

# Fuentes renovables para la producción de materias primas y energía

Víctor Martínez-Merino, María J. Gil

**Resumen:** El trabajo se ha estructurado abordando, en primer lugar, los conceptos generales relacionados con el término materias primas renovables. A continuación se desarrolla la metodología empleada en la obtención de materiales y productos químicos a partir de biomasa, destacando los avances más notables en la conversión química o biológica de carbohidratos, lípidos, proteínas y otros productos naturales que componen la biomasa. Después se repasan los métodos de obtención de energía utilizando fuentes renovables y se discute su viabilidad. Finalmente se apuntan los avances necesarios para la conversión de la economía basada en fuentes fósiles a la basada en materias primas renovables.

**Palabras clave:** Materias primas renovables, energías renovables, economía de Hidrógeno/gas de síntesis, biorrefinería.

**Abstract:** This work starts dealing with general concepts related to renewable raw materials. Next, we develop the methodology to obtain materials and chemicals from biomass, emphasizing the most remarkable advances in the chemical or biological transformation of carbohydrates, lipids, proteins and other products that constitute the biomass. Later the methods of obtaining the energy from renewable sources are reviewed and their viability is also discussed. Finally we highlight the necessary advances for the conversion from the fossil feedstock economy to those renewable feedstocks.

**Keywords:** Renewable feedstocks, renewable energies, hydrogen/syngas economy, biorefinery.

## Concepto de materias renovables<sup>1-3</sup>

Los sectores científico, industrial y medioambiental hace tiempo que han prestado atención al uso de materias primas renovables (MPR). La diferencia entre renovable y agotable se puede definir simplemente en términos de tiempo. Una fuente agotable suele asociarse a los combustibles fósiles. Sin embargo éstos también podrían ser renovables pero después de millones de años cuando la vegetación pueda volver a convertirse en petróleo. Como esto no sería práctico para un ciclo humano, a los combustibles fósiles se les considera materias primas agotables (MPA). También es agotable el Sol y la energía solar pero en un tiempo de miles de millones de años. Al contrario que el petróleo, no podrá renovarse.

El uso extensivo de fuentes agotables evidentemente conduce a que se terminen y rompe el principio de sostenibilidad tanto en el aspecto económico como en el medioambiental. *La sostenibilidad es la capacidad de mantener el desarrollo de la calidad de vida sin comprometer el de nuestros descendientes.* Agotar el petróleo sería un claro ejemplo de violación del principio de sostenibilidad.

*Las MPR son aquellas que pueden regenerarse desde el punto de vista temporal útil para la humanidad.* Las MPR se asocian usualmente con materiales que provienen de plantas o sistemas biológicos en general. Por ejemplo el CO<sub>2</sub> es considerado MPR puesto que se puede generar desde muchas fuentes tanto naturales como sintéticas. Igualmente el CH<sub>4</sub> presenta una gran variedad de fuentes, muchas de ellas renovables como la digestión de los grandes mamíferos o la materia orgánica en descomposición.

La radiación solar, los vientos, mareas y la biomasa se consideran fuentes renovables. Todas ellas pueden usarse como fuentes de energía renovable, pero la biomasa puede producir además materiales y productos químicos.

## Productos químicos a partir de materias primas renovables

La biomasa será la única fuente de materias primas básicas una vez que se agoten las fuentes fósiles (la biomasa es el término utilizado para designar a todos los materiales orgánicos que provienen del mundo animal, del vegetal o de los microorganismos).<sup>2</sup> Sin embargo la implementación de una economía basada en la biomasa como fuente de materias primas requiere la modificación de gran parte de los procesos de producción ya que las fuentes fósiles son muy pobres en oxígeno y la biomasa conduce por el contrario a materias primas de alto contenido oxigenado.<sup>3</sup> En la actualidad se están realizando avances notables en la producción de combustibles, polímeros, disolventes, surfactantes, lubricantes, fibras y *composites*, agroquímicos y fármacos, entre otros, a partir de biomasa.<sup>4-11</sup>

El desarrollo sostenible de procesos basados en biomasa dependerá de la conversión optimizada de todos los componentes de la misma (hidratos de carbono o carbohidratos, lípidos, proteínas, metabolitos secundarios y lignina) en productos químicos y energía. Algunas de las materias primas para la industria química vienen directamente de las anteriores por



V. Martínez-Merino



M.J. Gil

Universidad Pública de Navarra

Dto. Química Aplicada, Campus Arrosadía

31008 Pamplona

C-e: [merino@unavarra.es](mailto:merino@unavarra.es), [mjg@unavarra.es](mailto:mjg@unavarra.es)

Recibido: 30/05/2012. Aceptado: 07/07/2012.

medio de una simple extracción, pero gran número de los productos básicos requieren la transformación de esas fuentes.<sup>2,4-7</sup>

La biomasa lignocelulósica constituida principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina se encuentra disponible en madera, cultivos energéticos y residuos agrícolas, forestales y de las industrias alimentaria o del papel. La conversión de estos materiales complejos en productos químicos requiere el desarrollo de tecnologías que integren el fraccionamiento de la matriz lignocelulósica en sus componentes y la hidrólisis de celulosa y hemicelulosa en sus correspondientes sacáridos, seguido de conversiones biológicas o químicas. Se investiga intensamente en ello tanto por medio de rutas químicas como bioquímicas.<sup>4-11</sup>

Alternativamente la transformación de las MPR puede abordarse con procesos de pirólisis, gasificación, reformado en fase acuosa (*APR*), tratamiento acuoso en condiciones supercríticas (*SCW*), etc. que actualmente son foco de intensa investigación y desarrollo tecnológico.<sup>6,7</sup>

Continuamente se está investigando en tipos de biomasa alternativos cuyo uso no presente competencia con tierras de cultivo,<sup>8</sup> como especies de *Jatropha* o cultivos de microalgas. Estas poseen diversas ventajas en relación con las materias primas convencionales para la producción de biodiesel: alta tasa de crecimiento, elevado rendimiento, capacidad para favorecer su desarrollo con aportaciones de CO<sub>2</sub> específicas, adaptabilidad a una amplia diversidad de medios acuosos, y obtención de co-productos de alto valor.

