad. Las actividades de tipo conceptual se combinarán de forma estratégica con las de tipo práctico asistencial y de trabajo autónomo para permitir un máximo aprovechamiento. La adquisición de los conocimientos fundamentales de la asignatura se basa en la asistencia a las clases magistrales en combinación con el estudio personal.

La impartición de esta asignatura en el segundo semestre permite relacionar los conocimientos adquiridos con los correspondientes a otras asignaturas. Esta integración del conocimiento en Química Sostenible se lleva a cabo mediante la técnica docente de creación de una página wiki de la Wikipedia. Como ejemplo de los trabajos de creación de páginas wiki de la Wikipedia pueden proponerse los realizados durante el curso 2009-2010: Acetato de etilo, Carbonato de glicerol, Ciclopentil metil éter, Gamma-valerolactona, Glicerol, Lactato de 2-etilhexilo, Limoneno, 2-Metiltetrahidrofurano, Perfluorooctano, Polietilenglicol. La experiencia de la creación de páginas wiki cuenta con el seguimiento continuado del tutor de la actividad, que envía regularmente a los estudiantes un informe sobre la situación en ese momento de la página wiki.

Por otra parte, se utiliza la herramienta del ADD para ofrecer materiales didácticos a los estudiantes.

En lo referente a los temas de Fotoquímica y Electroquímica se proponen a los alumnos una serie de temas relacionados con dichos campos sobre los que deberán presentar un informe escrito y realizar una presentación oral del contenido de su tema apoyada con medios audiovisuales a la que seguirá una discusión sobre la base de una serie de preguntas formuladas por los profesores de la asignatura. Los temas cubrirán aspectos importantes de la Fotoquímica y la Electroquímica y el informe se habrá de centrar en los avances recientes de mayor relevancia. La realización de informes escritos aúna la metodología de enseñanza-aprendizaje basada en trabajos teóricos con el sistema de evaluación de trabajo académico. En el desarrollo de un tema de relevancia en el campo cubierto por la asignatura el alumno profundiza en los conocimientos adquiridos en las clases magistrales y aprende a emplear con soltura herramientas de búsqueda bibliográfica al tiempo que pone en juego sus capacidades de dominio del lenguaje escrito. Asimismo hace uso de sus habilidades para analizar los aspectos más importantes de los contenidos de las fuentes bibliográficas utilizadas y para sintetizar de forma estructurada la información adquirida.

### Actividades de aprendizaje programadas (Se incluye programa)

## **El programa que se ofrece al estudiante para ayudarle a lograr los resultados previstos comprende las siguientes actividades...**

**1:**

### **Clases magistrales**

Créditos: 6

n.º Sesiones: 30

Duración de las sesiones: 2 hr

Trabajo autónomo: 90.0 hr

Contenido de las sesiones: *Equilibrio de Fases en fluidos a altas presiones - Modelado del equilibrio de fases a altas presiones - Propiedades de transporte en los fluidos supercríticos - Equipamiento y medidas experimentales en la región crítica - Fluidos supercríticos como disolventes - Fluidos supercríticos y materiales - Fluidos supercríticos y reacciones químicas.*

**2:**

### **Sesiones de Problemas**

Créditos: 2

n.º Sesiones: 10

Duración de las sesiones: 2 hr

Trabajo autónomo: 30 hr

Contenido de las sesiones: *Resolución de problemas básicos para la comprensión del cálculo y modelado del equilibrio de fases y de las propiedades de transporte de fluidos a presión y supercríticos así como de Electroquímica y Fotoquímica*

**3:**

### **Prácticas de Ordenador**

Créditos: 1

n.º Sesiones: 4

Duración de las sesiones: 2.5 hr

Trabajo autónomo: 15 hr

Contenido de las sesiones: *Cálculo del equilibrio de fases en fluidos a altas presiones mediante herramientas informáticas como Excel y PE-2000 - Demostración de las técnicas experimentales de trabajo con fluidos a presión y supercríticos.*

**4:**

### **Ciclos de clases impartidas por profesores invitados.**

Esta actividad consistirá en la impartición de dos ciclos de conferencias para profundizar en la formación en Fluidos Supercríticos y Electroquímica. La organización de esta actividad dependerá de la obtención de financiación del Programa de movilidad de profesores en másteres oficiales.

## **Planificación y calendario**

### **Calendario de sesiones presenciales y presentación de trabajos**

Impartición docencia de la asignatura\*: febrero-marzo

L, M, X, J de 18:00 a 20:00 y V de 16:00 a 20:00

Lugar: Facultad de Ciencias

Impartición prácticas de ordenador\*: marzo

X, J de 18:00 a 20:00 y V de 16:00 a 20:00

Lugar: Facultad de Ciencias

Presentación y exposición de Informes\*: marzo-abril

Lugar: Facultad de Ciencias

Presentación ejercicios por ordenador\*: mayo

Lugar: ADD

\* Fechas orientativas en función de disponibilidades y compatibilidad de horarios con otras asignaturas del máster.

