

© 2013 Plataforma Tecnológica Española de Química Sostenible, SusChem-España

Esta información puede ser usada en parte o en su integridad siempre que se cite su fuente.

Este documento se presenta en nombre de SusChem-España y es el resultado del esfuerzo conjunto de los miembros de las entidades participantes. Sus aportaciones han sido claves para asegurar que el resultado final responde a la visión mayoritaria de los miembros de SusChem-España, lo cual no implica que todas ellas estén de acuerdo con todo el contenido del documento.



Proyecto INF-2011-0009-310000



SusChem

ESPAÑA

Plataforma Tecnológica Española
de QUÍMICA SOSTENIBLE

Índice

Introducción

Visión de la Química Sostenible	6
Metodología del Roadmap	7

Tendencias Identificadas

Situación de crisis económica.....	8
Tendencias sociales.....	8
Recursos alternativos.....	8
Reducción de costes de producción	8
Seguridad.....	8
Producción sostenible con el medioambiente.....	8
Huella ambiental.....	8
Análisis de ciclo de vida (ACV).....	8

Materiales y nanomateriales

Aplicaciones y soluciones	10
Procesos eficientes	10
Escalado industrial	10
Energía	10
Seguridad.....	10
Nuevas funcionalidades	10
Alimentación.....	10
Descontaminación	11
Modelización.....	11
Normativa.....	11
Tecnologías	13
Nanoencapsulación	13
Tecnologías sostenibles.....	13
Tecnologías de fabricación	13
Materiales inteligentes.....	14
Tecnologías de recubrimiento	14
Caracterización de nanomateriales.....	14
Tecnologías de hidrógeno.....	14
Catalizadores.....	14
Análisis de ciclo de vida (acv) de materiales	15
Modelización de (nano)materiales.....	15
Tecnologías <i>in-silico</i>	15

Diseño de reacciones y procesos

Aplicaciones y soluciones	16
Conversión de materias primas de origen natural en productos químicos de valor comercial	16
Conversión de residuos en productos químicos de valor comercial	16
Biocombustibles	16
Producción de hidrógeno.....	17
Nuevos materiales de cambio de fase	17
Celdas fotovoltaicas más eficientes	17
(Bio)productos ecoeficientes.....	17
Disolventes ecoeficientes	18
Biomonomeros y biopolímeros	18
Rutas sintéticas de bajo impacto ambiental	18
Obtención de metales estratégicos de baja disponibilidad.....	19
Tecnologías	20
Catalizadores selectivos y sostenibles.....	20
Integración e intensificación de procesos	20
Diseño químico, modelización y técnicas in-silico.....	20
Hidrometalurgia.....	21
Electrodeposición y procesos electroquímicos	21
Membranas	21
Control de procesos y productos.....	21

Biotecnología Industrial y Biorrefinerías

Aplicaciones y soluciones	22
Uso integral de la lignocelulosa como materia prima en bioprocesos	22
Búsqueda de nuevas celulasas más eficientes	22
Valorización de biorresiduos industriales, agroalimentarios, forestales y urbanos como materias primas en bioprocesos.....	22
Uso del CO ₂ como materia prima en bioprocesos.....	23
Bioetanol de 2ª generación	23
Biobutanol y otros alcoholes de cadena corta	23
Microalgas como fuente de aceites (CO ₂) para biodiésel	23
Biodiésel mediante transesterificación enzimática	24
Nuevos biocombustibles de 2ª generación para motores diésel procedentes de residuos industriales	24
Bioproductos químicos de base (plataformas químicas) sustitutivos de o complementarios a los productos petroquímicos.....	24
Bioplásticos y otros biopolímeros	24
Moléculas quirales industrialmente valiosas	25
Biorrefinería.....	25
Desarrollo de nuevas cepas más productivas y resistentes a las condiciones industriales.....	25
Nuevos microorganismos con potencial interés industrial.....	25
Nuevas enzimas con potencial interés industrial	26
Desarrollo de nuevas variedades de enzimas más eficientes.....	26
Tecnologías	27
Hidrólisis enzimática de la celulosa.....	27
Evolución dirigida	27
Expresión de proteínas recombinantes.....	27
Tecnologías de cribado de alta capacidad (high throughput screening)	27
Ingeniería metabólica	27
Biología sintética	27
Intensificación de procesos.....	27
Biorreactores, fotobiorreactores y microbiorreactores	28
Fermentación.....	28
Biocatálisis	28
Herramientas para manipulación genética de microorganismos actualmente no susceptibles de ello.....	28
Downstream.....	28
Inmovilización de enzimas	29
Escalado de procesos	29
Dispositivos de análisis	29

Valorización química de residuos: de subproductos a materias primas

Aplicaciones y soluciones	30
Clasificación e identificación de residuos.....	30
Gestión eficiente de residuos	30
Reducción de la producción de residuos.....	30
Apoyo de la administración y seguridad	30
Procesos de valorización de residuos	30
Valorización energética de residuos	31
Tratamiento de residuos.....	31
Reciclado de residuos de plástico y de metales.....	31
Tecnologías	33
Clasificación y caracterización de residuos.....	33
Procesos de despolimerización química: glicólisis, hidrólisis	33
Procesos de despolimerización térmica: pirólisis, gasificación, licuefacción	34
Tecnologías para la extracción de metales de alto valor añadido	34
Procesos para el reciclado químico de plásticos y composites.....	34
Procesos de obtención de energía a partir de microalgas y residuos agrícolas	34
Optimización de tecnologías para tratamiento de residuos orgánicos.....	35
Técnicas de separación mecánica	35
Técnicas de separación por membranas.....	36
Tecnologías para reutilización de aguas	36
Producción microbiana de complejos enzimáticos para valorización de biomasa	36
Procesos de transformación de CO ₂	36
Digestión anaerobia.....	36

Anexo. Relación entre las aplicaciones identificadas por un grupo y su correlación con otras áreas	37
---	-----------

Glosario	42
-----------------------	-----------

Entidades participantes	43
--------------------------------------	-----------

Introducción

Visión de la Química Sostenible

La sociedad actual se enfrenta a una serie de retos sociales que precisan, para su resolución, de una clara apuesta por la investigación e innovación. Las soluciones sostenibles a gran parte de los retos pasan por desarrollos en el campo de la química. La industria química es una constante fuente de innovaciones y eje director para el desarrollo económico en otros sectores de actividad.

Con el objetivo de dar respuesta a las necesidades actuales y de futuro de la sociedad, la industria química, no sólo suministra materias primas para diversos productos (incluyendo los consumer products) sino que permite el desarrollo de materiales avanzados (tales como materiales híbridos y ligeros, superficies autolimpiables, materiales capaces de almacenar y recuperar energía) y procesos y reacciones avanzados que permiten una producción más sostenible y eficiente en recursos y energía. Además, gracias a la valorización, la química favorece la reutilización y la obtención de productos de mayor valor añadido.

La Química puede contribuir a dar soluciones globales a problemas relacionados con la energía y el cambio climático, agua y alimentación, crecimiento demográfico y salud, mantenimiento de recursos naturales y protección del medio ambiente, todos ellos parte de la Estrategia Europea 2020 y de la Estrategia Española de Ciencia, Tecnología y de Innovación 2013 – 2020.

La industria química es un sector consolidado que genera en España el 11% del Producto Industrial Bruto y cerca de 500.000 empleos directos, indirectos e inducidos. Su volumen de negocio anual alcanza los 55.000 millones de euros y es además el segundo mayor exportador de la economía española y el primer inversor privado en protección del medio ambiente e I+D+i.

Al margen de magnitudes macroeconómicas, esta industria apuesta por seguir liderando la contribución al desarrollo sostenible ofreciendo respuestas a las necesidades más acuciantes de nuestra sociedad actual y futura. En el ámbito medioambiental, para seguir avanzando en la mejora continua de la protección de nuestro entorno, es necesario potenciar el reciclaje de residuos, el desarrollo de soluciones de eco-diseño y productos de valor añadido obtenidos mediante procesos eco-eficientes, todos ellos procesos donde la intervención de la química y su investigación resulta imprescindible.

Esta visión de la industria química como proveedor de soluciones sostenibles requiere la implicación de todos los agentes involucrados y en particular de la sociedad civil. La plataforma SusChem-España ha establecido un diálogo con dichos agentes con el objeto de definir su hoja de ruta, que aporta una revisión de las tendencias y necesidades de la química sostenible en España y traza las principales líneas de acción que deberían seguir los diferentes agentes de SusChem-España para dar respuesta a las mismas.

Con los resultados obtenidos, se pretende fomentar la cooperación público-privada entre los distintos agentes y establecer nuevas oportunidades transversales que permitan abordar la resolución de un determinado problema desde varios grupos de trabajo, algunos incluso en cooperación con otras Plataformas Tecnológicas Nacionales. Estas oportunidades tendrán cabida tanto en el Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación (2013 - 2016) como en el futuro Programa Europeo de Investigación e Innovación (2014 - 2020) Horizonte 2020.



Metodología del Roadmap

La Plataforma Tecnológica Española de Química Sostenible, SusChem-España ha implementado una metodología de hoja de ruta a partir de las aportaciones y conocimiento de un número suficientemente representativo de sus miembros tanto de la comunidad científica-tecnológica como del ámbito industrial. Estas contribuciones se han agrupado en 4 áreas que se corresponden con los 4 grupos de trabajo de SusChem-ES:

- Materiales y Nanomateriales
- Biotecnología Industrial y Biorrefinerías
- Diseño de Reacciones y Procesos
- Valorización Química de Residuos: de subproductos a materias primas

Los participantes han aportado información para cada una de las áreas que se dividen en:

- Tendencias socio-económicas
- Posibles soluciones y/o aplicaciones que dan respuesta a dichas tendencias
- Tecnologías y/o capacidades necesarias para el desarrollo de las soluciones y/o aplicaciones anteriormente citadas

Además, se ha realizado una estimación del marco temporal de cada una de estas áreas, identificando si se

trataba de medio (año 2015) o largo plazo (año 2020). Como era previsible, las tendencias socioeconómicas y tecnológicas identificadas en cada una de las reuniones de trabajo fueron las mismas.

El uso de recursos alternativos es uno de los ejes tractor. En este sentido son estratégicos tanto los métodos que involucran fuentes renovables de carbón a partir de residuos agrícolas y biomasa, como los métodos basados en el reciclaje de residuos, por ejemplo en la industria de transformación de materiales, el acceso a nuevas materias primas no críticas es esencial.

Otro factor que impulsa el desarrollo viene motivado por la creciente demanda de las aplicaciones de mercado a partir de materias primas de origen biológico

Otro eje tractor de la industria química actual es la energía, tanto por las aportaciones que puede hacer en el campo de la conversión y almacenamiento, como por el diseño y desarrollo de nuevos materiales más eficientes en aplicaciones de materiales inteligentes, nanomateriales, reducción de peso, propiedades mecánicas y térmicas, etc.

Para cumplir con los criterios de sostenibilidad que demanda hoy en día la sociedad y la propia industria, es necesario trabajar con procesos ecoeficientes: "produciendo más con menos", por ej. Ahorrando recursos y energía y al mismo tiempo minimizando los impactos medioambientales.



Tendencias identificadas

Situación de Crisis Económica

Las empresas del sector deberán afrontar la situación de crisis económica derivada de la crisis financiera, los altos precios de combustible y la competencia de países emergentes, con procesos más eficientes y productos más competitivos. A muy corto plazo se espera una disminución de financiación de la I+D tanto de fondos públicos como privados, por lo que habrá que potenciar nuevos modelos de financiación para las empresas.

Tendencias Sociales

Se deben considerar las tendencias demográficas ya que el mayor envejecimiento general de la población, y la disminución de población activa derivará en una menor cobertura social y que se deban desarrollar productos orientados a este nicho de población. Asimismo aumentará la preocupación general por la salud.

Seguridad

El mercado demanda a medio plazo procesos más seguros de producción, de gestión, de uso y legislación que regule los protocolos de prevención y control de riesgos durante su manipulación.

Producción Sostenible con el Medioambiente

Se requieren procesos de producción de productos químicos más sostenibles con el medio ambiente. Se buscarán procesos con menor producción de residuos y emisiones de CO₂, y uso de fuentes de energía y materias primas renovables.

Huella Ambiental

Existe una concienciación creciente por los problemas de contaminación y por el cumplimiento del protocolo de Kioto. Se espera que se refuercen las políticas de protección del medio ambiente. Se fomentará el uso del coche eléctrico en las ciudades.

Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

La aplicación de los métodos estandarizados para el análisis del ciclo de vida (ACV) ha aportado una información valiosa para la evaluación, diseño y desarrollo de productos y procesos químicos innovadores. Sin embargo, todavía resulta necesario cubrir la ausencia de datos críticos para el análisis de bioproductos y bioprocesos. Por otro lado, el nuevo marco del ACV, el análisis de sostenibilidad del ciclo de vida (ASCV), amplía el ámbito de aplicación del ACV más allá de considerar únicamente los impactos ambientales. El ASCV cubre el análisis de las tres dimensiones de la sostenibilidad (sociedad, planeta y prosperidad). Además, amplía el ámbito de análisis desde el nivel de producto a cuestiones relacionadas con niveles más amplios como el sectorial e incluso el económico. Las líneas de investigación en este área se pueden focalizar en el análisis comparativo de la introducción en la sociedad de grandes dominios tecnológicos como la biotecnología o la nanotecnología. La búsqueda de nuevos métodos y modelos para el análisis en estos niveles se vislumbra como áreas prioritarias de investigación.

Recursos Alternativos

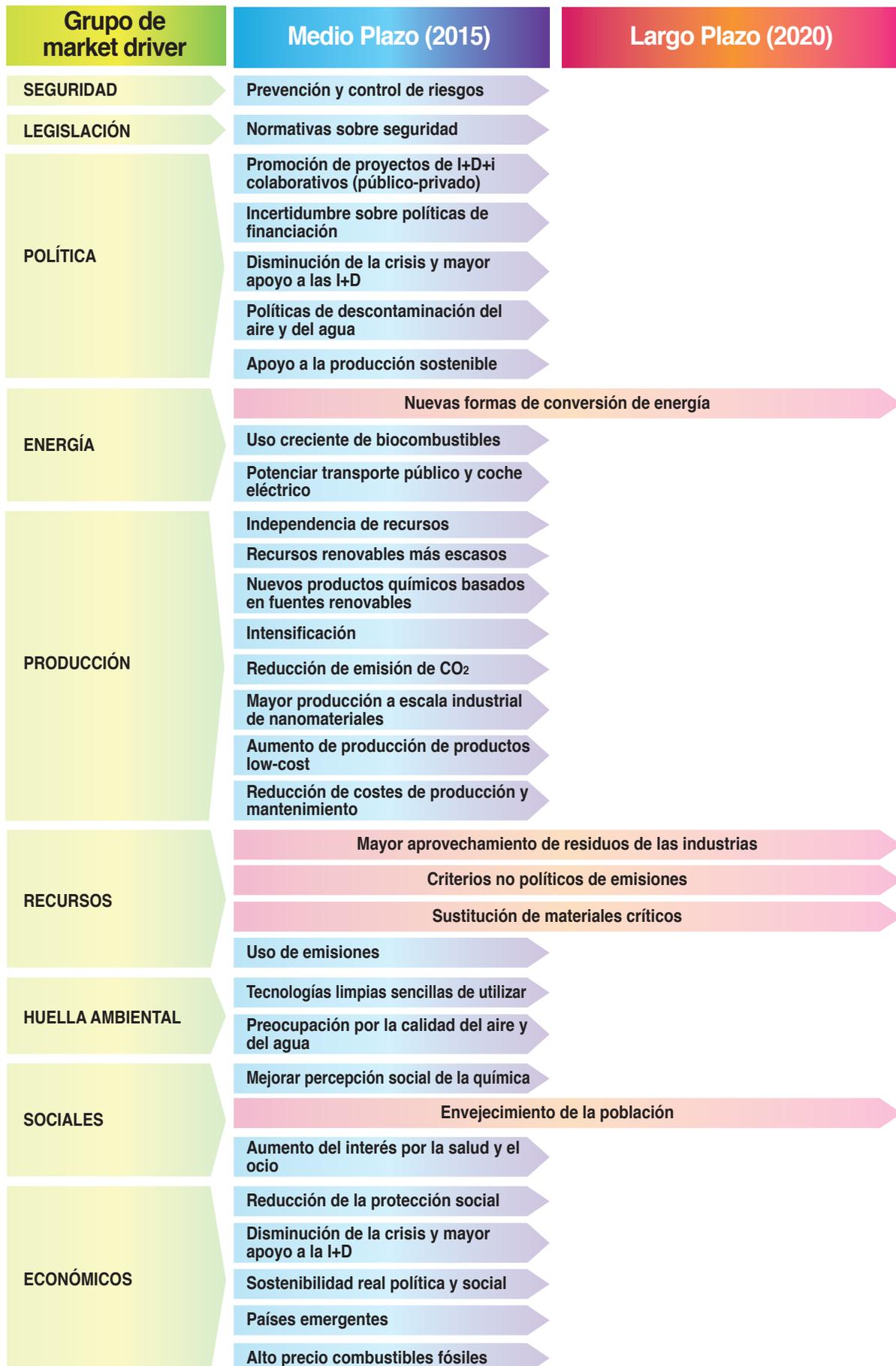
Existe una demanda de recursos alternativos a partir de residuos industriales y agrícolas sobre todo en materiales que demandan materias primas críticas. Asimismo se requiere potenciar el uso de fuentes de energía alternativas.