### **Biomasa lignocelulósica: Carbohidratos**

Los carbohidratos (HC) son el grupo de MPR más abundante en la materia orgánica combinada. Dentro de ellos, los polisacáridos (celulosa, almidón, quitina y quitosano) son los más abundantes y suponen el 75% de toda la materia orgánica. Algunos HC encuentran aplicación dentro de los materiales poliméricos con solo ligeras transformaciones químicas, otros sirven como materias primas para obtención de combustibles, mientras que de la mayoría de HC pueden obtenerse monómeros sobre los que sustentar una nueva economía basada en la obtención de materiales.<sup>1,2</sup>

Los monosacáridos glucosa, xilosa y arabinosa, provenientes de celulosa, almidón y hemicelulosa pueden convertirse en productos químicos básicos mediante bioconversión, modificaciones químicas o procesos que combinen ambas tecnologías.<sup>12</sup>

En los últimos años se han desarrollado programas, por parte de organismos internacionales, para identificar los principales productos químicos asequibles a partir de azúcares de la biomasa, que económica y técnicamente sean más interesantes. Utilizando conceptos similares a los empleados en la industria petroquímica tradicional (complejidad técnica de producción, costes de procesado, propiedades y mercados potenciales de los productos y sus derivados), en 2004 se identificaron doce productos químicos básicos (*building blocks*) con estructuras de gran versatilidad para su transformación en compuestos intermedios y derivados. Estos doce *building blocks* son 1,4-diácidos (succínico, fumárico), ácido 2,5-furandicarboxílico, ácido 3-hidroxi propiónico, ácido aspártico, ácido glucárico, ácido glutámico, ácido itacónico, ácido levulínico, 3-hidroxi butirolactona, glicerina, sorbitol y xilitol/ arabinol.<sup>10</sup>

Actualmente mediante la introducción de criterios adicionales de evaluación se está llevando a cabo la revisión de la potencialidad de estos productos. Algunos ácidos orgánicos se han retirado de la lista original<sup>10</sup> (aspártico, glutámico, glucárico, itacónico) y se han incluido otros compuestos como etanol, furfural, 5-hidroximetilfurfural (HMF), isopreno, biohidrocarburos o ácido láctico.<sup>11</sup> Además, los recientes avances tecnológicos han mejorado notablemente su producción en las biorrefinerías.

Esta lista pretende ser una guía dinámica que oriente el desarrollo de la tecnología, ofreciendo así oportunidades comerciales tanto a compuestos de estructuras relacionadas, como a nuevos productos actualmente no incluidos en la misma.

Por fermentación de sacáridos ya se obtienen industrialmente bioetanol, ácido láctico, ácido succínico, ácido cítrico, ácido glutámico, o 1,3-propanodiol (Figura 1). Transformaciones químicas como ciclodeshidratación catalítica de pentosas o hexosas producen furfural y HMF respectivamente.<sup>13</sup> Este último puede procesarse hasta ácido levulínico. Procesos de oxidación y reducción conducen a productos químicos (ácido glucárico, sorbitol, xilitol, etc.) que pueden usarse como disolventes, monómeros para la producción de polímeros e intermedios en la producción de otras sustancias.

Incluso la deshidratación completa de HC hasta alcanos se ha estudiado con éxito para su uso como combustible en vehículos.<sup>14</sup>

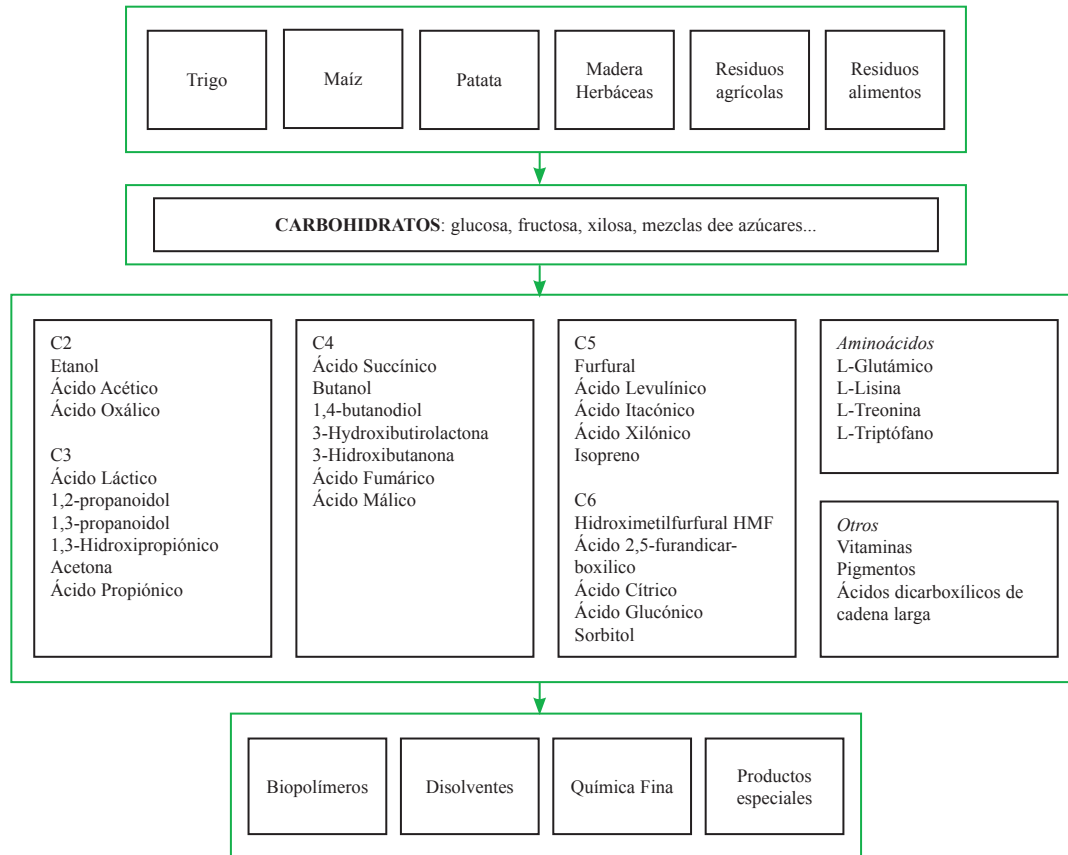
La lignina, componente de la biomasa lignocelulósica, se considera una materia prima prometedora para muchas aplicaciones. La lignina extraída en el proceso Lignol<sup>®</sup> debido a su alta pureza, bajo peso molecular y abundancia de grupos reactivos es aprovechable para la producción de adhesivos, fibras basadas en lignina, productos como vainillina y mezclas complejas de quininas, fenoles y catecoles.