## Referencias bibliográficas de la bibliografía recomendada

- Adams, Dave J.. Chemistry in alternative reaction media / Dave J. Adams, Paul J. Dyson, and Stewart J. Tavener Chichester : John Wiley & Sons, cop. 2004
- Ahluwalia, V.K.. Green solvents for organic synthesis / V.K.. Ahluwalia, R.S. Varma . Oxford : Alpha Science International, cop. 2009
- Artificial photosynthesis : from basic biology to industrial application / edited by Anthony F. Collings and Christa Critchley Weinheim : Wiley-VCH, cop. 2005
- Chemical synthesis using supercritical fluids / edited by Philip G. Jessop and Walter Leitner Weinheim [etc.] : Wiley-VCH, cop. 1999
- Electrocatalysis / edited by Jacek Lipkowski and Philip N. Ross New York : Wiley-VCH, cop. 1998
- Freemantle, Michael. An Introduction to ionic liquids / Michael Freemantle . Cambridge : Royal Society of Chemistry, 2010
- Gas-expanded liquids and near-critical media : green chemistry and engineering / Keith W. Hutchenson, editor, Aaron M. Scurto, editor, Bala Subramaniam, editor. Washington, D.C. : American Chemical Society, cop. 2009
- Green chemistry using liquid and supercritical carbon dioxide / Edited by Joseph M. DeSimone, William Tumas Oxford : Oxford University Press, 2003
- Green reaction media in organic synthesis / edited by Koichi Mikami Oxford : Blackwell Publishing, cop. 2005
- Handbook of fluorine chemistry / John A. Gladysz, Dennis P. Curran, István T. Horváth (Eds.) . Weinheim : Wiley-VCH, cop. 2004
- Ionic liquids : industrial applications for green chemistry / Robin D. Rogers, Kenneth R. Seddon . Washington : American Chemical Society, cop. 2002
- Ionic liquids in synthesis / Peter Wasserscheid and Tom Welton (Eds.) . 2nd completely rev. and enlarged ed. Weinheim : Wiley-VCH, cop. 2008
- Kagan, J.. Organic Photochemistry: Principles and Applications
- Kappe, C. Oliver. Microwaves in organic and medicinal chemistry / C. Oliver Kappe, Alexander Stadler . Weinheim : Wiley-VCH, 2005
- Kappe, C. Oliver. Practical microwave synthesis for organic chemists : strategies, instruments and protocols / C. Oliver Kappe, Doris Dallinger, and S. Shaun Murphree . Weinheim : Wiley-VCH, cop. 2009
- Kerton, Francesca M.. Alternative solvents for green chemistry / Francesca M. Kerton . Cambridge : RSC Publishing, cop. 2009
- Mason, Timothy J.. Applied sonochemistry : the uses of power ultrasound in chemistry and processing / Timothy J. Mason and John P. Lorimer . Weinheim : Wiley-VCH, cop. 2002
- Methods and reagents for green chemistry : an introduction / edited by Pietro Tundo, Alvise Perosa, Fulvio Zecchini . Hoboken : Wiley-Interscience, cop. 2007
- Microwave methods in organic synthesis / volume editors, Mats Larherd, Kristofer Olofsson ; with contribution by P. Appukkuttan ... [et al.] . Berlin [etc.] : Springer, cop. 2006
- Molten salts and ionic liquids : never the Twain? / edited by Marcelle Gaune-Escard, Kenneth R. Seddon . Hoboken, N.J : Wiley, 2010
- Multiphase homogeneous catalysis / edited by B. Cornils ... [et al.] . Weinheim : Wiley-VCH, cop. 2005
- Nelson, W.A.. Green Solvents for Chemistry: Perspectives and Practice
- Polshettiwar, V.. Aqueous Microwave Assisted Chemistry
- Reichardt, Christian. Solvents and solvent effects in organic chemistry / Christian Reichardt . 3rd., updated and enl. ed. Weinheim : Wiley-VCH, imp. 2004.
- Supercritical carbon dioxide in polymer reaction engineering / edited by Maartje F. Kemmere and Thierry Meyer Weinheim : Wiley-VCH, cop. 2005
- Supercritical fluids : molecular interactions, physical properties, and new applications / Y. Arai, T. Sako, Y. Takebayashi (eds.) . Berlin [etc.] : Springer, cop. 2002
- Tanaka, Koichi. Solvent-free organic synthesis / Koichi Tanaka . 1st repr. Weinheim : Wiley-VCH, 2004
- Ultrasound in chemistry : analytical applications / edited by José-Luis Capelo-Martínez . Weinheim : Wiley-VCH, cop. 2009