Reducción de Costes de Producción

El sector químico demanda una reducción de los costes de producción y un aumento de los rendimientos para poder satisfacer la demanda del mercado. El sector demanda materias primas no críticas en grandes volúmenes y costes más sostenibles.



Tendencias identificadas



Fuente: Elaboración propia. SusChem-España



El futuro de la
Química Sostenible

09



Materiales y Nanomateriales

Aplicaciones y Soluciones

Procesos Eficientes

A corto y medio plazo, la fabricación de nanomateriales y materiales avanzados requiere una mayor investigación del sector químico que permita procesos de producción más eficientes de nanomateriales y materiales avanzados, tanto en lo que respecta al consumo energético como a los rendimientos obtenidos, para satisfacer la demanda de reducción de costes y de mayor cantidad de nanomateriales a precios más bajos que los actuales. La tendencia al desarrollo de materiales sostenibles irá creciendo fomentándose la reducción del consumo de materias primas, la búsqueda de materias primas no críticas, y un mayor uso de materiales reciclables.



Escalado Industrial

Se requiere avanzar en la investigación de los procesos de escalado para conseguir una transferencia de resultados de investigación eficiente, desde el laboratorio a la planta de producción. Se consolidarán a medio plazo tecnologías lab-on a chip y microrreactores así como técnicas de activación energética de los procesos (microondas, ultrasonidos, nuevos catalizadores, etc.)

Energía

A medio y largo plazo se desarrollarán soluciones basadas en la nanotecnología para el almacenamiento y conversión de energía. Asimismo, la investigación y la innovación en materiales y nanomateriales contribuirán

al desarrollo de materiales inteligentes, materiales más ligeros y con mayores prestaciones mecánicas, mejores propiedades térmicas..., en definitiva materiales que contribuirán a una mejora de la eficiencia energética.

Seguridad

A medio plazo las empresas buscarán procesos que mejoren la seguridad de los materiales y nanomateriales debido a la presión de las nuevas normativas. Esto es especialmente relevante en el caso de los nanomateriales. Es preciso invertir en nuevos desarrollos que permitan la inmovilización de nanopartículas y en general para mejorar la seguridad en las plantas de producción.

En este sentido, y con el objetivo de identificar las barreras que limitan la producción industrial de nanomateriales, SusChem-España, junto con las Plataformas Tecnológicas de Seguridad Industrial (PESI. www.pesi-seguridadindustrial.org/), de Nanomedicina (Nanomed-Spain. www.nanomedspain.net/) y de Materiales Avanzados (Materplat.www.materplat.es/) han realizado un cuestionario que se ha circulado entre los miembros de las 4 Plataformas, resultando que la falta de una legislación europea homogeneizada es uno de los factores que más limitan la producción de nanomateriales a nivel industrial ⁽¹⁾.

Nuevas Funcionalidades

A medio y largo plazo se desarrollarán materiales inteligentes o activos, con respuesta frente a los cambios del ambiente, que permitan optimizar la vida útil de los productos finales en los que se apliquen. Asimismo se desarrollarán materiales con nuevas funcionalidades que aporten valor añadido y diferenciación. Los nuevos materiales tendrán baja energía embebida contribuyendo a la disminución de emisiones de CO₂. Se generarán nuevos materiales basados en procesos de reciclaje y reutilización de residuos y emisiones.

Alimentación

En el sector de alimentación aumentará la demanda de envases activos y con propiedades barrera a corto plazo para aumentar la durabilidad de los alimentos. A medio plazo se espera un auge en el desarrollo de alimentos funcionales para cumplir un fin específico como puede ser el mejorar la salud y reducir el riesgo de contraer enfermedades. A medio plazo también se espera mayor inversión en los desarrollos de sistemas de inmovilización de enzimas.



Materiales y Nanomateriales



Descontaminación

A medio plazo tendrán un alto impacto algunos desarrollos para descontaminación del entorno, lo que incluye descontaminación de agua, aire y suelo. En particular se producirán avances importantes en nanomembranas y materiales mesoporosos para procesos de separación; también se desarrollarán nuevos catalizadores y sensores más selectivos. Las aplicaciones de nanomateriales como los nanotubos de carbono y nanopartículas de TiO₂ en procesos de purificación de aguas, y el uso de nanometales en descontaminación de suelos, se están desarrollando y alcanzarán también un mayor impacto a medio plazo.

Modelización

En el ejercicio de hoja de ruta realizado se han detectado algunos campos de interés estratégico para el desarrollo de Materiales Avanzados y Nanomateriales como son: nuevas estrategias de síntesis, diseño de catalizadores y modelización de la relación estructura-propiedades. En términos generales, se puede afirmar que los avances alcanzados en la teoría, modelado y simulación que hemos vivido en España durante los últimos años son espectaculares tal y como lo refleja su impacto en cada uno de los programas y actuaciones de Materiales Avanzados y Nanotecnologías, más en estos últimos debido a que su desarrollo es mucho más reciente.

Sin embargo existe la necesidad de encontrar alguna herramienta o marco de trabajo que permita aglutinar, coordinar y optimizar el excelente trabajo que se realiza. Por otra parte, en la sesión de hoja de ruta se concluyó que la distancia cada vez más corta entre investigación básica y aplicaciones tecnológicas y la relevancia de los modelos teóricos en este rápido desarrollo (un ejemplo

actual lo encontramos en las industrias farmacéuticas con el diseño y optimización teórica de nuevos fármacos) hacen necesario un consenso sobre nuevos estándares en modelado y simulación. Dada la tradición y el alto nivel de la investigación “teórica” en España, una acción transversal específica no sólo sería extremadamente útil para optimizar y coordinar recursos locales sino que podría liderar el desarrollo del modelado y la simulación en Materiales y Nanomateriales en Europa.

Normativa

A la luz de los conocimientos actuales y de los dictámenes de los comités consultivos y científicos de la Unión Europea y de los evaluadores independientes de riesgos, los nanomateriales, al igual que las sustancias y los productos químicos a escala macromolecular, pueden ser o no tóxicos. Los riesgos potenciales se dan sólo en algunos nanomateriales y en usos muy concretos. Por lo tanto, es necesario determinar caso por caso, recabar toda la información necesaria para así poder determinar el riesgo que presentan y definir una normativa.

Actualmente, la Comisión Europea está elaborando y validando métodos de detección, medición y seguimiento de los nanomateriales que permitan comprobar si un material cumple los criterios de la recomendación de definición de nanomaterial establecida por la UE⁽¹⁾. Por ello la Comisión Europea sigue estando convencida de que REACH es el mejor marco de gestión del riesgo de los nanomateriales cuando estos se den como sustancias o mezclas, pero parece demostrada la necesidad de establecer en dicho marco requisitos específicos. La Comisión tiene previsto introducir modificaciones en algunos de los anexos de REACH e insta a la ECHA a elaborar directrices para el registro con posterioridad a 2013.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:275:0038:0040:ES:PDF>



El futuro de la
Química Sostenible

11



Aplicaciones/soluciones identificadas por el Grupo de materiales y nanomateriales

Área	Cod.	Medio Plazo (2015)	Largo Plazo (2020)
ESCALADO INDUSTRIAL	NM01	Procesos industriales más eficientes	
	NM02	Lab on a chip	
	NM03	Microreactores para escalabilidad industrial	
ALMACENAMIENTO/CONVERSIÓN DE ENERGÍA	NM04	Materiales para almacenamiento de energía	
	NM05	Almacenamiento eficaz-reversible de hidrógeno	
	NM06	Nuevos catalizadores basados en nanopartículas	
	NM07	Conversión y almacenamiento de energía con sistemas sostenibles	
PROCESOS EFICIENTES	NM08	Aprovechamiento de residuos y subproductos	
	NM09	Nanoreactores para la formación de nanopartículas metálicas	
	NM10	Procesos de producción de nanomateriales Ultra-puros	
	NM11	Procesos industriales más eficientes	
ALIMENTACIÓN	NM12	Nanomateriales inteligentes con propiedades barrera	
	NM13	Nanoestructuras para inmovilización de enzimas	
	NM14	Alimentación funcional	
MEDIO AMBIENTE	NM15	NanoTiO ₂ para descontaminación de agua	
	NM16	Nanomembranas para separación	
	NM17	Nanopartículas metálicas para descontaminación de suelos	
	NM18	Materiales mesoporosos	
	NM19	NTC para purificación de agua	
	NM20	Nuevos catalizadores	
	NM21	Desarrollo de materiales con baja energía embebida y que contribuyan a disminuir las emisiones de CO ₂	
SEGURIDAD	NM22	Técnicas de detección de nanomateriales	
	NM23	Ensayos toxicidad nanomateriales	
	NM24	Inmovilización de nanopartículas	
NUEVAS FUNCIONALIDADES	NM25	Materiales autorreparables	
	NM26	Recubrimientos multifuncionales	
	NM27	Copolímeros funcionales mediante procesos mediados con templates	
	NM28	Materiales con capacidad de respuesta al entorno	
	NM29	Nanocápsulas para liberación controlada	
	NM30	Nanoespumas para aislamiento térmico	
MODELIZACIÓN	NM31	Nanocomposites de altas prestaciones	
	NM32	TiO ₂ dopado para fotocatalisis en luz visible	
	NM33	Nuevas estrategias de síntesis	
NORMATIVA	NM34	Diseño de nuevos catalizadores	
	NM35	Relación estructura-propiedades	
NORMATIVA	NM36	Obligatoriedad de ACV y huella de carbono en todos los productos	
	NM37	Desarrollo de protocolos de seguridad y normativa	

Fuente: Elaboración propia. SusChem-España



Materiales y Nanomateriales

Tecnologías

Nanoencapsulación

Las técnicas de nanoencapsulación engloban diferentes tecnologías como liposomas, polimerización interfacial, coacervación, polimerización in-situ, polimerización radicalaria, procesos sol-gel. Mediante estas técnicas de nanoencapsulación se consiguen aislar los principios activos del entorno, para aportar funciones tanto de protección del medio ambiente (en el caso de sustancias tóxicas o agresivas) como de liberación controlada de dichos principios activos. Se persigue en general aportar valor añadido gracias a diversos aspectos tales como reducción de costes, alargar la vida útil, liberación controlada, mejorar la eficacia, reducción de residuos, aportación de nuevas funcionalidades. Las técnicas y productos conseguidos se han desarrollado en general para sectores como alimentación, cosmética, impresión, construcción y agricultura. El reto actual a medio plazo consiste en aplicar dichas tecnologías al desarrollo de productos mejor adaptados a la aplicación final y con costes más competitivos. A largo plazo las tecnologías de encapsulación deberán permitir obtener productos con respuesta activa y adaptable al ambiente.

Tecnologías Sostenibles

En el campo de los nanomateriales, a medio plazo se requieren nuevos procesos que permitan la obtención de los mismos a partir de residuos y fuentes renovables, que contribuyan a la reducción del uso de materias primas y en especial aquellas consideradas "críticas". Las tecnologías deberán primar los procesos "limpios",

evitando al máximo el desperdicio o uso indiscriminado de materias primas no renovables, así como el empleo de materiales peligrosos o contaminantes que atenten contra la salud o el ambiente y el reciclaje de los desechos producidos.

Tecnologías de Fabricación

A medio plazo la obtención de materiales a partir de procesos biotecnológicos es un campo que tendrá gran impacto en la producción de biocombustibles como por ejemplo la producción de bioetanol a partir de almidón, biocombustibles a partir de nuevas tecnologías enzimáticas de hidrólisis de celulosa y hemicelulosa y a partir de residuos orgánicos. También se prevé un gran impacto en la producción biológica de hidrógeno y producción de distintos compuestos químicos, compuestos quirales y polímeros. Para ello se requieren avances en la identificación, aislamiento, purificación y expresión de enzimas industriales, y en el desarrollo de nuevos procesos microbianos o microbiológicos para la biotransformación y producción de nuevos materiales.

En cuanto a la producción de nanomateriales, a medio plazo se requiere potenciar los procesos de escalado industrial, ya que gran parte de los procesos que se desarrollan a escala de laboratorio no llegan a su implantación industrial debido a la falta de recursos que permiten definir los procesos industriales finales. Asimismo se requiere seguir investigando en maquinaria para una fabricación más eficiente y precisa de nanomateriales.



El futuro de la
Química Sostenible

13



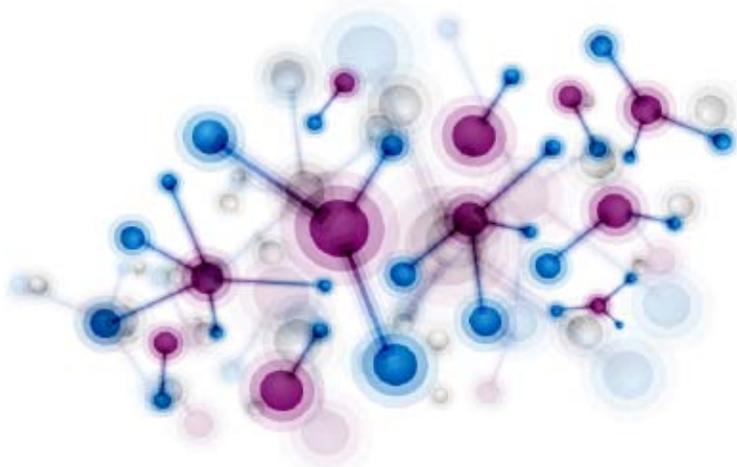
Materiales y Nanomateriales

Materiales Inteligentes

El auge de los materiales inteligentes se espera que sea a medio plazo pero ya hay importantes avances en materiales que reaccionan o responden a estímulos externos para generar un determinado comportamiento. Se está apostando por tecnologías que permitirán obtener este tipo de materiales: polímeros expansibles, polímeros inteligentes de tercera generación, nanocápsulas, puertas moleculares, materiales piezoeléctricos, materiales con cambio de fase. Los estímulos a los que responden también varían: pH, temperatura, humedad, fatiga, vibración, luz UV/IR, solar. Ya se están investigando aplicaciones para liberación controlada de fármacos, inhibidores de corrosión, biocidas...materiales autorreparadores, materiales sensores, materiales para captación de energía ambiental.

Tecnologías de Recubrimiento

Las tecnologías de recubrimiento tienen que adaptarse a la implementación de nanomateriales que están aportando nuevas funcionalidades. Para ello se deben optimizar las tecnologías de mezcla y dispersión, estabilización, y control reológico para que los nuevos recubrimientos mantengan dispersiones efectivas y estables de los nanomateriales. Se requieren avances en las técnicas de deposición de nanocapas en procesos en continuo para facilitar la implementación industrial. El desarrollo de procesos de aplicación más fáciles y de menor coste (ej. Spray) facilitará la implantación de nanorrecubrimientos a procesos de producción de sectores más tradicionales (madera, textil, metal, construcción...).



Caracterización de Nanomateriales

Los materiales nanoestructurados están, cada vez más, sujetos a un gran número de análisis químico y físicos. Debido a su pequeño tamaño, las herramientas con alta resolución espacial son las que se espera tengan un mayor desarrollo a corto plazo. También es de esperar avances en herramientas diseñadas para analizar super-

ficies, propiedades ópticas y eléctricas. Independientemente del enfoque, los materiales nanoestructurados presentan una variedad de obstáculos para un análisis adecuado, útil y necesario. Asimismo se requieren técnicas de detección de nanomateriales que sean validadas por la CE para las normativas de seguridad. Las capacidades de resolución de las técnicas de microscopía electrónica (TEM, SEM) y de la microscopía de fuerza atómica (AFM) son altas, y aportan información estructural, tamaño y grado de aglomeración de nanopartículas. A pesar de ello para nanopartículas con muy bajo potencial Z y para determinar impurezas adsorbidas, las técnicas actuales están limitadas. Los catálogos químicos no aportan suficientes datos de caracterización y se requieren completar más datos de técnicas de espectroscopia FTIR, resonancia magnética nuclear (NMR), espectroscopia de masas MALDI-MS, espectroscopia fotoelectrónica de rayos X (XPS).