La pirólisis y gasificación seguidas de reformado, así como tratamientos en agua a alta temperatura como *APR* o *SCW*, son posiblemente las tecnologías más prometedoras para la producción de productos químicos y combustibles a partir de biomasa lignocelulósica.<sup>7,9</sup>

### **Lípidos**

Los aceites y grasas son las materias primas renovables más utilizadas por la industria química en la actualidad.<sup>3</sup> El uso de aceites vegetales en lugar de aceites minerales presenta numerosas ventajas. Son completamente biodegradables, de hecho su uso en pinturas y recubrimientos puede reducir las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (*VOC*), reduciendo así la toxicidad y el impacto medioambiental. Sus componentes pueden usarse como fuente de energía renovable en forma de biodiesel, pero también como materias primas de productos químicos de gran interés. De hecho el 14% de su producción se emplea en la obtención de sustancias químicas.<sup>15</sup>

Están formados por ésteres de glicerina y ácidos grasos saturados o insaturados junto con componentes menores. Presentan una cierta diversidad en su composición según la naturaleza de los ácidos grasos unidos a la glicerina, la proporción en que se encuentran y el grado de esterificación. Generalmente se obtienen de semillas y se someten a hidró-



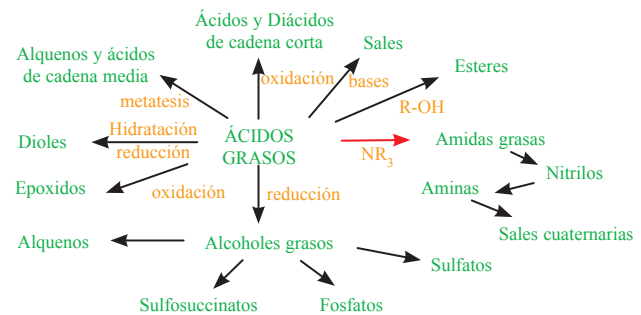
**Figura 1.** Materias primas químicas que se pueden obtener por transformación de biomasa con alto contenido en hidratos de carbono. (adaptado de ref. 5).

lisis (ej. agua presurizada a 220 °C) para dar ácidos grasos y glicerina, o a transesterificación.

Más del 90% de las reacciones de ácidos grasos y sus ésteres son transformaciones en el grupo carboxílico. Sin embargo, transformaciones por reacción de dobles enlaces de la cadena alquílica como epoxidación, ozonólisis, metátesis o dimerización entre otras están adquiriendo gran importancia industrial. En este sentido cabe destacar el desarrollo de materiales poliméricos biodegradables y sus *composites*.<sup>16-19</sup> Paralelamente está en auge la producción de disolventes biodegradables.<sup>20</sup>

Los ácidos grasos y sus derivados pueden ser materias primas para la producción de surfactantes, lubricantes, disolventes, poliols, ácidos dicarboxílicos, resinas, estabilizantes, plastificantes, adhesivos, pinturas y recubrimientos, productos farmacéuticos, etc. (Figura 2).<sup>15</sup>

La producción del combustible biodiesel (ésteres metílicos de ácidos grasos, *FAME* por sus siglas en inglés) supone la transesterificación de aceites (palma, soja, colza, girasol...) con metanol, catalizada por distintas sustancias, usualmente bases. Comparado con el diesel, tiene el mismo índice de cetano, viscosidad y densidad pero no es tóxico, no contiene compuestos aromáticos y es biodegradable. Un aspecto negativo es que es más susceptible de sufrir procesos oxidativos e hidrolíticos, relacionados con el almacenamiento. El incremento en la producción de biodiesel conlleva una sobreproducción de glicerina (la producción



**Figura 2.** Sustancias químicas típicas obtenidas a partir de ácidos grasos.

de 9 kg de biodiesel produce 1 kg de glicerina cruda), a la que debe darse salida.

La glicerina, además de que puede utilizarse como combustible, también puede ser transformada en productos químicos básicos más valiosos.<sup>21</sup> Su alta funcionalización la hace susceptible de procesos de oxidación, reducción, halogenación, eterificación, esterificación, así como bioconversiones microbiológicas y enzimáticas. Entre sus derivados con mayor proyección de mercado hay que destacar el propilenglicol, el ácido acrílico, los poliésteres poliólicos, el carbonato de glicerina, la epiclorhidrina o el glicidol. Igualmente se conocen microorganismos que utilizan glicerina como fuente carbonada en la producción metabólica de 1,3-propanodiol, ácido succínico o polihidroxicanoatos. Asimismo se está

investigando la producción de hidrógeno y alcanos mediante reformado de glicerina.

Particular atención merecen los surfactantes basados en MPR.<sup>22,23</sup> Poseen un considerable volumen de mercado con una clara expansión en un futuro próximo. En la Unión Europea un 50% de la producción total de surfactantes en 2002, correspondió a surfactantes oleoquímicos, un porcentaje que supera ampliamente a la contribución de renovables en otros mercados como lubricantes, disolventes o polímeros.<sup>23a</sup> Los surfactantes están compuestos de un grupo polar hidrófilo que puede ser iónico o no iónico y una cadena hidrocarbonada hidrófoba, derivada en muchos casos de un ácido graso. De entre ellos, los APG's (alquil poliglucósidos) o etoxilatos del sorbitán, basados en carbohidratos y aceites representan un concepto de producto basado exclusivamente en fuentes renovables. En los últimos 10-15 años se han incorporado al mercado biosurfactantes, compuestos aislados de microorganismos, como sofrolípidos o ramnolípidos.<sup>23c</sup>

De particular interés son los últimos avances en química, con especial énfasis en nuevos procesos catalíticos, y en biotecnología de materiales grasos, donde la mejora genética de plantas puede contribuir notablemente a la optimización de la producción de aceites naturales y grasas o a su transformación.

### Proteínas

Las proteínas, polímeros de aminoácidos, presentan propiedades singulares que son fuertemente dependientes de su estructura. Las fuentes habituales de proteínas son la soja, el maíz, la colza y el gluten de trigo. En la actualidad más del 90% de la producción anual de proteína se destina a la industria alimentaria pero se investiga su aplicación en otros frentes. Como surfactantes es posiblemente una de las mejores salidas.<sup>22-24</sup> Aunque ciertas proteínas ya se emplean para el *recubrimiento de materiales* ya que sus propiedades adhesivas, cohesivas, de viscoelasticidad, insolubilidad en agua y biodegradabilidad las hacen únicas frente a otros polímeros de síntesis.<sup>25</sup> También ofrecen algunas de ellas interesantes *propiedades plásticas*, particularmente las proteínas extraídas de la colza. La proteína de soja proporciona características excelentes de *adherencia* y es una posible alternativa a los adhesivos de formaldehído usados en chapeados y conglomerados. Igualmente las proteínas tienen proyección en farmacia, cosmética y agroquímica.

La primera generación de bioetanol y biodiesel que utiliza grano de cereal y aceites vegetales representa una cuantiosa fuente de proteínas como valioso coproducto. Su hidrólisis transcurre de forma eficiente. Varios aminoácidos se consideran interesantes *building blocks* (ácido glutámico, prolina, ácido aspártico...).

Al igual que en el caso de HC y lípidos, los avances biotecnológicos pueden contribuir de manera notable en la producción selectiva de determinadas proteínas.

### Metabolitos<sup>1,2</sup>

Los seres vivos pueden producir directamente sustancias de aplicación industrial como productos farmacéuticos, cosméticos, agroquímicos o pigmentos. Los *terpenos*, componentes más abundantes de los aceites esenciales de muchas plantas, son buen ejemplo de ello y se está investigando

su producción como intermedios quirales de síntesis, entre otros campos.

Alcaloides, esteroides y polifenoles son ejemplo de metabolitos secundarios con aplicaciones farmacéuticas como agentes anticancerígenos y biopesticidas

Adicionalmente se están desarrollando técnicas de extracción con fluidos supercríticos para la obtención de componentes minoritarios de interés industrial como fenoles, glucosinolatos, arabinosilanos, ácido fitico, etc.

### Biopolímeros<sup>10,11</sup>

Entre los derivados de MPR, debe darse una mención especial a los biopolímeros, cuyo mercado actual supera el millón de toneladas al año. Comparado con los polímeros basados en el petróleo, representa todavía un mercado pequeño pero va aumentando su producción. Mientras los plásticos convencionales han incrementado su precio notablemente debido al precio del petróleo, el precio de los bioplásticos está disminuyendo.

Los principales fabricantes de biopolímeros están incrementando su producción considerablemente como Novamont (Polímeros de almidón), Nature Works (poliláctico, *PLA*), Metabolic and Procter-Gamble (Polihidroxicanoatos producidos por microorganismos, *PHAs*), BASF (poliésteres de adipico mezclados, *ECOFLEX*), Solvay (policaprolactona, *PCL*). Entre las aplicaciones de estos productos citar los filmes biodegradables empleados en agricultura, las bolsas para residuos y empaquetado de alimentos, ropa deportiva, aplicaciones biomédicas y *composites* (matriz polimérica y/o fibras reforzantes de origen biológico).

Las fibras vegetales representan una alternativa a la sustitución de fibras de vidrio o de carbono, como refuerzo de *composites* de materiales termoplásticos. Aportan ventajas económicas y ecológicas. Son más baratas, menos abrasivas y menos densas. En Europa están encontrando gran aceptación en el sector de la automoción

A pesar del innegable progreso en la obtención de productos químicos básicos y materiales a partir de MPR, gran número de los procedimientos apuntados están en fase experimental y hay un campo amplio para desarrollar, tanto en métodos como en nuevos materiales, antes de poder acceder con éxito a la economía de mercado.