Tecnologías de Hidrógeno

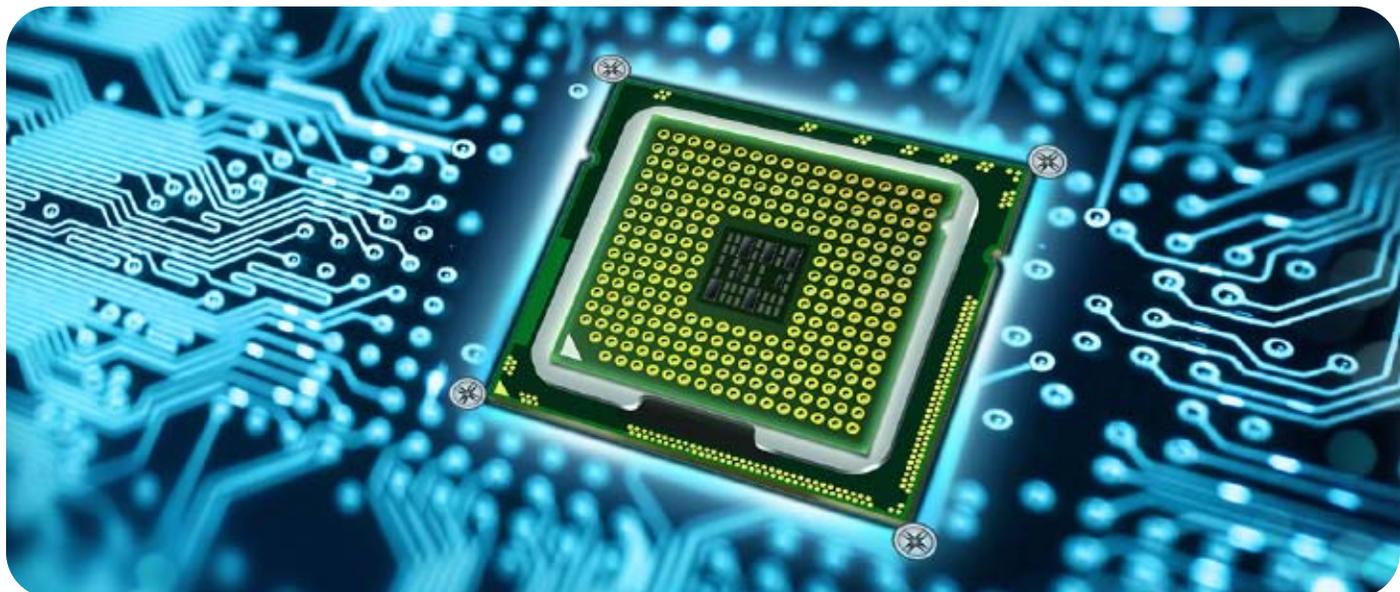
El desarrollo del mercado del hidrógeno (<10% es comercializado) requiere a medio plazo de nuevas alternativas, ya que el hidrógeno como vector energético se enfrenta a limitaciones técnicas y competidores de electricidad de origen renovable (fotovoltaica, eólica), mercados térmicos de origen biológico (biomasa) y bio-carburantes. Hoy en día el 95% del H₂ se produce a partir de hidrocarburos y el 5% por electrolisis. El hidrógeno renovable es el que permitirá conseguir la economía del hidrógeno. A medio plazo, habrá oportunidades para el hidrógeno con electricidad madura (eólica, geotérmica, hidroeléctrica). A medio plazo, las oportunidades serán gasificación de biomasa y producción descentralizada a partir de combustibles bio-derivados. Hidrógeno solar a partir de agua es el reto a largo plazo.

Catalizadores

El diseño de catalizadores altamente activos y selectivos para la producción de compuestos de alto valor añadido está experimentando un importante auge en las últimas décadas gracias a la búsqueda de nuevos procesos y metodologías más eficientes y a la vez respetuosas con el medio ambiente, y a la necesidad de mejora de procesos químicos. Esto conjuntamente con el aumento de la demanda energética y la escasez de reservas de petróleo para el futuro, han creado una importante necesidad de buscar tecnologías alternativas más sostenibles basadas fundamentalmente en materiales renovables, biomasa y biocombustibles. Los catalizadores que a medio plazo presentan mayores expectativas de crecimiento son los que se aplicarán en la transformación de biomasa y/o residuos para la obtención de productos de alto valor añadido (biocombustibles, compuestos químicos, bioplásticos). Para la fabricación de catalizadores, además de los avances en los procesos de bioconversión, se requieren esfuerzos en el desarrollo de tecnologías termo/químicas (ej. Catálisis



Materiales y Nanomateriales



heterogénea, microondas) para la fabricación de bajo impacto ambiental y una producción verdaderamente sostenible.

Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de Materiales

En los últimos diez años el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) ha tenido un avance impresionante, sin embargo, se reconoce que la técnica está en una etapa temprana de su desarrollo. El impacto ambiental de un producto se inicia con la extracción de materias primas y termina cuando la vida útil del producto finaliza, convirtiéndose en un residuo que ha de ser gestionado. En esta cadena se requiere una mayor implicación de las empresas a la hora de evaluar el impacto ambiental que tiene su proceso y el impacto que ocasiona hasta que el producto llega al cliente o consumidor.

El ACV se debe potenciar no sólo como un instrumento para proteger el medio ambiente y conservar los recursos naturales, sino como un instrumento empresarial para reducir costes y mejorar posiciones en el mercado. El ACV a medio plazo se espera que sea la base para evaluar aquellos productos que sean capaces de ingresar al comercio internacional, pues los países desarrollados no estarán dispuestos a financiar la contaminación cuando ellos mismos están haciendo fuertes inversiones en este aspecto.

Modelización de (Nano)materiales

A medio plazo es necesario potenciar el desarrollo y aplicación de herramientas computacionales para el diseño y modelización de (nano)materiales y sus procesos, atendiendo en todo o en parte a los aspectos relacionados con la composición-estructura-

propiedades, así como los de función/aplicación y los relacionados con el comportamiento y vida en servicio. Se requiere elaborar bases de datos con información contrastada que soporten los desarrollos anteriormente descritos. Estos avances permitirán diseñar (nano)materiales con propiedades "a medida" de las aplicaciones hacia las que van dirigidos, y predicciones de la vida a largo plazo de los mismos.

Tecnologías In-Silico

Existe una gran demanda de nuevos modelos con mayor valor predictivo o alternativas en las tecnologías "in silico". Se debe potenciar una mayor convergencia de aspectos estructurales de compuestos potenciales, con datos de investigación "in vivo" e "in vitro", que permitan el modelado computacional y matemático del comportamiento de los compuestos, lo que puede a su vez ser utilizado para predecir las respuestas humanas "in vivo".

El modelado molecular y las simulaciones fisiológicas son aspectos importantes en los que investigar porque se pueden predecir las principales propiedades fisicoquímicas de los compuestos y su comportamiento biológico. Las aproximaciones del modelado molecular están basadas en evaluaciones computacionales de las relaciones cuantitativas estructura-actividad (Structure Activity Relationships - SAR) o sistemas basados en conocimiento, como la quimiinformática. Las tendencias a medio plazo en los modelos computacionales incluyen aplicaciones virtuales de estructuras moleculares en 3D, relaciones estructura-actividad, perfiles metabólicos, creación de pacientes virtuales, desarrollo de programas traslacionales basados en genómica y desarrollo de software de nueva generación para secuenciación genómica.



Diseño de Reacciones y Procesos

Aplicaciones y Soluciones

Materias Primas Renovables

Conversión de Materias Primas de Origen Natural en Productos Químicos de Valor Comercial

Las materias primas de origen fósil como el petróleo, el gas y el carbón son productos de la biomasa que durante millones de años se han reducido a carbón o hidrocarburos. La síntesis de los derivados petroquímicos implica generalmente la oxidación de estos materiales reducidos. Los productos de mayor valor añadido en numerosas ocasiones se sintetizan mediante métodos de oxidación-reducción poco eficientes y que generan residuos y subproductos. Otro problema relacionado con el uso de las materias primas de origen fósil surge cuando éstas sufren aumentos de precio (> 40 US\$ / barril). La consecuencia inmediata es la inestabilidad financiera de las empresas que basan su producción íntegramente en estas materias. Debido al carácter finito de las reservas existentes, se estima que los precios seguirán una tendencia al alza a largo plazo.

Por el contrario, la fotosíntesis genera 170.000 millones de toneladas de biomasa cada año. La posibilidad de usar productos naturales procedentes de la biomasa como aceites y grasas naturales, almidón, celulosa, azúcares, fibras naturales, ceras naturales y proteínas como fuente de productos químicos puede suponer una ruta alternativa a la producción petroquímica. Un aspecto fundamental en el aprovechamiento satisfactorio de estas materias primas renovables es el adecuado conocimiento de la estructura de la biomasa a partir de la cual se obtienen. Otro aspecto importante se refiere a la aplicación y desarrollo de tratamientos físicos, químicos y biológicos (ver Biotecnología Industrial y Biorrefinerías) suficientemente robustos y eficientes en términos de intensidad de masa y energía como para rendir productos de partida aptos para posteriores aprovechamientos en la cadena sintética y de valor.

Conversión de Residuos en Productos Químicos de Valor Comercial

Asimismo, la obtención de productos químicos a partir de residuos constituye otra posible alternativa a los derivados del petróleo y una oportunidad para aplicar tecnologías para la eficiencia de recursos. El aprovechamiento de residuos industriales como el caucho y los residuos mineros, los agroalimentarios, forestales y urbanos como materia prima de productos químicos útiles está lejos de ser una actividad generalizada. Será necesario explorar no solo los aspectos relacionados con su caracterización y métodos de acondicionamiento (ver Valorización Química de Residuos: de Subproductos a Materias Primas), sino también las enormes posibi-

lidades que ofrecen para complementar y enriquecer la diversidad de productos químicos industriales.

Para el aprovechamiento industrial de productos de la biomasa y de los residuos, será necesario desarrollar y expandir los actuales procesos de transformación química mediante nuevos sistemas catalíticos, reactivos, disolventes y reactores capaces de acceder a un número creciente de sustancias químicas objetivo, desde productos básicos como el etileno hasta especialidades químicas como lubricantes, disolventes, etc.



Energía Sostenible

Biocombustibles

La energía obtenida a partir de la biomasa satisface hoy en día a un 12% de la demanda mundial de energía. La investigación de nuevos biocombustibles se encuentra en una fase de desarrollo tecnológico temprano caracterizado por la investigación y el desarrollo de una gran diversidad de biocombustibles. Esta diversidad surge porque ningún biocarburante alternativo presenta las propiedades ideales ni está libre de posibles efectos de competencia (p. ej., uso de la tierra). Es importante mantener esta diversidad tecnológica sin debilitar los sectores industriales emergentes como el del biodiésel.

Se pueden distinguir dos grandes grupos de biocombustibles: los que se procesan mecánicamente (ver Plataforma BIOPLAT <http://www.bioplat.org/>) y los que se procesan químicamente. Los biocombustibles procesados químicamente se basan en tres tecnologías de conversión: conversión termoquímica, conversión fisicoquímica y conversión bioquímica (ver Biotecnología Industrial y Biorrefinerías). Entre los biocombustibles obtenidos por procesos químicos, los esteres metílicos de ácidos grasos (FAME) son los que predominan en el mercado puesto que se ha creado un nuevo sector industrial y están regulados legislativamente. A pesar de



Diseño de Reacciones y Procesos

su uso generalizado en muchos países, el proceso de conversión sufre de ineficiencias que requieren el rediseño de su proceso de conversión para el aprovechamiento energético completo de todas las materias primas, la reducción del consumo energético del proceso y la eliminación de los residuos.

Para alcanzar este objetivo serán necesarios nuevos esquemas sintéticos, nuevos catalizadores y nuevos reactores integrados. Más allá del FAME, nuevos biocombustibles son investigados como los aceites vegetales hidrotratados (HVO) que pueden complementar la gama de biocombustibles obtenidos a partir de aceites naturales. La baja densidad y pobre lubricidad de HVO pueden ser compensadas mezclándolos con biodiésel y otros bioésteres como los ésteres de ácidos grasos de glicerol formal. El desarrollo de productos químicos innovadores para el ajuste de propiedades vía aditivación resultará de gran importancia.

Por otro lado, la conversión termo-química rinde combustibles líquidos a partir de gases (GTL). La experiencia acumulada en este campo utilizando la biomasa como materia prima ha demostrado que la enorme diferencia de escala entre el proceso de gasificación de la biomasa y la transformación de Fischer-Tropsch subsiguiente para que los procesos sean rentables, sitúa la tecnología GTL en un nivel poco competitivo frente a otras tecnologías a medio y largo plazo.

Producción de Hidrógeno

El hidrógeno se ha considerado como un posible vector energético en el futuro. Este gas es abundante en la Tierra y se encuentra fundamentalmente en las vastas reservas de agua del planeta. Actualmente se produce a partir de materias primas de origen fósil como los hidrocarburos. Sin embargo, cualquier proceso de obtención del hidrógeno debe ser respetuoso con el medio ambiente y sostenible. En consecuencia, las prioridades de investigación en esta área contemplan la obtención del hidrógeno a partir de agua y de biomasa. Los procesos de conversión propuestos como la generación fotocatalítica o electrolítica a partir de agua se encuentran en fases muy tempranas de investigación que requerirán nuevos esfuerzos para el desarrollo de catalizadores robustos a medio y largo plazo.

Nuevos Materiales de Cambio de Fase

Los materiales de cambio de fase son materiales que pueden absorber, almacenar y liberar energía térmica, mientras se produce su transición entre la fase líquida y la fase sólida, gracias a su calor latente. Partiendo de este principio estos materiales se pueden usar como almacenes de energía térmica aplicados en los materiales de construcción, los aires acondicionados, las plantas industriales para recuperar el calor residual, el almacenamiento de energía solar. Otras aplicaciones en el sector textil o en el sector electrónico consiguen

efectivos aislamientos térmicos. Estos materiales permiten un gran ahorro energético. Las líneas de investigación futuras incluirán nuevos materiales o biomateriales que aumenten su capacidad energética para amplios rangos de temperatura.

Celdas Fotovoltaicas más Eficientes

La conversión de luz solar en energía eléctrica en celdas fotovoltaicas de silicio representa una de las más sólidas contribuciones a la energía renovable. Si bien las celdas de silicio poseen gran eficiencia de conversión de potencia y larga durabilidad, el impacto ambiental de los procesos metalúrgicos asociados con la manufactura del silicio y el relativamente bajo rendimiento energético suponen serios inconvenientes.

La búsqueda de nuevas tecnologías que superen estas dificultades se centra en el desarrollo de celdas fotovoltaicas de mayor rendimiento que puedan manufacturarse a gran escala reduciendo el impacto ambiental y que sean económicamente atractivas. Las celdas fotovoltaicas basadas en nuevos materiales orgánicos (OPV) y las nuevas posibilidades que ofrece el grafeno para incrementar significativamente la eficacia de conversión de luz solar en electricidad constituyen líneas de investigación cuyos resultados se materializarán a medio y largo plazo.

Productos Funcionales y Formulaciones Ecoeficientes

(Bio)productos Ecoeficientes

Las innovaciones en esta área se orientan a reducir los efectos adversos sobre el medio ambiente y la salud humana al tiempo que se conservan e incluso mejoran las propiedades que garantizan su eficacia funcional. En agroquímica destaca el desarrollo de biopesticidas obtenidos a partir de microorganismos para el control de plagas, biofungicidas obtenidos a partir de bacterias naturales. La aplicación de productos y formulaciones químicas ecoeficientes como las gomas, los adhesivos, etc. se prevé cada vez más importante en los productos de consumo humano como el calzado, la marroquinería, la cosmética, etc.

La sustitución de pirorretardantes bromados, ingredientes de formulaciones plásticas, se prevé un área de desarrollo importante a corto plazo, en especial las alternativas de naturaleza polimérica. Las alternativas a productos como el bisfenol-A, presente en formulaciones de resinas y plásticos de policarbonato, también serán objetivo prioritario de investigación a corto y medio plazo. Un área emergente de especial interés y relevancia a medio plazo será el desarrollo de productos ecoeficientes para su uso en prospecciones geológicas de fractura hidráulica.



Diseño de Reacciones y Procesos



Las tendencias actuales en los desarrollos de asfaltos se centran en las formulaciones de sistemas que permitan fabricar, extender y compactar mezclas bituminosas a temperaturas inferiores a 100°C. A estas nuevas mezclas se les exige un comportamiento en servicio similar a las fabricadas a altas temperaturas. Los esfuerzos se centran en la búsqueda de aditivos que disminuyan o bien la tensión interfacial árido-ligante o la susceptibilidad térmica del asfalto. En paralelo, este problema también se está abordando desde la tecnología de las emulsiones acuosas, desarrollando sistemas que se apliquen a unos 80°C.

Un segundo aspecto que también se está desarrollando es la utilización de productos considerados como residuales en otras industrias en la modificación de asfaltos. Así, por ejemplo, se están estudiando el polvo de los neumáticos fuera de uso o los polietilenos reciclados para mejorar alguna de las propiedades de los asfaltos convencionales.

Disolventes Ecoeficientes

El diseño de disolventes de baja inflamabilidad y toxicidad que no emitan compuestos orgánicos volátiles se espera que experimente un fuerte incremento debido a la tendencia a reducir el labelling de las formulaciones. Nuevas formulaciones y procesos basados en disolventes acuosos y nuevos disolventes orgánicos menos peligrosos se vislumbran como las necesidades prioritarias de una industria que crece de forma importante para abastecer tanto mercados consolidados como emergentes. El número de disolventes ecoeficientes es todavía relativamente bajo debido al reducido número de moléculas plataforma y sus derivados a precios competitivos. La diversificación de los disolventes ecoeficientes será el factor clave que permita el desarrollo sostenido de disolventes innovadores y su penetración en el mercado.

Bioplásticos

Biomonomeros y Biopolímeros

La creciente demanda global de bioplásticos revertirá en importantes incrementos de producción del grupo de los bioplásticos no biodegradables, es decir las versiones bio de los plásticos tradicionales como el polietileno (PE) y, parcialmente, el polietilentereftalato (PET). En este campo se sumarán iniciativas para el desarrollo de ácido acrílico de origen renovable vía el precursor ácido 3-hidroxipropiónico. La producción de isobutileno a partir de isobutanol obtenido por vía fermentativa permitirá la producción de biogomas con diversas aplicaciones industriales. También experimentarán un notable incremento de producción el grupo de los bioplásticos biodegradables, liderado por el ácido poliláctico (PLA) y los polihidroxialcanoatos (PHA). En este área se espera que se puedan sumar biopolímeros derivados de ácidos dicarboxílicos (p.ej., ácido succínico, ácido málico) obtenidos por enzimas y microorganismos robustos. La industria de la electrónica de consumo demanda formulaciones plásticas altamente transparentes como una alternativa de reducido peso frente al uso de cristales. Los retos para el desarrollo de estas especialidades plásticas incluirán la durabilidad y la resistencia al deterioro. Los polímeros constituirán la base química de materiales futuristas que posean nuevas combinaciones de propiedades como los composites y sistemas híbridos, bioplásticos funcionales biodegradables, membranas para el tratamiento de corrientes de proceso y efluentes acuosos.

Reacciones y Procesos Ecoeficientes

Rutas Sintéticas de Bajo Impacto Ambiental

Las estrategias sintéticas de interés en Química Sostenible tendrán como principales objetivos la reducción de la intensidad de masa y energía así como la eliminación de reactivos y auxiliares peligrosos desde el punto de vista de la salud humana, el medio ambiente y la seguridad industrial. Los sectores de mayor impacto son la Química Fina y la Química Farmacéutica. En este campo se priorizarán las alternativas a disolventes como la dimetilformamida, la N-metilpirrolidona, la piridina, el diclorometano, el éter diisopropílico, el hexano y el tolueno. La reducción del uso de reactivos peligrosos como los oxidantes basados en metales tóxicos o los perácidos también constituirán objetivos prioritarios. Otro ámbito de interés es el desarrollo de síntesis ecoeficientes que se caractericen por elevadas economías de átomos, selectividad y rendimientos. En este sentido la reducción de etapas de síntesis proporciona una de las estrategias de mayor impacto en los resultados, en especial la eliminación de etapas de protección/desprotección de grupos funcionales que constituyen más del 20% de todas las transformaciones químicas en la manufactura de fármacos. Por otro lado,



Diseño de Reacciones y Procesos

los sistemas de control de reacción a tiempo real evitan pérdidas innecesarias y mermas en la producción al tiempo que garantizan la generación de productos dentro de especificaciones de calidad.

Metales

Obtención de Metales Estratégicos de Baja Disponibilidad

La obtención de metales y tierras raras de baja disponibilidad a partir de minerales y productos usados constituye un factor tecnológico de importancia debido a su uso generalizado en componentes electrónicos cuyo crecimiento anual es del 5%. La importancia del

aislamiento de metales desde sus minerales y del reciclado de metales se describe en la sección de Valorización Química de Residuos. La calidad de los metales obtenidos a partir de estas fuentes dependerá en gran medida de los avances en tecnologías de aislamiento y purificación como la hidrometalurgia, la electrodeposición y procesos electroquímicos. En particular, el reciclado de los residuos electrónicos (e-residuos) se vislumbra como uno de los principales retos donde deben desarrollarse tecnologías químicas efectivas y de bajo coste para la recuperación de los metales constituyentes. Igualmente relevantes serán las tecnologías combinadas para la recuperación y reciclado de metales y materiales plásticos de los circuitos integrados.

Aplicaciones/Soluciones identificadas por el grupo de Diseño de Reacciones y Procesos

Área	Cod.	Medio Plazo (2015)	Largo Plazo (2020)
MATERIAS PRIMAS	RP01	Conversión química de productos de origen natural en productos químicos de valor comercial	
	PR02	Reacciones y procesos para la conversión química de residuos industriales, agroalimentarios, forestales y urbanos en productos químicos de interés industrial	
ENERGÍA SOSTENIBLE	RP03	Biocombustibles de segunda generación	
	RP04	Producción de Hidrógeno	
	PR05	Nuevos materiales de cambio de fase para el almacenamiento / generación de energía	
	PR06	Diseño de productos químicos para incrementar la eficiencia de celdas fotovoltaicas	
PRODUCTOS FUNCIONALES Y FORMULACIONES ECOEFICIENTES	RP07	Desarrollo de biodisolventes	
	RP08	Desarrollo de biotensioactivos	
	RP09	Desarrollo de biolubricantes	
	RP10	Formulación de asfaltos	
	RP11	Bioformulaciones	
BIOPOLÍMEROS	RP12	Obtención de Biomonómeros	
	RP13	Síntesis de Biopolímeros, bioplásticos	
REACCIONES Y PROCESOS ECOEFICIENTES	RP14	Procesos sintéticos no intensivos en energía	
	RP15	Rutas sintéticas de bajo impacto ambiental	
	RP16	Control de reacción	
	RP17	Métodos de tratamiento y recuperación de aguas residuales	
	RP18	Valorización de residuos metálicos	
	RP19	Desarrollo de compuestos o metales de alto valor añadido	

Fuente: Elaboración propia. SusChem-España



El futuro de la
Química Sostenible

19



Diseño de Reacciones y Procesos

Tecnologías

Catálisis Sostenible

Catalizadores Selectivos y Sostenibles

La activación de enlaces C-H y funcionalización es una de las tecnologías catalíticas de mayor interés ya que este tipo de transformaciones químicas tienen un amplio rango de aplicaciones sintéticas. En particular, la activación y funcionalización de enlaces C-H de alcanos con metales de transición es un área que requiere una mayor atención. Asimismo, las transformaciones oxidativas de enlaces C-H en condiciones suaves evitando la generación de co-productos de oxidación contaminantes tienen una especial relevancia para la química industrial. Otras reacciones que requieren un mayor desarrollo son la funcionalización selectiva de enlaces C-H en moléculas complejas mediante los mismos sistemas desarrollados para los alcanos, múltiples oxidaciones en el mismo sustrato y la combinación de eventos de activación C-H para la formación de enlaces C-C.

El desarrollo de nuevos catalizadores heterogéneos mediante una estrategia de diseño racional teniendo en cuenta el modo de acción, permitirá acceder de forma más eficiente a catalizadores heterogéneos de interés en áreas como la conversión de gas natural y alcanos de bajo peso molecular y carbón en materias primas como el metanol, el alcohol o las olefinas para la producción química y productos más elaborados. Otras prioridades a largo plazo incluyen el desarrollo de catalizadores eficientes para la conversión de dióxido de carbono en polímeros como los policarbonatos y las estrategias catalíticas para la transformación selectiva de diferentes fracciones de biomasa en productos de interés.

Nuevos métodos catalíticos serán necesarios para dar respuesta a una demanda creciente de compuestos enantioméricamente puros. En particular, las líneas de investigación prioritarias contemplarán el desarrollo de procesos catalíticos asimétricos robustos y económicos basados en catalizadores abundantes y carentes de (eco)toxicidad que sean viables en entornos industriales.

Por otro lado, los avances en nanotecnología ofrecen nuevas oportunidades para ampliar la gama de catalizadores con nanopartículas, especialmente las nanopartículas metálicas con elevada actividad, selectividad y propiedades electrónicas controlables.

Ingeniería Sostenible

Integración e Intensificación de Procesos

La integración de nuevos conceptos teóricos con nuevas estrategias y procedimientos de modelización de

productos y procesos será un factor clave de éxito en el proceso de industrialización de las innovaciones aportadas por los equipos de investigación fundamental. En particular, la integración de métodos teóricos, microcinética de reacción, modelización de procesos de reacción/separación debe recibir una gran atención a corto y medio plazo. Por otro lado, los sistemas de reacción en flujo acoplados a materiales estructurados con una mayor diversidad de características y propiedades permitirán el desarrollo de reacciones químicas y procesos de alta eficiencia energética y producción química.

En particular, se priorizarán los métodos fácilmente industrializables que permitan estabilizar las especies (bio)catalíticas y maximicen el transporte y reacción de los sustratos así como su ulterior aislamiento y purificación. Asimismo, los nuevos conceptos de ingeniería incorporarán la posibilidad de acoplar métodos alternativos y más eficientes a la activación térmica como pueden ser las tecnologías de microondas y ultrasonidos.

Modelización y Diseño de Productos y Procesos Químicos

Diseño Químico, Modelización y Técnicas *In-silico*

Uno de los principales retos de la Química Sostenible es el desarrollo de productos y procesos químicos seguros y funcionalmente eficaces para las aplicaciones industriales que han sido diseñados. Las propiedades de sostenibilidad se suman a las propiedades de eficacia y por lo tanto el número de variables de diseño y los conflictos entre ellas aumentan acabando a menudo en soluciones subóptimas. Por un lado, se requieren conceptos teóricos fundamentales que relacionen la complejidad del diseño y la diversidad química mínima para alcanzar soluciones óptimas. Este conocimiento permitirá determinar la viabilidad técnica y económica de los procesos y productos innovadores de la Química Sostenible. El desarrollo de sistemas complejos como los materiales y los bioproductos funcionales requerirá el desarrollo de métodos de modelización basados en un conocimiento más íntimo de las relaciones estructura-propiedad de polímeros, aditivos y sistemas materiales. Estos métodos combinados con potentes técnicas de análisis y caracterización estructural permitirán guiar el diseño efectivo de los materiales del futuro. De la misma manera, es necesario un mejor conocimiento fundamental, molecular y mecanístico que permita el desarrollo de catalizadores que superen los procedimientos tradicionales de diseño basados en prueba y error.



Diseño de Reacciones y Procesos

Tecnologías Hidrometalúrgicas y de Electrodeposición

Hidrometalurgia

La recuperación de metales de fuentes minerales o residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) debe contemplar dos aspectos fundamentales que caracterizan estos residuos. Por un lado, la gran diversidad de metales que se pueden encontrar presentes en estas fuentes y, por otro lado, su asociación con otros materiales, especialmente los plásticos (ej., polipropileno, poliestireno, poliésteres, policarbonatos, cloruro de polivinilo, ABS, etc.). La naturaleza heterogénea y compleja de estas fuentes de metales determina en gran medida las técnicas de aislamiento y recuperación.

El desarrollo de agentes de lixiviado de alta eficacia y reducido coste y su integración con los procesos de extracción e intercambio iónico eficientes, respetuosos con el medio ambiente y económicamente competitivos resultará esencial a medio y largo plazo. En cuanto al aislamiento y purificación de metales a partir de licores de lixiviado, uno de los principales objetivos a medio plazo será, por un lado, la separación de impurezas como el Ca, Si, Al o Fe, y por otro, la separación de tierras raras ligeras y pesadas. Para ello, se debe potenciar la investigación en tecnologías que incluyen procesos de extracción con disolventes orgánicos benignos, procesos de adsorción, tecnologías de membrana como la ósmosis inversa, la nanofiltración o electrodiálisis, o la EPT (Emulsion Pertraction Technology) o procesos de precipitación/filtración.

Electrodeposición y Procesos Electroquímicos

Los métodos electroquímicos y de electrodeposición eficientes formarán parte de una estrategia global de recuperación de metales que puede incluir el biolixiviado, la bioabsorción y la hiperacumulación de metales. Su papel fundamental será el de extraer y precipitar los metales como etapa finalista. Las líneas de investigación prioritarias incluirán la integración de métodos y el tratamiento adaptado a cada composición específica de las fuentes de metales de interés. El objetivo último de las tecnologías para la recuperación de metales deberá contemplar un sistema de ciclo cerrado de uso y recuperación de metales a largo plazo.

Tecnologías de Separación

Membranas

La integración de sistemas de separación de membranas con extracción con disolventes verdes y el uso de nanomateriales deben experimentar una mayor evolución y resultará muy útil la expansión de la gama de aplicaciones en áreas como el tratamiento de aguas, la producción de hidrógeno, el aislamiento de productos

químicos complejos en mezclas de fermentación o en reacciones biocatalíticas y en la extracción y purificación de tierras raras de los licores de lixiviación.

Caracterización y Control

Control de Procesos y Productos

Uno de los objetivos a medio plazo es el desarrollo de métodos y sistemas computacionales, sensores y dispositivos que permitan un mayor control de los procesos químicos industriales ligando la información molecular con los niveles de operación macroscópicos. Un ejemplo de estas metodologías lo constituye el control de la calidad de los productos a tiempo real en el mismo lugar de la fabricación. La miniaturización de sensores y los sistemas de transmisión de datos deben proporcionar la posibilidad de controlar los procesos de forma adecuada y bien distribuida de manera que puedan separarse físicamente los procesos de control y los procesos de manufactura.

Es un reto fundamental a nivel europeo el desarrollo y mejora de los métodos de caracterización analítica de los polvos concentrados de metales procedentes de la recuperación de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos que elimine las enormes divergencias observadas. Estas divergencias dificultan las etapas posteriores de purificación.



Biotecnología Industrial y Biorrefinerías

La Biotecnología Industrial, también conocida como Biotecnología Blanca, es el moderno uso y aplicación de la biotecnología para la producción y procesado sostenible de combustibles, materiales y productos químicos. Se utilizan enzimas y microorganismos para fabricar productos en sectores tales como el químico, agroalimentario, papelerero, textil y energético.

El uso de biomasa como materia prima básica supone el paso de una economía basada en el petróleo a otra basada en la biomasa, lo que se suele denominar bioeconomía. En este contexto, y por similitud con la refinería petrolífera, surge el concepto de biorrefinería: instalación productiva en la que se integran diversos procesos y tecnologías para la conversión de la biomasa en bioenergía y bioproductos.

La aportación de la biotecnología al desarrollo del concepto de biorrefinería es fundamental, pero también lo es la de otras tecnologías (química, ingeniería...), que deben integrarse como un todo para maximizar su eficiencia y competitividad. En este sentido, a pesar de que el carácter multidisciplinar de la biorrefinería permitiría su inclusión en cualquiera de las áreas temáticas incluidas en SusChem-España, para reforzar el concepto "BIO" se ha optado por incluirlo en el área de Biotecnología Industrial, a la que se ha añadido su nombre para remarcar la importancia que se le concede.

Aplicaciones y Soluciones

Biomasa (Materias Primas)

Uso Integral de la Lignocelulosa como Materia Prima en Bioprocesos

La tecnología de hidrólisis de la biomasa lignocelulósica implica la degradación de los carbohidratos en los azúcares que los componen por medio de diversos

procesos físicos, químicos y/o biológicos. La biomasa debe ser sometida en primer lugar a un pretratamiento para separar la lignina, solubilizar las hemicelulosas y exponer la celulosa para la posterior degradación enzimática. La celulosa sufre entonces una hidrólisis enzimática para producir glucosa, que puede ser convertida en biocombustibles y productos químicos mediante fermentación. La lignina queda, en este proceso, como un subproducto o residuo infrutilizado, cuya valorización es todavía un reto importante.

Alternativamente, la biomasa puede ser también procesada mediante tecnologías de gasificación, obteniéndose así el denominado gas de síntesis o syngas, constituido por una mezcla de H₂, CO y CO₂. Este gas puede ser posteriormente convertido en una amplia gama de productos químicos mediante procedimientos químicos o biológicos. En este caso la biomasa es utilizada en su totalidad.

Búsqueda de Nuevas Celulasas más Eficientes

Las enzimas responsables de catalizar la hidrólisis de la celulosa, la principal fracción que forma parte de la biomasa lignocelulósica, son las celulasas. Sin embargo, por su estructura, la celulosa es muy resistente a la degradación. En la actualidad se encuentran comercialmente disponibles preparaciones enzimáticas de celulasas para diversas aplicaciones, si bien no están optimizadas para realizar una hidrólisis extensiva de la celulosa para su uso en la generación de azúcares fermentables.

Por todo ello, la hidrólisis enzimática del material lignocelulósico requiere elevadas dosis de enzima, lo que unido a que su disponibilidad no es lo suficientemente elevada, supone que el coste de las celulasas tenga un gran impacto económico en los bioprocesos que utilizan este tipo de biomasa.