### Biocombustibles

La biomasa ha sido tradicionalmente el combustible más usado. La generalización de los combustibles fósiles desde el siglo XIX la relegó en la mayor parte de los países industrializados, pero con la actual situación de crisis energética se ha vuelto a mirarla de nuevo como alternativa a la producción de combustibles.<sup>26,27</sup> Incluso se han buscado nuevos recursos, a los que muchas economías habían prestado escasa atención, como el cultivo de las microalgas<sup>28</sup> o la utilización de residuos para producir biogás.<sup>29</sup>

En los últimos años ha aparecido una ingente información sobre los procesos necesarios para la transformación de biomasa en combustibles líquidos o gaseosos.<sup>30,31</sup> A pesar de la complejidad, también se ha profundizado en los mecanismos que gobiernan los procesos catalíticos involucrados.

Sin embargo la generalización de la producción de biocombustibles no está siendo todo lo fácil que cabría espe-



rar, y han aparecido un buen número de voces críticas.<sup>32</sup> Particularmente en lo que respecta al rendimiento energético de algunos de ellos (como el etanol desde maíz), la competencia por las tierras de labor y por la producción de alimentos, la degradación del suelo en la producción intensiva de cultivos energéticos, el estado actual de la ingeniería genética y sus consecuencias medioambientales, etc. En este sentido no se puede obviar el gran interés comercial, político, etc. que subsiste en algunos de los informes.

### Energía a partir de fuentes renovables

Tal y como pronostican diversos estudios, la era de la sociedad totalmente dependiente de las fuentes fósiles tocará a su fin en este siglo.<sup>33-35</sup> Como alternativa tenemos las fuentes de energía renovables<sup>36,37</sup> que incluyen la energía eólica, la hidroeléctrica, la solar, la geotérmica, la marina y la proveniente de biomasa entre otras. La energía nuclear, que algunos autores la clasifican entre las renovables, plantea serios problemas potenciales de agresión al medio ambiente y por tanto se aleja del principio de sostenibilidad.

Por ello a finales del siglo XX muchas naciones establecieron políticas para potenciar el desarrollo de las energías renovables, la Unión Europea<sup>38-40</sup> y los EEUU,<sup>41-43</sup> entre otros. Igualmente las Naciones Unidas recomendaron la implantación de una política planetaria en este sentido.<sup>44</sup>

Todas las fuentes renovables de energía se pueden convertir en electricidad, pero algunas de ellas son fuentes intermitentes (solar y eólica) y otras ocasionalmente plantean problemas de intermitencia (biomasa, hidroeléctrica y geotérmica).

### Energía a partir de biomasa

La mayor parte de la biomasa que se utiliza actualmente para producir energía se quema, bien directamente para producir calor con una eficiencia que puede situarse por encima del 70%, bien en una planta para producir electricidad con una eficiencia neta sobre el 20-40%. Sin embargo el contenido energético de la biomasa seca es la tercera parte del contenido energético del petróleo y significativamente menor que la del gas natural, que es el de mayor poder calorífico entre los combustibles habituales. Para poder competir con los combustibles fósiles se prepara-adapta la biomasa a través de procesos como los indicados en la Figura 3.<sup>2,6,7</sup>

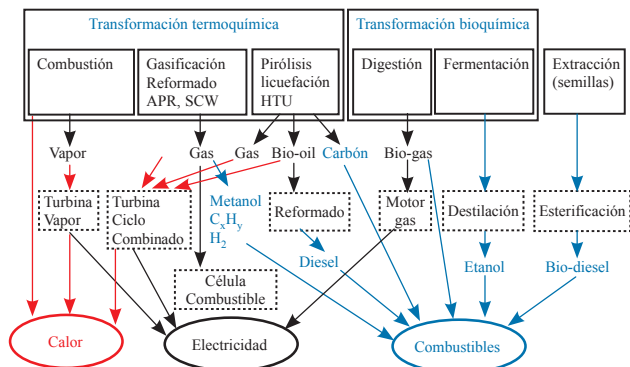


Figura 3. Principales rutas de transformación de la biomasa en energía. (adaptado de ref. 36).