Se hace necesaria, por tanto, la búsqueda de nuevas celulasas con unas mejores propiedades catalíticas a las ya disponibles, procedentes de nuevos microorganismos, con preferencia para los microorganismos extremófilos, sobre todo termófilos, que puedan aportar nuevas potencialidades y características. La metagenómica es una herramienta que puede ser muy útil en este sentido.

Valorización de Biorresiduos Industriales, Agroalimentarios, Forestales y Urbanos como Materias Primas en Bioprocesos

Los biorresiduos, es decir, residuos de naturaleza biológica, se consideran, a todos los efectos, como biomasa. Una parte más o menos importante de estos biorresiduos, generados en diferentes actividades e industrias, son susceptibles de ser reutilizados como materia prima de partida para bioprocesos, lo que tiene un doble beneficio: por un lado, contribuye a solucionar el problema medioambiental que supone la generación de residuos y, por otro lado, valoriza dichos residuos al utilizar una materia prima extremadamente barata para obtener productos de elevado valor añadido.



Biotecnología Industrial y Biorrefinerías

Uso del CO₂ como Materia Prima en Bioprocesos

Un modo de mitigar las emisiones de CO₂ implica su conversión y fijación en productos de alto valor añadido. En este sentido, el CO₂ puede ser considerado como una materia prima abundante, barata y renovable. Además, presenta una muy baja toxicidad y puede ser almacenada, transportada y manejada sin mayor dificultad. Desgraciadamente, la molécula es bastante inerte y estable, y sus reacciones son altamente desfavorables desde un punto de vista energético. La molécula de CO₂ puede ser convertida en otros productos mediante procesos bioquímicos o biológicos, de los cuales el más importante es, por supuesto, la fotosíntesis.

Los organismos fotosintéticos, entre los que se encuentran las plantas, las algas y ciertos microorganismos, como microalgas y cianobacterias, ofrecen una de las alternativas más atractivas, ya que emplean la radiación solar, agua y CO₂, como fuente de carbono, para desarrollar su actividad vital, generando biomasa mediante la captura de CO₂ que puede ser empleada en procesos industriales. Desde el punto de vista de la biotecnología industrial, los intereses se centrarían precisamente en ese tipo de microorganismo, ya que las plantas entrarían dentro del ámbito de la biotecnología verde.

Aparte de la generación fotosintética de biomasa, existen diversos procesos y reacciones biológicas en los que se producen también fenómenos de fijación de CO₂, entre los que se incluyen la actividad metabólica de las ciertas bacterias acetogénicas y metanogénicas, y las reacciones enzimáticas de carboxilación.

Bioenergía

Bioetanol de 2ª Generación

Para ser competitiva, la producción de bioetanol debe depender de unas fuentes de materias primas renovables baratas y fiables, y de unos procesos de fermentación eficientes. En la actualidad, los precios de los azúcares son demasiado elevados para permitir una producción competitiva de bioetanol, y sólo una parte de las cosechas está siendo utilizada. Por lo tanto, será necesario desarrollar nuevas tecnologías para convertir eficientemente la biomasa residual (celulósica, fibras o derivada de la madera) en azúcares fermentables. La finalidad es poder disponer de bioetanol de segunda generación, obtenido a partir de biomasa específica, tal como residuos de cosechas (paja, mazorcas de maíz), cultivos energéticos, derivada de explotaciones forestales de rotación corta, o residuos industriales o urbanos.

Por otra parte, los microorganismos que se utilicen deben ser capaces de convertir totalmente los carbohidratos (C₆ y C₅) en etanol, ser robustos y tolerar los compuestos tóxicos formados durante el proceso de pretratamiento. Además deben ser capaces de resistir el

estrés causado por elevadas concentraciones de etanol y sustratos, por el bajo pH, etc. Cepas de este tipo no se encuentran actualmente disponibles, y el desarrollo de tales cepas requiere un abordaje multidisciplinar que involucre diversos aspectos y áreas de investigación.

Biobutanol y otros Alcoholes de Cadena Corta

Aunque la totalidad de la producción mundial actual de butanol se realiza mediante procedimientos químicos, no siempre ha sido así. El butanol puede producirse también mediante fermentación, en un proceso conocido como fermentación de acetona-butanol-etanol (ABE) o solventogénesis, proceso que fue desarrollado industrialmente durante la Primera Guerra Mundial para la producción de acetona. En este proceso se obtenía también butanol, que inicialmente era considerado como un subproducto indeseable, pero que tras la guerra fue muy empleado en la producción de caucho sintético y como ingrediente de pinturas.

Sin embargo, tras la Segunda Guerra Mundial el proceso fue gradualmente abandonado a causa del gran desarrollo de la industria petroquímica, que supuso una gran reducción de los costes de producción de estos compuestos químicos.

En la actualidad, el enorme incremento del precio del petróleo y los potenciales usos del butanol han hecho que vuelva a contemplarse, con gran interés, la producción de butanol mediante fermentación. Aparte de sus usos como disolvente y plastificante, la aplicación con un mayor potencial es como biocombustible en automoción, donde presenta claras ventajas frente al etanol por guardar una mayor semejanza con respecto a la gasolina.

Microalgas como fuente de Aceites (CO₂) para Biodiésel

Las microalgas pueden ser una alternativa eficaz para la obtención de aceites aplicables a la producción de biodiésel. A diferencia de la agricultura tradicional, la producción masiva y a gran escala de microalgas no requiere ni de suelo fértil ni de agua de uso agrario, por lo que no compite por estos recursos. En realidad, el cultivo de microalgas puede no necesitar ni tan siquiera de suelo y puede emplear agua de mar o aguas residuales. Algunas especies de microalgas presentan niveles de eficiencia fotosintética superiores en un orden de magnitud a las especies agrícolas tradicionales, pudiendo alcanzar contenidos en grasas superiores al 20% del peso seco. En base a la eficiencia fotosintética y al potencial de crecimiento de las microalgas, ciertos cálculos teóricos indican que se pueden alcanzar producciones anuales superiores a los 30.000 litros de aceites por hectárea mediante cultivos en masa de microalgas oleaginosas, lo cual supone una productividad 100 veces superior a la lograda por los cultivos de soja, una de las mayores fuentes actuales de biodiésel.



Biotecnología Industrial y Biorrefinerías

Biodiésel mediante Transesterificación Enzimática

La producción industrial de biodiésel, biocombustible constituido por una mezcla de ésteres metílicos de ácidos grasos, se realiza actualmente por procedimientos químicos, utilizando álcalis como catalizadores de las reacciones de transesterificación que los producen. Sin embargo, hay varios problemas con este proceso, como son una necesidad excesiva de metanol, un elevado gasto energético, una recuperación difícil del glicerol, y problemas medioambientales derivados de la eliminación de los jabones formados y otros subproductos. Frente a esto, la transesterificación enzimática de los triglicéridos se presenta como una alternativa prometedora por las suaves condiciones de reacción, la mayor limpieza del biodiésel y del glicerol producidos, y la ausencia o reducción de residuos químicos.

Nuevos Biocombustibles de 2ª Generación para Motores Diésel Procedentes de Residuos Industriales

La producción de biodiésel de segunda generación a partir de subproductos y residuos industriales constituye una interesante alternativa para valorizar biorresiduos de naturaleza lignocelulósica y de otros tipos, como por ejemplo la glicerina residual de la industria del biodiésel. Esta estrategia se basa en el uso de microorganismos capaces de producir y acumular cantidades elevadas de aceites utilizables como materia prima en la fabricación de biodiésel, a partir de fuentes de carbono de bajo valor. De esta forma se incrementa considerablemente la rentabilidad de la materia prima inicial y se minimiza la producción de residuos.



Bioprocesos y Bioproductos

Bioproductos Químicos de Base (Plataformas Químicas) Sustitutivos de o Complementarios a los Productos Petroquímicos

Se consideran productos químicos de base a aquellos productos de elevado volumen de producción, coste

reducido y principal utilidad como base o intermediarios para la producción de otros compuestos químicos y polímeros. En la actualidad, la mayoría de los productos químicos de base son producidos por síntesis química a partir de petróleo y gas. Sin embargo, hay algunos ejemplos de bioproductos entre los productos químicos industriales, como por ejemplo el ácido láctico. En ciertos casos, algunos productos fueron fabricados en el pasado mediante fermentación, pero estos bioprocesos fueron reemplazados por síntesis químicas más eficientes y baratas. Esto puede que vuelva de nuevo: los altos precios del crudo, la bajada de los precios de los recursos renovables, y los progresos científicos alimentan las expectativas de que la biotecnología industrial sustituirá muchos productos químicos de base.

La identificación de más rutas biosintéticas para la producción de nuevos productos químicos de base sigue siendo un reto científico. Un aspecto importante a conseguir es que las materias primas renovables se encuentren disponibles para la bioproducción competitiva de productos químicos en masa a bajo coste.

Bioplásticos y Otros Biopolímeros

La definición de bioplásticos incluye cualquiera de los dos criterios básicos siguientes: su procedencia de materias primas renovables (biomasa) y/o su biodegradabilidad. Puede haber bioplásticos que procedan de biomasa y no ser biodegradables y, al contrario, bioplásticos derivados del petróleo que sean biodegradables; motivo por el que se vuelve de vital importancia el distinguirlos correctamente. Por cuestiones de coherencia con el resto del documento, en el que el término "BIO" hace referencia al origen biológico de las materias primas utilizadas, es decir, la BIOMASA, en este contexto únicamente se aplicará el término bioplástico al obtenido a partir de ésta.

La Biotecnología Industrial puede intervenir en la producción de bioplásticos de dos modos: uno es proporcionando los monómeros requeridos para la síntesis de los bioplásticos, cuya polimerización es llevada a cabo posteriormente mediante tecnologías de tipo químico. Los monómeros polimerizables pueden ser obtenidos por medios biotecnológicos (fermentación) bien directamente o bien en forma de precursores que necesiten una posterior transformación química sencilla para su utilización. Dentro de este grupo se encontrarían los ácidos láctico, succínico, adípico y 3-hidroxipropiónico, y el 1,3-propanodiol.

El otro modo en que la biotecnología industrial puede intervenir en la producción de bioplásticos consiste en la síntesis integral de los mismos, desde una materia prima renovable hasta el biopolímero final, mediante procedimientos biotecnológicos, fundamentalmente por fermentación microbiana. A este grupo pertenecen, por ejemplo, los polihidroxialcanoatos (PHAs) y el poli (ácido γ -glutámico).



Biología Industrial y Biorrefinerías

Moléculas Quirales Industrialmente Valiosas

Numerosos productos químicos poseen centros quirales, lo que en muchos casos es muy importante, como ocurre con los principios activos farmacéuticos, en los que sólo uno de los enantiómeros posee actividad biológica. Los procesos químicos generalmente producen mezclas racémicas, es decir, mezclas que contienen igual cantidad de cada uno de los isómeros ópticos posibles.

Los procesos biocatalíticos, por el contrario, pueden producir productos químicos enantioméricamente puros, o pueden resolver mezclas racémicas, lo que presenta enormes ventajas como por ejemplo evitar la aplicación de complejos y costosos procesos de separación, ya que al obtener un sólo producto no es necesario separarlo de otras especies contaminantes prácticamente idénticas, y un mejor aprovechamiento de las materias primas, ya que la totalidad del producto obtenido posee la configuración correcta, y no sólo la mitad, como ocurre con la mezclas racémicas. Esta especificidad y selectividad de los procesos biotecnológicos debería ser explotada para la obtención de nuevas moléculas quirales de alto valor industrial.

Biorrefinería

El concepto de biorrefinería es análogo al de refinería petrolífera. Una biorrefinería debería integrar diversos procesos para producir múltiples productos, tales como combustibles, materiales, productos químicos, calor y electricidad, a partir de biomasa. En su propia definición está intrínsecamente incluido el concepto de sostenibilidad puesto que la materia prima de la biorrefinería, la biomasa, es renovable. Una biorrefinería podría producir uno o varios productos químicos de alto valor a pequeños volúmenes, junto con elevadas cantidades de biocombustibles (de bajo valor), a la vez que generaría calor y electricidad para sus propias necesidades e, incluso para su venta.

Los productos de elevado valor incrementan su rentabilidad, los elevados volúmenes de biocombustibles ayudan a satisfacer las necesidades energéticas nacionales, y la producción de energía reduce costes y evita la emisión de gases de efecto invernadero.

El concepto de biorrefinería se fundamenta en la óptima utilización y valorización de las materias primas, en la optimización e integración de procesos para una mejor eficiencia, en la optimización del empleo de recursos (agua, energía...), y en el reciclaje/tratamiento de residuos. La producción de bioproductos, especialmente productos químicos de base (bulk chemicals), biocombustibles y polímeros, puede mejorar su competitividad y eco-eficiencia mediante la integración de procesos y la economía de escala.

En este sentido, y teniendo en cuenta la importancia de las biorrefinerías, SusChem – ES junto con la Plataforma Tecnológica Española de Biomasa, BIOPLAT, está elabo-



rando un documento de diagnóstico y un plan estratégico sobre la situación y el diseño del desarrollo requerido de las biorrefinerías en España⁽²⁾.

Desarrollo de Nuevas Cepas más Productivas y Resistentes a las Condiciones Industriales

Si bien una gran variedad de microorganismos son utilizados hoy en día para la producción de numerosos productos mediante procesos de fermentación, todavía necesitan mejorar en aspectos cruciales como su baja productividad volumétrica y su limitada tolerancia a las severas condiciones industriales que a menudo se dan. Los microorganismos a desarrollar deberían presentar una serie de características, entre las que se incluyen su funcionamiento en condiciones diversas, su capacidad de utilizar diferentes materias primas, la posibilidad de producción a crecimiento cero y de realizar bioprocesos anaerobios eficientes. Para ello pueden ser seguidas dos vías paralelas: bien la búsqueda y mejora de unos pocos super-huéspedes que sean altamente adecuados para los sistemas de producción industrial, o bien sacar provecho de la biodiversidad para descubrir nuevos microorganismos con mejores propiedades. En cualquier caso, el desarrollo de tecnologías de manipulación genética aplicables a todo tipo de microorganismos será de vital importancia.

Nuevos Microorganismos con Potencial Interés Industrial

La diversidad de microorganismos y las moléculas que contienen o los procesos que realizan son absolutamente inmensos. Los microorganismos pueden encontrarse en casi todos los ecosistemas, por muy extremas que sean las condiciones de los mismos (temperatura, pH, presión, sales...). Desgraciadamente, la mayoría de los microorganismos presentes en el medio ambiente no puede ser cultivada, lo que supone que la riqueza potencial de los recursos biológicos en la naturaleza es todavía relativamente desconocida y no caracterizada.

Por tanto, es muy importante emprender la búsqueda de nuevos microorganismos, especialmente en ambientes específicos o extremos (extremófilos), para crear un número creciente de procesos biológicos de uso industrial. Además, mediante la modificación genética de estos microorganismos es posible optimizar sus capacidades naturales y adaptarlas al uso en la industria.

(2) Interesados en participar activamente en la elaboración de este documento contactar con secretariatecnica@suschem-es.org



Biotecnología Industrial y Biorrefinerías

Nuevas Enzimas con Potencial Interés Industrial

Para desarrollar y ampliar el uso de enzimas en los procesos industriales es importante expandir el rango de reacciones enzimáticamente catalizadas, para lo cual es imprescindible la búsqueda de nuevos biocatalizadores mediante tecnologías de cribado. La consecución de estos objetivos requiere centrar las investigaciones en cuestiones como: la búsqueda de enzimas y microorganismos novedosos de ambientes específicos o extremos, incluyendo el uso de tecnologías de metagenómica; la implementación de metodologías de cribado orientadas a aplicaciones específicas; y la implementación de nuevas herramientas y tecnologías para determinar la funcionalidad y propiedades de nuevas enzimas.

Desarrollo de Nuevas Variedades de Enzimas más Eficientes

La utilización industrial de enzimas requiere que sus propiedades sean las adecuadas para maximizar su eficiencia. Los biocatalizadores naturales son muy prometedores en este sentido, pero están específicamente diseñados para un propósito diferente al de su utilización industrial. El objetivo en este área se debe centrar en la evolución y desarrollo de biocatalizadores novedosos específicos apropiados para su uso industrial, incluyendo cuestiones como el desarrollo de métodos de evolución dirigida y de diseño racional para la optimización de la biocatálisis; la creación de nuevas funciones para enzimas existentes y la mejora de la eficiencia catalítica; y el desarrollo de herramientas para predecir "in silico" las enzimas apropiadas con propiedades optimizadas.