- Pirólisis (calentamiento en ausencia de oxígeno hasta unos 800 o 1500 °C según las técnicas) de productos vegetales que permiten obtener carbón, *bio-oil* (fracción líquida) y gases ligeros. Se puede llegar a convertir más del 70% de la biomasa en fracción líquida pero esta contiene más de un 40% de oxígeno y es ácida y corrosiva. Algunas empresas están desarrollando métodos como el *HTU* (*hydrothermal upgrading*) para convertir el *bio-oil* en agua y un bio-crudo de propiedades mejoradas.
- Gasificación por calentamiento con una corriente de aire húmedo (sobre 650-1200 °C) que da como resultado un gas apropiado para la generación de electricidad (puede lograrse un 55% de eficiencia de transformación en electricidad con sistemas de ciclo combinado) y del *syngas* (mezclas de CO e H<sub>2</sub>) útil para alimentar células de combustible o su transformación en productos químicos.
- Una alternativa interesante para los polioles es su reformado catalítico en fase acuosa (*APR*, a <270 °C y <3 MPa) que origina buenos rendimientos de hidrógeno o biocombustibles, según los catalizadores utilizados.<sup>13,14,28</sup>
- Para biomasa con alto contenido en humedad (>40%, por ej. microalgas, efluentes industriales, etc.) su tratamiento acuoso en condiciones supercríticas (*SCW*) puede ser una alternativa que actualmente es foco de intensa investigación.<sup>28,45</sup>
- Digestión anaeróbica de biomasa o de aguas residuales para producir un biogas con alto contenido en metano (50%) cuya transformación daría una eficiencia en electricidad de alrededor del 15%.<sup>2</sup> El cultivo de microalgas, todavía en fase de desarrollo aunque de creciente interés en las empresas del sector, parece ser una alternativa viable debido a su gran rendimiento energético en forma de carbohidratos o de lípidos.<sup>28</sup>
- Fermentación anaeróbica de materiales con alto contenido en derivados de glucosa, como el almidón o la caña para producir una disolución al 7-15% de bioetanol que debe concentrarse posteriormente. La eficiencia para producir energía, desde un punto de vista de análisis de ciclo de vida, varía considerablemente según el origen (caña 8:1, maíz 1,3:1).<sup>32a</sup> Aunque está en fase de desarrollo, más prometedora resulta la producción etanol desde material lignocelulósico. Según el origen de la materia prima se le estima un balance energético favorable comprendido entre 2:1 y 36:1.
- Extracción de semillas oleaginosas (soja, girasol, palma y colza principalmente) y transesterificación con alcoholes (metanol usualmente) de los aceites vegetales resultantes para dar biodiesel. Su eficiencia para producir energía, alcanza una relación 2,5:1.<sup>32a</sup>

### Energía eólica

Se están haciendo grandes progresos en el desarrollo de turbinas eólicas para la producción de electricidad. El potencial es enorme puesto que, por ejemplo, Europa

podría abastecerse de electricidad utilizando únicamente la energía eólica de su línea costera. Es innegable que existen reticencias a su extensión en zonas altamente pobladas, debido principalmente al impacto visual y al aumento de ruido en sus proximidades, pero estas van disminuyendo. De hecho en regiones sin mar como Navarra se ha llegado a producir en algunos meses el 100% de la electricidad que se consume a partir de aerogeneradores (70% de promedio anual). La reducción de costes, el desarrollo de nuevas turbinas y una legislación favorable han contribuido a ello de manera notable.

En la actualidad se están también desarrollando nuevos sistemas de almacenaje de electricidad junto a los parques eólicos para minimizar la intermitencia del funcionamiento, incluyendo entre otros la generación de hidrógeno, elevación de masas de agua, compresión de aire, etc.

### Energía solar

La energía solar aprovechable en la superficie terrestre es más de 1000 veces superior a la consumida por la humanidad.<sup>36</sup> En la actualidad su aprovechamiento se está desarrollando en varios frentes:

- Utilización de sistemas fotovoltaicos para la producción de electricidad. Aunque inicialmente cara, cada vez resulta más competitiva. Puede alcanzarse un 40% de eficiencia en la conversión a electricidad con sistemas multicapas y redes de paneles solares, pero la eficiencia habitual por celda es menor del 20%.
- Producción de calor a alta temperatura por medio de colectores y dispositivos de concentración de la radiación solar que la transmite a un fluido, normalmente a más de 400 °C, y este a su vez a los sistemas de almacenaje o de producción de electricidad. Con esta metodología se obtienen eficiencias en la conversión a electricidad del orden del 10-15%. En la actualidad es el método más barato de producir electricidad a partir de energía solar.
- Producción de calor a baja temperatura (normalmente sobre unos 100 °C) por medio de un colector y los transmite a un fluido para llevarlo al lugar de acción. Potencialmente muy atractivo pero restringido en gran medida al ámbito doméstico, resulta todavía caro y su resultado depende del clima.

### Energía hidroeléctrica

Es la fuente de energía renovable por excelencia, aunque solo se aprovecha un tercio de la que sería económicamente viable. Actualmente aporta el 20% de la electricidad que se consume. Los países más desarrollados están ya cerca de su límite de aprovechamiento. Además, salvo las minicentrales, su desarrollo está limitado en gran medida por las fuertes inversiones necesarias para la construcción de presas.

### Energía geotérmica

Con un potencial enorme, reservas energéticas equivalentes a 5 millones de años de consumo, solo se utiliza una mínima parte de la energía geotérmica, bien directamente (con eficiencias del 50-70%), bien para producir electri-

dad (con eficiencias de hasta el 20%). Con la mejora de las bombas de calor geotérmicas, la explotación de este tipo de energía se ha extendido considerablemente en algunos países.

### Otras formas de energías renovables

Las células de combustible (*fuel cell* ó *FC*) son objeto de intensa investigación y la mayor parte de los expertos predicen que en el 2020 se utilizarán ampliamente en vehículos de transporte. Una *FC* es un sistema electroquímico que convierte hidrógeno y oxígeno en electricidad directamente, obteniéndose como únicos productos agua y calor. La eficiencia teórica para esta transformación es menor del 83%, pero las *FC* actuales están rindiendo en torno a un 40% aunque ya se han publicado eficiencias del 70%. El H<sub>2</sub> necesita producirse previamente, normalmente por tratamiento de metanol o gas natural con vapor de agua. Pero también se está investigando su producción por electrolisis del agua usando *in situ* la electricidad de centrales basadas en fuentes renovables o por biofotólisis enzimática del agua.