Aplicaciones/soluciones identificadas por el Grupo de Biotecnología Industrial y Biorrefinería

Área	Cod.	Medio Plazo (2015)	Largo Plazo (2020)
BIOMASA (MATERIAS PRIMAS)	BI01	Uso integral de la lignocelulosa como materia prima en bioprocesos	
	BI02	Búsqueda de nuevas celulasas más eficientes	
	BI03	Valorización de biorresiduos industriales, agroalimentarios, forestales y urbanos como materias primas en bioprocesos	
	BI04	Uso del CO ₂ como materia prima en bioprocesos	
BIOENERGÍA	BI05	Bioetanol de 2ª generación	
	BI06	Biobutanol y otros alcoholes de cadena corta	
	BI07	Microalgas como fuente de aceites (CO ₂) para biodiésel	
	BI08	Biodiésel mediante transesterificación enzimática	
	BI09	Nuevos biocombustibles de 2ª generación para motores diésel procedentes de residuos industriales	
BIOPROCESOS Y BIOPRODUCTOS	BI10	Bioproductos químicos de base (plataformas químicas) sustitutos de o complementarios a los productos petroquímicos	
	BI11	Bioplásticos y otros biopolímeros	
	BI12	Moléculas quirales industrialmente valiosas	
	BI13	Biorrefinería	
	BI14	Desarrollo de nuevas cepas más productivas y resistentes a las condiciones industriales	
	BI15	Nuevos microorganismos con potencial interés industrial	
	BI16	Nuevas enzimas con potencial interés industrial	
	BI17	Desarrollo de nuevas variedades de enzimas más eficientes	

Fuente: Elaboración propia. SusChem-España



Biotecnología Industrial y Biorrefinerías

Tecnologías

Hidrólisis Enzimática de la Celulosa

El aprovechamiento de la lignocelulosa requiere, como paso fundamental, hidrolizar las cadenas de celulosa para obtener la glucosa que servirá posteriormente como sustrato para realizar fermentaciones. La hidrólisis enzimática de la celulosa es llevada a cabo por celulasas, un sistema complejo de enzimas que actúan conjunta y sinérgicamente sobre la celulosa nativa, causando su descristalización e hidrólisis. Las preparaciones de celulasas actualmente disponibles no están optimizadas para la generación de azúcares fermentables ni su disponibilidad es lo suficientemente elevada, lo que influye directamente en su alto coste. En ambos aspectos existe, por tanto, un amplio margen de mejora.

Evolución Dirigida

Los biocatalizadores naturales no se encuentran a menudo optimizados para su aplicación industrial. Las tecnologías de evolución dirigida y de ingeniería de proteínas son dos potentes herramientas que permiten el diseño y construcción de proteínas mutantes, y que persiguen mejorar las prestaciones de los biocatalizadores para incrementar la eficiencia de su aplicación. El éxito de este objetivo requiere un acercamiento multidisciplinar, que implica técnicas de ADN recombinante, técnicas bioquímicas, cristalografía de proteínas y representaciones gráficas computerizadas (modelización molecular).

Expresión de Proteínas Recombinantes

La producción industrial de enzimas se realiza típicamente mediante procesos de fermentación microbiana. La introducción y desarrollo de la llamada ingeniería genética permitió incrementar drásticamente el rendimiento de los procesos de producción y, en consecuencia, reducir notablemente el coste final de las enzimas. Con las nuevas tecnologías es posible producir virtualmente cualquier tipo de enzima en grandes cantidades, con tal de disponer de su gen codificante, que debe ser introducido y expresado en un microorganismo productor modelo que presente unas excelentes propiedades productoras de enzimas.

Tecnologías de Cribado de Alta Capacidad (High Throughput Screening)

El encontrar los microorganismos y enzimas más apropiados para llevar a cabo nuevos bioprocesos y obtener nuevos bioproductos es el punto clave para la viabilidad económica de los mismos. Y en esa búsqueda el cribado (screening) es un paso esencial. El desarrollo de nuevas tecnologías de cribado de alta capacidad (high throughput screening) de bibliotecas de genes y de organismos, que aúnen tecnologías robóticas y test predictivos específicos, es imprescindible para este fin.

Ingeniería Metabólica

La ingeniería metabólica es la mejora de las actividades celulares mediante la manipulación de las actividades enzimáticas y de las funciones reguladoras de la célula, utilizando para ello la tecnología de ADN recombinante. Dado que en los procesos microbianos la consecución de elevados rendimientos y productividades de los productos son imprescindibles para su aplicación industrial exitosa, la ingeniería metabólica debería jugar un papel prioritario en su desarrollo, ya que pretende incrementar directamente los rendimientos del producto o la eficiencia de producción.

Biología Sintética

La biología sintética se puede definir como el diseño y fabricación de componentes y sistemas biológicos que no existen hoy día en la naturaleza, así como el rediseño de los sistemas biológicos ya existentes. El desarrollo de esta disciplina podría permitir la obtención de microorganismos mínimos (microorganismos naturales con una mínima colección de genes) o microorganismos sintéticos o artificiales (microorganismos generados de un modo totalmente sintético usando un grupo de genes esenciales).

Los microorganismos mínimos o incluso totalmente artificiales que se utilizaran para procesos de producción microbiana tendrían ventajas significativas en la biotecnología industrial. Como estos organismos poseerían un metabolismo relativamente simple y se encontrarían perfectamente caracterizados, proporcionarían unas excelentes posibilidades para ser usados como organismos de producción simple y eficiente que puedan ser modificados y reprogramados fácilmente con fines de producción en biotecnología industrial.

Intensificación De Procesos

La intensificación de procesos es otra cuestión importante, especialmente para los procesos biotecnológicos que se mueven cada vez más en el ámbito de los productos químicos de bajo valor y grandes volúmenes. Se hace necesaria la intensificación de procesos para maximizar la eficiencia energética, de consumo de materias primas y otros recursos, y de generación de productos, y minimizar los costes y la generación de subproductos residuales, para así competir eficientemente frente a las opciones tradicionales.



Biotecnología Industrial y Biorrefinerías

Biorreactores, Fotobiorreactores y Microbiorreactores

El equipo donde se realizan los procesos de fermentación y biocatálisis se denomina biorreactor, y proporciona todos los servicios que son necesarios para el mantenimiento de las condiciones idóneas del proceso, tales como mezclado, termostatación, suministro de oxígeno, entradas para adición de nutrientes, control del pH, etc. Los fotobiorreactores son biorreactores dotados de una fuente de luz para permitir el cultivo de microorganismos fotosintéticos. Los microbiorreactores son biorreactores pequeños (escala micro), que ofrecen diversas ventajas sobre los habituales de escala macro, entre las que se incluyen mayores eficiencia energética, velocidad de reacción, rendimiento, selectividad, versatilidad, seguridad, escalabilidad, menor coste, menor generación de residuos, mejor control del proceso, y posibilidad de producción bajo demanda. El diseño de biorreactores, fotobiorreactores y microbiorreactores novedosos, para una operación más eficiente y posiblemente en continuo, debe ser uno de los pilares sobre los que se sustente el avance de las tecnologías de fermentación y biocatálisis.

Fermentación

La fermentación se puede considerar de un modo simplificado como un proceso biológico mediante el cual un azúcar o carbohidrato es convertido en biomasa celular y productos químicos. La ciencia e ingeniería de la fermentación constituye la base de trabajo de la mayoría de las industrias de bioprocesos, así como de aquellos sectores industriales que hacen uso de uno o unos pocos pasos de bioprocésamiento en sus procedimientos. Esta disciplina está en la encrucijada de las ciencias de la vida, la química y la ingeniería química, y posee como eje la implementación de un cultivo celular (procariótico o eucariótico) dentro de un biorreactor a escala de producción.

Biocatálisis

La biocatálisis es la aplicación de biocatalizadores o enzimas para la síntesis, interconversión o degradación de productos químicos. La biocatálisis ofrece un enorme potencial en el establecimiento de nuevos procesos para la obtención de productos de un elevado valor añadido en campos tan diversos como el alimentario, químico y farmacéutico. Las enzimas se utilizan también para proporcionar diversos servicios, como tratamientos especiales, procesos medioambientales y ensayos analíticos y diagnósticos. Los procesos biocatalíticos presentan ventajas frente a los procesos químicos tradicionales, entre las que se incluyen unas condiciones de reacción más suaves (temperatura, presión, pH), lo que se traduce en un menor consumo energético, y su superior especificidad y selectividad, que resultan en un mejor aprovechamiento de recursos y una menor generación de subproductos y residuos.



Herramientas para Manipulación Genética de Microorganismos Actualmente no Susceptibles de ello

En las últimas décadas se han producido grandes avances en diferentes disciplinas biotecnológicas, como la genética, la biología molecular, la ingeniería metabólica y otras, los cuales han permitido el desarrollo de potentes herramientas para manipular los genes de los microorganismos, de modo que éstos puedan modificarse a voluntad y dar respuesta a las propiedades buscadas. Sin embargo, estas tecnologías sólo están disponibles para un puñado de microorganismos, por lo que se hace necesario el desarrollo de nuevas herramientas que permitan extender estas capacidades a otros microorganismos y poder así aprovechar todo el inmenso potencial que proporciona la biodiversidad natural.

Downstream

El procesamiento post-producción de los productos, denominado habitualmente con el término inglés *downstream*, puede ser un procedimiento técnicamente difícil y caro (típicamente supone el 50-70% del coste total de producción). El *downstream* está primeramente relacionado con la separación inicial del medio del biorreactor en una fase líquida y una fase sólida, y la consiguiente separación, concentración y purificación del producto. Además, el proceso incluye la posterior conversión química del producto de fermentación para conseguir el compuesto final deseado. Los principios de la ingeniería química juegan también aquí un papel fundamental en términos del diseño y operación de los sistemas de separación. Mejoras en el *downstream* beneficiarán la eficiencia general y el coste de los bioprocesos, y los hará competitivos frente a los procesos químicos convencionales.



Biotecnología Industrial y Biorrefinerías

Inmovilización de Enzimas

La inmovilización de enzimas es un proceso en el que se confina o localiza a la enzima en una región definida del espacio, para dar lugar a formas insolubles que retienen su actividad catalítica y que pueden ser reutilizadas repetidamente. Entre las ventajas del empleo de enzimas inmovilizadas se pueden destacar el aumento de la estabilidad de la enzima y su posible reutilización, por lo que disminuyen los costes del proceso.

Escalado de Procesos

Los procesos biológicos que funcionan bien en el laboratorio necesitan un cuidadoso escalado si se desea que sean igualmente efectivos a nivel industrial. Unos buenos conocimientos y técnicas de ingeniería de procesos son esenciales para esto. Frente a los escalados tradicionales, la tecnología de biorreactores permite los escalados "de número", es decir, un incremento de la escala por un aumento del número de biorreactores, en vez de por incremento de las dimensiones del biorreactor.

Dispositivos de Análisis

La utilización de nuevos dispositivos de análisis más rápidos, sensibles y específicos está ganando creciente importancia en los últimos años y, entre ellos, los biosensores y biochips ocupan un lugar destacado. La fabricación de biosensores y biochips requiere de la cooperación de la biotecnología con otras disciplinas, principalmente con la tecnología de materiales y nano-tecnología. Estos dispositivos se basan en la detección de las interacciones que se establecen entre el parámetro a medir (una magnitud física o un compuesto químico) y una serie de biomoléculas unidas o inmovilizadas sobre una superficie, que puede ser inerte o con capacidad de transmitir la señal de dicha interacción. Son, por tanto, partes fundamentales de estos dispositivos las biomoléculas responsables de establecer la interacción, que generalmente suelen ser proteínas o ácidos nucleicos, y para cuya obtención la Biotecnología juega un papel protagonista.



Valorización Química de Residuos: de subproductos a materias primas

La valorización es cualquier operación que permite el aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos para una finalidad útil sin poner en peligro la salud humana y sin utilizar métodos que puedan causar perjuicios al medio ambiente. En lo que respecta al Grupo de Trabajo, valorizar es convertir y recuperar residuos en materias primas de interés para la producción de energía, combustible y otros productos químicos y/o materiales que puedan ser integrados en la industria haciendo especial énfasis en los requerimientos ambientales y de sostenibilidad.

En este proceso de valorización es muy importante tener en cuenta los aspectos socio-económicos de la sostenibilidad, que reduzcan la cantidad de residuos que va a vertederos y que el coste de este residuo para la segunda empresa de la cadena sea inferior al coste de las materias primas tradicionales.

Entre otras ventajas merece la pena destacar que la valorización puede reducir los residuos que deben ser llevados a vertedero, puede representar una solución sostenible a la carencia de materias primas y que permite alargar la vida útil de los materiales (criterios de sostenibilidad).

Aplicaciones y Soluciones

Clasificación e Identificación de Residuos

A medio plazo se requiere la identificación (incluyendo volumen, incidencia, localización) de los principales focos de residuos de cara a poder realizar un mapa de los mismos. Una vez identificados los focos se ha de proceder a agrupar residuos similares, clasificar los residuos por similitud de propiedades, caracterizarlos con objeto de dar a conocer la composición específica de los mismos y establecer las fracciones de interés para nuevas aplicaciones. Una vez se tienen todos estos datos, se plantea la creación de una plataforma que a corto, medio y largo plazo lleve a cabo intercambio de información entre los productores y consumidores de residuos que pudieran estar interesados en utilizar estos residuos como materias primas en diferentes procesos.

Gestión Eficiente de Residuos

A medio plazo se requiere la definición de un árbol en el que se describan las posibles opciones de valorización que presenta cada tipo de residuo. También a medio plazo se debería organizar una gestión de recogida de residuos más eficiente y diversificada que permitiera

separar con eficacia las diferentes familias de residuos de cara a que formarán parte de un proceso específico de reciclaje. Para llevar a cabo todo esto también se necesita el desarrollo de nuevos métodos de separación de residuos que comporten bajo coste económico.

Reducción de la Producción de Residuos

A medio plazo la reducción de residuos experimenta una profunda mejora y optimización de los procesos de explotación que usan materias primas no renovables. También se ha de incrementar la vida útil de todos los objetos y la posterior recuperación de los metales utilizados en la fabricación de estos, pero también a medio plazo se requieren soluciones biotecnológicas que permitan disminuir la emisión de CO₂.

Apoyo de la Administración y Seguridad

A medio plazo se requiere establecer los mecanismos necesarios que permitan el reconocimiento público de las empresas que gestionan los residuos así como de las que utilizan materiales obtenidos a partir de residuos como materias primas en sus procesos industriales. Se necesita también una regulación administrativa de los procesos que comporta la recogida y almacenamiento de residuos. También a medio plazo se necesita la implantación de estudios de seguridad que permitan detectar las sustancias peligrosas en los residuos así como llevar a cabo estudios de toxicidad aguda, Toxicidad crónica, mutagenicidad y teratogenicidad.

Procesos de Valorización de Residuos

Esta área del grupo de valorización está íntimamente ligada con el grupo de reacciones y procesos. A medio plazo se requiere conseguir procesos que permitan obtener, a partir de residuos materiales de alto valor añadido como bioproductos, nanomateriales o biopolímeros. Para ello es necesario poner a punto nuevas rutas de valorización así como optimizar algunas ya existentes. Por ejemplo se requiere el desarrollo de enzimas específicos para la valorización de residuos lignocelulósicos, lactosueros y residuos de matadero. También se han de aprovechar los subproductos de tecnologías emergentes. Se propone la adaptación de técnicas bio a nuevos sectores como pilas microbianas o biorreactores así como la intensificación de procesos catalíticos mediante reactores de flujo.



El futuro de la
Química Sostenible



Valorización Química de Residuos: de subproductos a materias primas

Valorización Energética de Residuos

Dentro de la valorización un tema muy importante y con mucho potencial es la obtención de energía a partir de diferentes tipos de residuos. A medio plazo se precisa el almacenamiento de un volumen de residuos suficiente para ser utilizado en usos energéticos. Un punto importante es la conversión de residuos tanto urbanos como industriales en biogás para lo cual se requiere el desarrollo de enzimas específicos. Sería también de interés la valorización energética de alcoholes empleados en la industria extractiva para su uso en pilas de combustible. Se pretende llevar a cabo la valorización de residuos de tratamientos de aguas así como el proceso de residuos para generar fuentes energéticas alternativas como el Hidrógeno.

Tratamiento de Residuos

A medio plazo se requiere reducir significativamente los posibles contaminantes presentes en los residuos para que puedan ser introducidos en la cadena de valorización. Se deben hacer inertes los residuos biológicos con

riesgos de contaminación por microorganismos. Se llevarán a cabo tratamientos microbianos de residuos xenobióticos. A medio plazo también se requiere de la puesta a punto de procesos que permitan la recuperación de suelos contaminados "in situ" así como la recuperación de residuos acuosos mediante procesos por membrana.

Reciclado de Residuos de Plástico y de Metales

Se requiere del desarrollo de procesos químicos concretos y sostenibles que permitan reciclar plásticos de familias semejantes: glicósidos, PET, PU, PVC, etc. Es importante tener en cuenta que se trata de reciclado de residuos voluminosos. Otro de los puntos importantes es el reciclado de metales. Se han de mejorar las tecnologías de recuperación de metales para dar solución a la escasez de materias primas críticas. Se precisa de técnicas de extracción selectiva de metales utilizando membranas o bien líquidos iónicos. Se implementará la recuperación de metales estratégicos como el In y el Ti así como la extracción de metales de los lodos inorgánicos de depuradora.