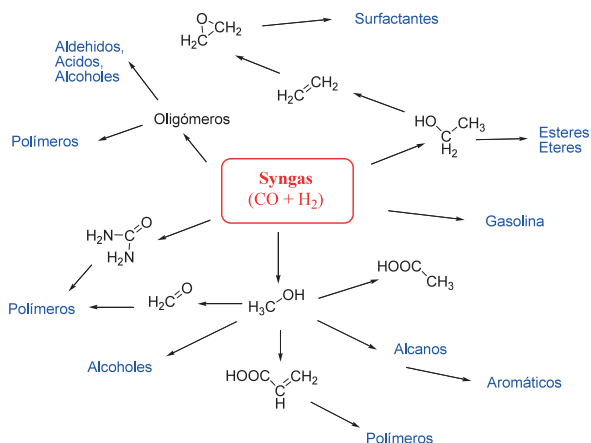
Las políticas decididas de la Unión Europea en apoyo de las energías renovables ya están dando sus frutos.<sup>41b</sup> El objetivo del 12% en 2010 de la producción de energía primaria se ha cumplido (el 12,4% de la energía consumida vino de fuentes renovables). De hecho en el período 2005-10 se ha incrementado desde 6,4% al 12,4%. En el mismo período la proveniente de biomasa pasó del 66% al 68% mientras que la energía hidroeléctrica pasó del 22% al 18%. En claro auge han estado la eólica (de 5,5% al 7,4%) y la solar (del 0,7% al 2%), mientras que se ha estancado la geotérmica de alta temperatura (de 5,5% a 4,4%), pero con un claro incremento de la de baja temperatura aunque todavía es residual. También residual pero ya valorada, la energía marina (0,03% en 2010). El nuevo objetivo Europeo es que las fuentes renovables produzcan el 20% de la energía primaria consumida en Europa en 2020.

### Economía relativa a las materias renovables

Tal y como se ha puesto de manifiesto en los puntos anteriores se puede obtener energía y productos químicos a partir de MPR. Al precio actual del petróleo, un buen número de los métodos de producción de materias primas desde fuentes renovables pueden competir con las rutas que usan fuentes no renovables. La tecnología en general no está suficientemente madura, pero de persistir el elevado precio del petróleo y los previsible avances en campos como la biotecnología harán a las MPR más atractivas comercialmente y de manera especial para la industria de la química fina y los productos farmacéuticos. La tendencia de la legislación a nivel mundial de favorecer la sostenibilidad de la economía potenciando el respeto al medio ambiente contribuirá a la competitividad de los procesos basados en MPR.

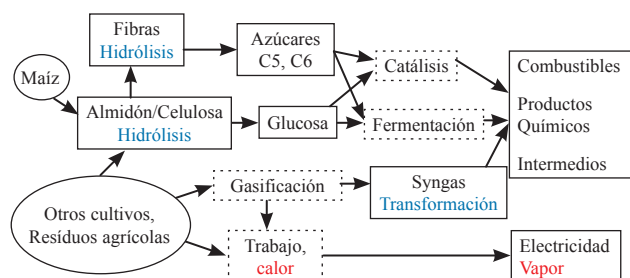
Si la producción química futura tuviera que estar basada en MPR sería deseable, por analogía con la derivada del petróleo, tener un sistema que permita la producción de las sustancias a partir de un único punto de partida. La ventaja principal de la aproximación que usa una materia prima común está en la economía de escala y en la utilización

al máximo de la fuente en su conjunto. Diversos estudios apuntan a una economía basada en el hidrógeno como combustible básico,<sup>46-49</sup> a pesar de que otros apostarían por el metanol.<sup>50</sup> Mientras que la variante más probable será la producción de *syngas* a partir de MPR, ya que *syngas* puede emplearse como fuente de energía, principalmente como productor de hidrógeno, o como fuente de una amplia variedad de productos químicos (Figura 4).<sup>51-53</sup> Algunos autores predicen que el *syngas* será el petróleo del futuro.<sup>2</sup>



**Figura 4.** Ejemplos de materias primas accesibles desde el *syngas*. (adaptado de ref. 2).

Una segunda aproximación, que se está desarrollando a nivel industrial, se basa en cambiar los procesos para poder utilizar materiales de partida alternativos a los actualmente en uso. Un ejemplo es el desarrollo de biorrefinerías.<sup>54</sup> El concepto de la biorrefinería es similar al de la refinería de petróleo pero basado en la conversión de biomasa (Figura 5). De una biorrefinería saldrían desde nuevos productos de alto valor añadido hasta combustibles o energía.



**Figura 5.** Esquema de una biorrefinería.

Los últimos informes apuntan a que las biorrefinerías serán la base de una nueva bioindustria emergente en los mercados. Pero para ello se debe mejorar todo el ciclo de producción a partir de biomasa (desde la homogenización de la composición de la materia prima en la entrada de los procesos hasta el desarrollo de nuevos materiales), crear la infraestructura necesaria para atender a las necesidades del mercado con estos nuevos productos y la concienciación de la opinión pública sobre la utilización de dichos productos.<sup>55</sup>

## Evaluación de la materia prima

Las MPR plantean también problemas económicos y medioambientales, entre ellos destacan la estacionalidad en las cosechas usadas como fuentes de MPR y el terreno (extensión, equilibrio medioambiental, etc.) que pueda ser utilizado para la producción de MPR. Todos estos factores deben ser evaluados con el fin de apostar por las vías de producción energética y de productos químicos más conveniente a cada estado, región, municipio o empresa.<sup>56-59</sup>

En general las MPR seleccionadas para su desarrollo deben superar diversas barreras técnicas y de mercado:

- Conocimiento básico de las plantas; por ejemplo, mejorar la comprensión de la regulación genética para el control de las vías metabólicas de las plantas.
- Producción; por ejemplo, conseguir nuevas plantas que produzcan preferentemente sustancias de interés mejor que producir mezclas de sustancias en gran cantidad.
- Procesado de las fuentes renovables; por ejemplo, mejorar los métodos químicos o de bio-catálisis para la transformación de los componentes de las plantas.
- Utilización; ejemplo, desarrollar materiales que presenten nuevas propiedades y generar su necesidad.