Valorización Química de Residuos: de subproductos a materias primas

Aplicaciones/soluciones identificadas por el Grupo de Valorización Química de Residuos

Área	Cod.	Medio Plazo (2015)	Largo Plazo (2020)
CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE RESIDUOS	VQ01	Identificación de focos de residuos	
	VQ02	Mapeado, clasificación y cuantificación de residuos prioritarios	
	VQ03	Plataforma informativa para intercambio de información entre productores de residuos y consumidores de materias primas	
	VQ04	Desarrollo de nuevos métodos de caracterización de contaminantes relacionados con residuos	
GESTIÓN EFICIENTE DE RESIDUOS	VQ05	Definición árbol de opciones de valorización	
	VQ06	Gestión de recogida de residuos más eficiente y diversificada	
	VQ07	Nuevos métodos de separación y clasificación de residuos	
REDUCCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE RESIDUOS	VQ08	Mejora y optimización de procesos de explotación de recursos no renovables	
	VQ09	Incremento de vida útil y recuperación de metales	
	VQ10	Soluciones biotecnológicas para reducir las emisiones de CO ₂	
APOYO DE LA ADMINISTRACIÓN Y SEGURIDAD	VQ11	Mayor reconocimiento para las empresas que promuevan la recuperación y valorización de residuos	
	VQ12	Regulación administrativa de la gestión de residuos	
	VQ13	Implantación de estudios de seguridad de los residuos: toxicidad, mutagenicidad, ...	
PROCESOS DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS	VQ14	Valorización de residuos y biomasa para la obtención de productos de alto valor añadido (bioproductos, nanomateriales, biopolímeros)	
	VQ15	Desarrollo de enzimas específicos para la valorización de productos	
	VQ16	Aprovechamiento de subproductos de tecnologías emergentes	
	VQ17	Nuevas rutas de valorización para la obtención de materiales avanzados a partir de residuos	
VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE RESIDUOS	VQ18	Producción de biogás a partir de residuos	
	VQ19	Procesado de residuos para generar fuentes energéticas alternativas H ₂	
	VQ20	Desarrollo de técnicas de recuperación de energía	
	VQ21	Desarrollo e implantación de la micro-cogeneración	



Valorización Química de Residuos: de subproductos a materias primas

Aplicaciones/soluciones identificadas por el Grupo de Valorización Química de Residuos

Área	Cod.	Medio Plazo (2015)	Largo Plazo (2020)
TRATAMIENTO DE RESIDUOS	VQ22	Reducción de contaminantes presentes en residuos	
	VQ23	Degradación microbiana de residuos xenobióticos	
	VQ24	Reducir riesgos en la gestión de residuos biológicos	
	VQ25	Reducción de residuos acuosos mediante procesos por membrana	
	VQ26	Técnicas de recuperación de suelos contaminados in situ	
RECICLADO DE RESIDUOS PLÁSTICOS	VQ27	Desarrollo de procesos químicos sostenibles para reciclar residuos plásticos	
RECICLADO METALES	VQ28	Mejora de tecnologías de recuperación de metales	
	VQ29	Nuevas técnicas de extracción selectiva de metales (SX, membranas, líquidos iónicos)	
	VQ30	Recuperación metales estratégicos	
	VQ31	Valorización de lodos estratégicos de depuradora	

Fuente: Elaboración propia. SusChem-España

Tecnologías

Clasificación y Caracterización de Residuos

El primer paso para lograr una adecuada gestión de residuos consiste en identificar cada uno de ellos, para lo cual se necesita realizar un estudio de todos los procesos que componen la actividad de la empresa que los genera. Se han de poner a punto mecanismos que permitan recoger esa información para su posterior seguimiento. Una vez identificados los distintos residuos se han de determinar el tipo y las propiedades de cada uno de ellos para poder evaluar las opciones de valorización.

Existen herramientas para poder llevar a cabo la caracterización como son la lista Europea de Residuos, la ficha de seguridad de los productos y la caracterización analítica del residuo por un laboratorio externo. Una vez caracterizados, el paso siguiente es la clasificación de los mismos. Existen diversos criterios a la hora de clasificar residuos: estado físico (sólido, líquido, gaseoso), actividad en la que son generados (urbanos, industriales, agrícolas, forestales, sanitarios...), según el marco legal (sólidos urbanos, residuos peligrosos, no peligrosos).

Es importante poner a punto herramientas que permitan llevar a cabo estas tareas de forma rápida y eficaz para lo cual es imprescindible una estrecha colaboración con las instituciones gubernamentales.

Procesos de Despolimerización Química: Glicólisis, Hidrólisis

La despolimerización química consiste en la ruptura de las cadenas poliméricas mediante la adición de un reactivo químico, obteniéndose los monómeros originales que se pueden volver a polimerizar. La quimiólisis incluye procesos como hidrólisis, metanólisis, glicólisis y otros procesos menos comunes como puede ser la aminólisis o la saponificación. Estos procesos sólo son aplicables a los polímeros de condensación y existen procedimientos para reciclar poliuretanos (PU), polietilentereftalato (PET), poliamidas, polimetilmetacrilato (PMMA), polietilenoftalato (PEN) o polibutilentereftalato (PBT).

Los poliuretanos pueden reciclarse mediante hidrólisis en atmósfera inerte a una temperatura de 200-290 °C para obtener una mezcla líquida de polioles. El tratamiento más habitual para los PU es la glicólisis a temperaturas entre 180-220°C. La hidrólisis ácida de poliamidas, utilizando ácido fosfórico como catalizador, permite recuperar la caprolactama de diferentes tipos de nylon y ha sido empleada por muchas compañías, como BASF, Zimmer AG o Snia. Es urgente el desarrollo de nuevas metodologías para el reciclado de plásticos dado el gran volumen de residuos de este material que se produce en los países industrializados.



El futuro de la
Química Sostenible

33



Valorización Química de Residuos: de subproductos a materias primas

Procesos de Despolimerización Térmica: Pirólisis, Gasificación, Licuefacción

Los tratamientos termolíticos son procesos que degradan los polímeros para dar lugar a mezclas de hidrocarburos que puedan utilizarse como materias primas en la industria química o como combustibles. La gasificación consiste en el tratamiento térmico de los materiales a gasificar en presencia de una cantidad controlada de oxígeno y/o vapor de agua, de manera que se produzca una oxidación parcial de los mismos. Es una tecnología ya madura y ampliamente implementada en el caso del carbón y algunas fracciones petrolíferas. El producto de estos tratamientos es gas de síntesis ($\text{CO} + \text{H}_2$), lo que requiere necesariamente acoplar estas tecnologías dentro de un complejo químico que permita el aprovechamiento de dicho producto. Se debe seguir trabajando en el desarrollo de nuevas condiciones de reacción con el objetivo de maximizar la producción de hidrógeno y mejorar la calidad del gas de síntesis obtenido.

La pirólisis o craqueo térmico se basa en la ruptura de las cadenas poliméricas en atmósfera inerte a temperaturas habitualmente comprendidas entre 400-800 °C. Se requiere seguir profundizando en este tipo de tecnologías ya que en la actualidad con la mayoría de los polímeros se obtiene una amplia distribución de productos debido al mecanismo radicalico de la pirólisis térmica.

Tecnologías para la Extracción de Metales de Alto Valor Añadido

Existen metales que debido a su escasez en la corteza terrestre y su dificultad de extracción por los métodos convencionales tienen un alto valor de mercado. Una importante fuente de estos pueden ser las aguas marinas, salmueras o aguas de rechazo de diversas actividades industriales. En la actualidad los procesos principales de extracción de metales del agua de mar se basan principalmente en la adsorción y el intercambio iónico y muchos de ellos se encuentran todavía en una etapa experimental, pero la creciente aparición de instalaciones de desalinización con membranas de ósmosis inversa hace necesario avanzar en el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan llevar a cabo este tipo de procesos. En estas instalaciones se generan grandes cantidades de salmueras de rechazo que, si se tratan convenientemente, pueden proporcionar cantidades importantes de metales de valor.

Procesos para el Reciclado Químico de Plásticos y Composites

Mediante tratamientos térmicos, pueden degradarse los residuos plásticos, generalmente polímeros de adición, como las poliolefinas, para obtener mezclas de hidrocarburos líquidos y gaseosos con diferentes aplicaciones. Como ya se ha comentado, existen diferentes procesos: gasificación, pirólisis, craqueo catalítico o hidrocrqueo. En los dos últimos casos, la presencia de un catalizador permite utilizar condiciones de operación más suaves y

controlar la distribución de tamaños moleculares de los productos. La selección adecuada del catalizador es por tanto, un factor fundamental. Se requiere el desarrollo de catalizadores que permitan llevar a cabo este tipo de procesos en condiciones suaves y con bajo coste energético. Finalmente, los residuos plásticos pueden utilizarse como agentes reductores en altos hornos, sustituyendo parcialmente al coque proveniente de las fuentes tradicionales, como son carbón y aceites minerales, proporcionando un gas más rico en hidrógeno y monóxido de carbono y con mayor poder reductor. Algunos de estos tratamientos se han desarrollado a nivel industrial, principalmente en Europa y Japón. Es previsible que en un futuro cercano el importante esfuerzo investigador en este campo dé lugar a una mayor presencia de los tratamientos químicos en la valorización de los residuos plásticos.

Procesos de Obtención de Energía a partir Microalgas y Residuos Agrícolas

El uso de microalgas para la producción de biodiésel es una alternativa ventajosa debido al elevado contenido de lípidos y perfil idóneo para la obtención del biocombustible que éstas ofrecen. Otros atributos de las microalgas son su elevada eficiencia fotosintética, su capacidad de crecer tanto en aguas marinas, dulces, residuales y salobres, así como su velocidad de crecimiento relativamente alta. No obstante, los sistemas de cultivo de microalgas actualmente presentan ciertas limitantes tales como la escasez de información para su escalamiento, la dificultad para el mantenimiento de monocultivos, así como los elevados costos de operación para la producción y recolección de la biomasa de microalgas, entre otros. Ante estos inconvenientes, es imprescindible la optimización de los sistemas de cultivo de microalgas.

La generación de electricidad utilizando la energía de biomasa y de otros combustibles como residuos urbanos presentan, de una parte, las limitaciones impuestas al vapor generado en la caldera debido a la naturaleza corrosiva de los gases de combustión que son tanto más corrosivos cuanto mayores son las temperaturas, y de otra, inconvenientes de liberación a la atmósfera de gases contaminantes. Es necesario desarrollar tecnologías que permitan la generación de energía térmica y eléctrica a partir de residuos diversos que minimice la emisión de contaminantes al exterior y que evite los problemas de corrosión originados por la combustión directa de los residuos, así como un sistema para la puesta en práctica de dicho método.



Valorización Química de Residuos: de subproductos a materias primas

Optimización de Tecnologías para el Tratamiento de Residuos Orgánicos

Tradicionalmente la extracción de productos de alto valor añadido a partir de residuos orgánicos se ha llevado a cabo mediante extracciones con disolventes orgánicos. Se deben desarrollar tecnologías verdes basadas en el uso de los fluidos supercríticos para la obtención de compuestos naturales de alto valor añadido a partir de subproductos agroalimentarios. Los fluidos supercríticos presentan varias ventajas, se utiliza CO₂ como disolvente extractante que no es tóxico ni inflamable y las recuperaciones obtenidas en las condiciones óptimas de trabajo pueden ser superiores a las obtenidas con los métodos convencionales.



Otro tema importante a tener en cuenta es la aplicación de la biotecnología en los procesos de valorización y reutilización de residuos. El potencial de estas técnicas es alto de cara a impulsar nuevos usos que permitan incrementar el valor añadido de los subproductos y residuos generados en el ámbito de los residuos urbanos, industriales, agrícolas y ganaderos.

Existe un amplio abanico de técnicas basadas en la biotecnología con campo de aplicación en la valorización de residuos, pero al mismo tiempo existen algunos condicionantes que limitan su utilización como pueden ser principalmente la falta de concienciación del cliente sobre la posibilidad de valorizar sus subproductos/residuos o la falta de masa crítica para rentabilizar su aprovechamiento. La aplicación de la biotecnología para la valorización y reutilización de residuos debe realizarse tratando de agrupar distintos tipos de residuos a los que se puede aplicar una solución biotecnológica común, es decir detectar nichos de mercado con una demanda suficiente para rentabilizar ese proceso de valorización de los subproductos.

En general, la biotecnología ofrece grandes posibilidades para la valorización de los subproductos y residuos generados en segmentos de mercado de la industria alimentaria relevantes como el cárnico, el pesquero, el

lácteo o el vitivinícola, entre otros, así como para la producción de biocombustibles, fertilizantes y productos químicos de usos farmacéuticos, cosméticos o nutrientes para la fabricación de alimentos funcionales por parte de la propia industria alimentaria.

En otro ámbito de actividades, existe la posibilidad de valorización del glicerol. Se trata de un subproducto generado en la producción de biodiésel, que puede ser aprovechado para la producción de biogás. En cambio en la actualidad, a pesar de ser un subproducto valorizable, las empresas que generan este tipo de residuo tienen que regalarlo o pagar a un gestor de residuos para su recogida debido a que la acumulación excesiva y la falta de capacidad de almacenamiento de este subproducto puede obligar a detener la producción.

Técnicas Separación Mecánica

La producción de metanol en vertederos es el resultado de la degradación anaeróbica de materia orgánica biodegradable que es la parte principal de los residuos urbanos. Para evitar esto, este tipo de residuos se han de tratar y una posibilidad es el uso del tratamiento mecánico biológico. Este tipo de tratamiento mecánico es una interesante posibilidad económica para el tratamiento de los residuos urbanos por lo cual su desarrollo e implementación puede ser un importante reto a tener en cuenta.

El primer paso en las plantas de tratamiento mecánico biológico es una separación mecánica y seca de los residuos sólidos urbanos con el fin de separar materiales reciclables como metales, plástico, papel y vidrio. La línea de separación mecánica, además, puede estar equipada con una planta de combustible derivado de residuos.

Además de los materiales reciclables, parte de los orgánicos biodegradables se separan en el centro de clasificación mecánica de cara a las emisiones de los vertederos. La fracción orgánica biodegradable se puede tratar ya sea a través de un proceso aeróbico, anaeróbico o una combinación de ambas tecnologías. Se requiere continuar trabajando en el desarrollo de este tipo de plantas así como la optimización del transporte y la deposición final en vertedero controlado.

Mediante este tipo de tecnologías se consigue reducir la cantidad de material a vertedero, la separación entre la fracción biodegradable de la no biodegradable para obtener un material apropiado para su uso como combustible de sustitución, la separación por tipo de materiales de la corriente no degradable para su reciclado posterior, la reducción del peso seco de la fracción biodegradable antes de ser depositada en vertedero y la estabilización de la fracción biodegradable para convertirla en compost, utilizable en agricultura y la conversión de la materia orgánica en combustible (biogás) para la producción de energía.



Valorización Química de Residuos: de subproductos a materias primas

Técnicas de Separación por Membranas

Las membranas pueden ser utilizadas para la recuperación de sustancias valiosas en aguas o gases de desechos industriales y que como desperdicio simplemente son causa de una severa contaminación ambiental. En un futuro próximo se convertirá en una tecnología corriente para este tipo de procesos. El tratamiento de aguas residuales por filtración por membrana juega un papel integral en el procesamiento de flujo de aguas residuales complejas para reducir la demanda química biológica, el carbono orgánico disuelto y las cargas hidráulicas.

También es útil para la elaboración de fuentes de agua limpia que pueden ser reutilizadas en la planta. La ósmosis inversa de las plantas de tratamiento de agua residual puede lograr una excelente calidad para la reutilización. El agua de cola de la carne, pescados y el pollo se puede filtrar para recuperar las proteínas.

Mediante membranas se puede recuperar metales, aguas aceitosas y productos químicos para usos especiales. El desarrollo de la tecnología de filtración por membrana de flujo cruzado permitirá producir separaciones/purificaciones muy específicas a temperaturas bajas o ambiente lo cual hará de la filtración por membrana una tecnología mucho más eficiente en términos de costes respecto de los métodos más tradicionales como la filtración con filtros de vacío rotativo o presas de filtro. Todos los procesos de separación por membranas tienden a ser bajos consumidores de energía en teoría, no así en la práctica por lo que se requiere seguir con su optimización.

Tecnologías para Reutilización de Aguas

La filtración por membranas es y puede ser en el futuro

una tecnología muy importante para conseguir la reutilización de aguas en diferentes procesos.

Producción Microbiana de Complejos Enzimáticos para Valorización de Biomasa

El desarrollo de enzimas microbianas para la valorización de la biomasa es de enorme importancia para la obtención de compuestos químicos p.e. ácido fórmico, succínico, azúcares, etanol etc. Esta información se encuentra mucho más detallada en el apartado de Biotecnología Industrial y Biorrefinerías.

Procesos de Transformación de CO₂

Uno de los grandes retos dentro de los procesos de valorización de CO₂ es la producción de combustibles por medio de la reducción del dióxido de carbono a otras moléculas como C1-Cn o intermedios oxigenados que se caracterizan por un bajo O/C ratio y un alto H/C ratio. Se han desarrollado procesos naturales de reducción de CO₂ a otras moléculas C1 que son llevados a cabo por un gran número de microorganismos como algas y bacterias.

Desde el punto de vista industrial diferentes procesos de hidrogenación de dióxido de carbono han sido realizados utilizando catalizadores homogéneos para la producción de derivados del ácido fórmico. Se están desarrollando procesos para la obtención de gas de síntesis y metanol con catalizadores basados en níquel y Zn.

El desarrollo de este tipo de procesos dará lugar a la obtención de derivados con menor coste energético. Uno de los retos importantes en este campo es conseguir la producción de combustibles y productos de interés industrial por medio de la valorización fotocatalítica de CO₂ en condiciones suaves usando H₂O como agente de sacrificio y luz solar como fuente de energía (Fotosíntesis artificial). Esta temática de investigación es uno de los grandes retos científicos relacionados con el ámbito de la energía y la catálisis.

Digestión Anaerobia

La digestión anaerobia constituye una interesante tecnología para el aprovechamiento de residuos orgánicos. En ausencia de oxígeno se degrada la materia orgánica y se genera biogás, que se puede utilizar como sustituto de gas natural y combustible. El biogás se compone de gas metano (principal elemento del gas natural), que representa entre 60% y 65%, dióxido de carbono con una presencia de aproximadamente 40% y una cantidad menor de ácido sulfhídrico. Se ha de trabajar con el fin de desarrollar las tecnologías necesarias que permitan reducir el contenido de dióxido de carbono para acercarnos tanto como sea posible al gas natural, que tiene mayor valor agregado. También es importante acelerar el proceso de descomposición para reducir el tamaño del digestor.



Anexo

Relación entre las aplicaciones identificadas por un grupo y su correlación con otras áreas

Aplicaciones / Soluciones identificadas	Código	Relación con otras áreas
Materiales y Nanotecnologías		
Procesos industriales más eficientes	NM01	RP14 RP15
Lab-on-a-chip	NM02	RP16
Microrreactores para escalabilidad industrial	NM03	RP14 RP15
Materiales para almacenamiento de energía	NM04	RP05
Almacenamiento eficaz y reversible de hidrógeno	NM05	RP04 VQ20
Nuevos catalizadores basados en nanopartículas	NM06	RP14 RP15 RP16
Conversión y Almacenamiento de energía con sistemas sostenibles	NM07	RP06
Aprovechamiento de residuos y subproductos	NM08	RP02 BI03 VQ08 VQ14 VQ16 VQ17
Nanorreactores para la formación de nanopartículas metálicas	NM09	RP19
Procesos de producción de nanomateriales ultra puros	NM10	RP16
Nanomateriales inteligentes con propiedades barrera	NM11	
Nanoestructuras para la inmovilización de enzimas	NM12	BI08 BI16 BI17 VQ15
Alimentación funcional	NM13	
NanoTiO ₂ para la descontaminación de agua	NM14	VQ22 RP17
Nanomembranas para procesos de separación	NM15	RP17 VQ25 VQ29
Nanopartículas metálicas para la descontaminación de suelos	NM16	VQ26
Materiales mesoporosos	NM17	
NTC para purificación de agua	NM18	RP17 VQ22
Nuevos catalizadores	NM19	RP14 RP15 RP16 VQ17
Desarrollo de materiales con baja energía embebida y que contribuya a disminuir las emisiones de CO ₂	NM20	VQ14
Técnicas de detección de nanomateriales	NM21	VQ13
Ensayos de toxicidad de nanomateriales	NM22	VQ13
Inmovilización de nanopartículas	NM23	



Anexo

Relación entre las aplicaciones identificadas por un grupo y su correlación con otras áreas

Aplicaciones / Soluciones identificadas	Código	Relación con otras áreas
Materiales y Nanotecnologías		
Materiales autorreparables	NM24	
Recubrimientos multifuncionales	NM25	
Co-polímeros funcionales mediante procesos mediados con templates	NM26	
Materiales con capacidad de respuesta al entorno	NM27	
Nanocápsulas para liberación controlada	NM28	VQ13 VQ14
Nanoespumas para aislamiento térmico	NM29	RP05
Nanocomposites de altas prestaciones	NM30	
TiO2 dopado para fotocatalisis en luz visible	NM31	RP17
Nuevas Estrategias de síntesis	NM32	RP14 RP15
Diseño de nuevos catalizadores	NM33	RP14 VQ17
Relación estructura propiedad	NM34	
Obligatoriedad de ACV y huella de carbono en todos los productos	NM35	
Desarrollo de protocolos de seguridad y normativa	NM36	VQ13
Diseño de Reacciones y Procesos		
Conversión Química de Productos de origen natural en productos químicos de valor comercial	RP01	BI01
Reacciones y Procesos para la conversión química de residuos industriales, agroalimentarios, forestales y urbanos en productos químicos de interés industrial	RP02	BI03 VQ08 VQ14 VQ27 NM08
Biocombustibles de 2ª generación	RP03	BI05 BI07 BI08 BI09 VQ18
Producción de Hidrógeno	RP04	VQ18 NM05
Nuevos materiales de cambio de fase para el almacenamiento/generación de energía	RP05	VQ20 NM04 NM29
Diseño de productos químicos para incrementar la eficiencia de celdas fotovoltaicas	RP06	NM07
Desarrollo de biodisolventes	RP07	NM07 BI06 BI10 VQ14
Desarrollo de bio-tensioactivos	RP08	BI10 VQ14
Desarrollo de bio-lubricantes	RP09	BI10 VQ14
Formulación de asfaltos	RP10	BI10
Bioformulaciones	RP11	BI10



Anexo

Relación entre las aplicaciones identificadas por un grupo y su correlación con otras áreas

Aplicaciones / Soluciones identificadas	Código	Relación con otras áreas
Diseño de Reacciones y Procesos		
Obtención de biomonómeros	RP12	BI10 BI11 VQ27
Síntesis de Biopolímeros y Bioplásticos	RP13	BI11 VQ14
Procesos sintéticos no intensivos en energía	RP14	NM01 NM03 NM06 NM19 NM32 NM33 BI15 BI16 BI17
Rutas sintéticas de bajo impacto ambiental	RP15	NM01 NM03 NM06 NM19 NM32 BI04 BI15 BI16 BI17
Control de reacción	RP16	NM02 NM06 NM10 NM19
Métodos de tratamiento y recuperación de aguas residuales	RP17	VQ25 NM14 NM15 NM18 NM31
Valoración de residuos metálicos	RP18	VQ09 VQ28 VQ30 VQ31
Desarrollo de compuestos o metales de alto valor añadido	RP19	VQ09 NM09 BI12
Biotecnología Industrial y Biorrefinerías		
Uso integral de lignocelulosa como materia prima en bioprocesos	BI01	RP01 RP03 VQ15
Búsqueda de nuevas celulasas más eficientes	BI02	RP03 VQ15
Valorización de Biorresiduos industriales, agroalimentarios, forestales y urbanos como materias primas en bioprocesos	BI03	NM08 RP02 VQ14
Uso de CO ₂ como materia prima en bioprocesos	BI04	RP15 VQ10
Bioetanol de 2ª generación	BI05	RP03
Biobutanol y otros alcoholes de cadena corta	BI06	RP07
Microalgas como fuente de aceites (CO ₂) para biodiésel	BI07	RP03 VQ10



Anexo

Relación entre las aplicaciones identificadas por un grupo y su correlación con otras áreas

Aplicaciones / Soluciones identificadas	Código	Relación con otras áreas
<i>Biotechnología Industrial y Biorrefinerías</i>		
Biodiésel mediante transesterificación enzimática	BI08	NM12 RP03 VQ15
Nuevos Biocombustibles de 2ª generación para motores diesel procedentes de residuos industriales	BI09	RP03 VQ14
Bioproductos químicos de bases (plataformas químicas) sustitutivos o complementarios a los productos petroquímicos	BI10	RP07 RP08 RP09 RP10 RP11 RP12
Bioplásticos y otros Biopolímeros	BI11	RP12 RP13
Moléculas Quirales industrialmente valiosas	BI12	RP19
Biorrefinerías (prácticamente la totalidad de las Aplicaciones tienen relación, siempre que se refieran o apliquen a la biomasa)	BI13	
Desarrollo de nuevas cepas más productivas y resistentes a las condiciones industriales	BI14	
Nuevos microorganismos con potencial interés industrial	BI15	RP14 RP15 VQ23 VQ24 VQ26
Nuevas enzimas con potencial interés industrial	BI16	NM12 RP14 RP15 VQ15
Desarrollo de nuevas variedades de enzimas más eficientes	BI17	NM12 RP14 RP15 VQ15
<i>Valorización Química de Residuos</i>		
Identificación de focos de residuos	VQ01	
Mapeado, Clasificación y cuantificación de residuos prioritarios	VQ02	
Plataforma informativa para intercambio de información entre productores de residuos y consumidores de materias primas	VQ03	
Desarrollo de nuevos métodos de caracterización de contaminantes relacionados con residuos	VQ04	
Definición de árbol de opciones de valorización	VQ05	
Gestión de recogida de residuos más eficiente y diversificada	VQ06	
Nuevos métodos de separación y clasificación de residuos	VQ07	
Mejora y Optimización de procesos de explotación de recursos no renovables	VQ08	NM08 RP02
Incremento de vida útil y recuperación de metales	VQ09	RP12 RP18 RP19
Soluciones biotecnológicas para reducir emisiones de CO ₂	VQ10	BI04 BI07



Anexo

Relación entre las aplicaciones identificadas por un grupo y su correlación con otras áreas

Aplicaciones / Soluciones identificadas	Código	Relación con otras áreas
Valorización Química de Residuos		
Mayor reconocimiento para las empresas que promueven la recuperación y valorización de residuos	VQ11	
Regulación Administrativa de la gestión de residuos	VQ12	
Implantación de estudios de seguridad de los residuos: toxicidad, mutagenicidad,...	VQ13	NM21 NM22 NM28 NM36
Valorización de residuos y biomasa para la obtención de productos de alto valor añadido (bioproductos, nanomateriales, biopolímeros...)	VQ14	NM08 NM20 NM28 RP02 RP07 RP08 RP09 RP13 BI03 BI09
Desarrollo de enzimas específicos para la valorización de productos	VQ15	NM12 BI08 BI16 BI17
Aprovechamiento de subproductos de tecnologías emergentes	VQ16	NM08
Nuevas rutas de valorización para la obtención de materiales avanzados a partir de residuos	VQ17	NM08 NM19 NM33
Producción de biogás a partir de residuos	VQ18	RP03 RP04
Procesado de residuos para generar fuentes energéticas alternativas de H ₂	VQ19	
Desarrollo de técnicas de recuperación de energía	VQ20	NM05 RP05
Desarrollo e implantación de micro-cogeneración	VQ21	
Reducción de contaminantes presentes en residuos	VQ22	NM14 NM18
Degradación microbiana de residuos xenobióticos	VQ23	BI15
Reducir riesgos en la gestión de residuos biológicos	VQ24	BI15
Reducción de residuos acuosos mediante procesos por membrana	VQ25	NM15 RP17
Técnicas de recuperación de suelos contaminados in situ	VQ26	NM16 BI15
Desarrollo de procesos químicos sostenibles para reciclar residuos plásticos	VQ27	RP02 RP12
Mejora de tecnologías para la recuperación de metales	VQ28	RP18
Nuevas técnicas de extracción selectiva de metales (SX, membranas, líquidos iónicos)	VQ29	NM15
Recuperación de metales estratégicos	VQ30	RP18
Valorización de lodos estratégicos de depuradora	VQ31	RP18



Glosario

ABE: Acetona-Butanol-Etanol

ABS: Acrilonitrilobutadienoestireno (acrylonitrile-butadiene-styrene)

ACV: Análisis de Ciclo de Vida

AFM: Microscopía de Fuerza Atómica (Atomic Force Microscopy)

ASCV: Análisis de Sostenibilidad de Ciclo de Vida

CE: Comisión Europea

ECHA: European Chemicals Agency

FAME: Ésteres Metílicos de Ácidos Grasos (Fatty Acid Methyl Esters)

FTIR: Infrarrojo por Transformada de Fourier (Fourier Transform InfraRed)

GTL: Tecnología de Gas a Líquido/Licuefacción Química (Gas-To-Liquid Technology)

HVO: Aceites Vegetales Hidrotratados

IR: Infrarrojo

MALDI-MS: Espectrometría de Masas MALDI (MALDI Mass Spectrometry)

NMR: Resonancia Magnética Nuclear (Nuclear Magnetic Resonance)

NTC: Nanotubos de Carbono

OPV: Materiales Orgánicos Fotovoltaicos (Organic Photovoltaics)

PBT: Polibutilentereftalato

PE: Polietileno

PEN: Polietilennaftalato

PET: Polietilentereftalato

PHA: Polihidroxialcanoatos

PLA: Poli (Ácido Láctico) o Ácido poliláctico

PMMA: Polimetilmetacrilato

PU: Poliuretanos

RAEE: Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos

REACH: Regulación Europea sobre productos químicos y sus usos. Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals

SAR: Relación Estructura Actividad (Structure Activity Relationships)

SEM: Microscopía de Exploración Electrónica (Scanning Electron Microscopy)

TEM: Microscopía Electrónica por Transmisión (Transmission Electron Microscopy)

UV: Ultravioleta

XPS: Espectroscopia Fotoelectrónica por Rayos X (X-ray Photoelectron Spectroscopy)



Grupo Editor

AIDICO (Instituto Tecnológico de la Construcción)

FEIQUE (Federación Empresarial de la Industria Química Española)

Inkemia-IUCT

IQAC (Instituto de Química Avanzada de Cataluña)

TECNALIA

Entidades Colaboradoras

ASEPRHU (Asociación Española de Productores de Huevos)

ASEBIO (Asociación Española de Bioempresas)

ACCIONA INFRAESTRUCTURAS

AIDO (Instituto Tecnológico de Óptica, Color e Imagen)

AIJU (Centro Tecnológico del Juguete)

AIMPLAS (Instituto Tecnológico del Plástico)

AITEMIN (Asociación para la Investigación y Desarrollo Industrial de los Recursos Naturales)

Algae Biotech S.L.

ANALISIS-DSC

BIOCHEMIZE

Bioingeniería Medioambiental S.L.

CARTIF

CFM (Centro de Física de Materiales CSIC-UPV/EHU)

CIRTA EMISSIONS SL

CTFC (Centre Tecnologic Forestal de Catalunya)

CTME (Centro Tecnológico de Miranda de Ebro)

DbA (Centre de Desenvolupaments biotecnoloics i agroalimentaris)

ENIA (Entornos Integrados de Automatización)

Entrechem

FERTIBERIA

FIDIMA (Fundación de Investigación, Desarrollo e Innovación en Medio Ambiente)

FMC Foret

GAIKER

Genesys Membrane Products

ICIQ (Institut Català de Investigació Química)

ICMM (Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, CSIC)

ICMoI (Instituto de Ciencia Molecular)

IMCD

INBIOTEC

INERCO

InFiQuS S.L. (Innovaciones Físicas y Químicas Sostenibles)

INIA (Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria)

Instituto Biomar S.A.

ICP (Instituto de Catalisis y Petroleoquímica, CSIC)

ISQCH (Instituto de Síntesis Química y Catálisis Heterogénea, CSIC -UJ)

ITC (Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas)

ITENE (Instituto Tecnológico del Embalaje, Transporte y Logística)

ITQ (Instituto de Tecnología Química, CSIC-UPV)

LEITAT

Lurederra

Parque Científico de Madrid

PLANETA (Plataforma Tecnológica de Tecnologías Ambientales)

Plataforma Tecnológica de Agricultura Sostenible

Plataforma Tecnológica Española de Mercados Biotecnológicos

REDQS (Red Española de Química Sostenible)

REPSOL

RTDI

Sigfito Agroenvases S.L.

SOLUTEX

Técnicas Reunidas

Universidad Autónoma de Madrid.

Universidad Complutense de Madrid

Universidad de Alicante

Universidad de Barcelona

Universidad de Cantabria

Universidad de Castilla la Mancha

Universidad de Córdoba

Universidad de Lleida

Universidad de Valencia

Universidad de Zaragoza

Universidad Politécnica de Valencia

Universidad Rey Juan Carlos

Universitat Jaume I

URIACH

XRQTC (Xarxa de Referència Química Teòrica i Computacional)



El futuro de la
Química Sostenible

43





El futuro de la **Química Sostenible** Hoja de Ruta