Una vez que la materia prima supera los puntos anteriores su valor añadido dependerá de la demanda, de su utilidad, del coste real y de la sostenibilidad del proceso productivo. En este sentido destacar las herramientas del tipo 'life cycle assessment' (LCA) en el análisis de la sostenibilidad del proceso estudiado.<sup>60</sup>

## Conclusiones

El progresivo agotamiento de los recursos fósiles apunta a las fuentes renovables para la obtención de productos químicos, materiales y energía. Por ello un buen número de países desarrollados han venido aplicando durante la última década una serie de políticas activas y medidas legislativas para potenciar el uso de fuentes renovables. Esos años han demostrado que las energías eólica y solar son las más viables a nivel industrial y con mayor proyección. Aunque la segunda requiere todavía más investigación, particularmente en lo referente a su rendimiento energético. La energía hidroeléctrica casi ha tocado techo en cuanto a capacidad de explotación en los países desarrollados y por el contrario el resto de renovables están todavía en los albores de su potencial desarrollo.

La biomasa se presenta como la MPR casi exclusiva para la producción de nuevos materiales, disolventes y biocombustibles. Dos son las principales estrategias que se están aplicando y que además son complementarias. Una de ellas pretende utilizar las infraestructuras actuales empleando un vector energético (ej. hidrógeno) o químico (ej. *syngas*) con el objeto de producir energía o materiales similares a los usados en la actualidad. Mientras que la otra estrategia afronta la producción de combustibles y un selecto grupo de

nuevos productos químicos básicos o *building blocks* desde donde crear nuevos materiales, disolventes, etc. con propiedades mejoradas respecto a los actualmente utilizados. Los centros de producción estarían basados en las biorrefinerías. Los últimos años de aplicación de políticas favorables han demostrado la potencialidad de la explotación de la biomasa, pero también aspectos a mejorar para alcanzar una economía sostenible. En particular se puede destacar la competencia por el suelo y el agua, así como el impacto medioambiental de cultivos energéticos.

Las políticas favorables a la explotación de las fuentes renovables son el camino a seguir para alcanzar una economía sostenible. Sobre todo en lo referente a la mejora de aspectos claves que abarcan desde la ciencia básica relacionada con la producción vegetal, la producción energética o el procesado químico, hasta la potenciación de nuevas necesidades en el mercado.

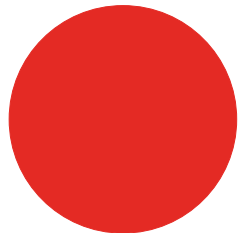
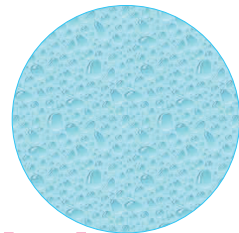
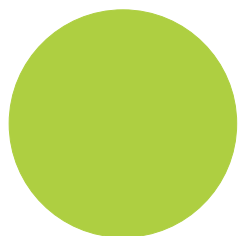
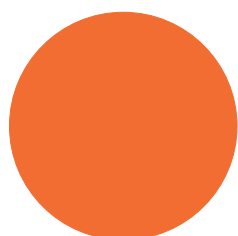
## Bibliografía

1. *Renewable Bioresources: Scope and Modification for Non-food Applications* (Eds.: C. V. Stevens, R. G. Verh e), Wiley, Chichester, UK, **2004**.
2. a) M. Lancaster, *Green Chemistry: An Introductory Text*, RSC Paperbacks, Cambridge, UK, **2002**. b) R. Mestres, *Quimica Sostenible*, Ed. S ntesis S.A., Madrid, **2011**.
3. M. Eissen, J. O. Metzger, E. Schmidt, U. Schneidewind, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2002**, *41*, 414–436 y referencias citadas.
4. P. Tundo, A. Perosa, F. Zecchini, *Methods and Reagents for Green Chemistry*, Wiley, **2007**.
5. J. H. Clark, *Introduction to Chemicals from Biomass*, Wiley, **2008**.
6. a) A. Corra, S. Iborra, A. Velty, *Chem. Rev.* **2007**, *107*, 2411–2502 y referencias citadas. b) B. V. Babu, *Biofuels, Bioprod. Biorefin.* **2008**, *2*, 393–414. c) E. de Smit, B. M. Weckhuysen, *Chem. Soc. Rev.* **2008**, *37*, 2758–2781. d) P. Basu, *Biomass Gasification and Pyrolysis. Practical Design and Theory*, Elsevier Kidlington, Oxford, UK, **2010**.
7. a) *Top. Catal.* vol. 27 (Eds.: H. van Bekkum, P. Gallezot), Kluwer, **2004**. b) G. Centi, R. A. van Santen, *Catalysis for Renewables*, Wiley-VCH, **2007**. c) R. Rinaldi, F. Sch uth, *Energy Environ. Sci.* **2009**, *2*, 610–626. d) C. H. Zhou, X. Xia, C. X. Lin, D. S. Tong, J. Beltramini, *Chem. Soc. Rev.* **2011**, *40*, 5588–5617. e) H. de Lasa, E. Salaces, J. Mazumder, R. Lucky, *Chem. Rev.* **2011**, *111*, 5404–5433.
8. a) H. Danner, R. Braun, *Chem. Soc. Rev.* **1999**, *28*, 395–405. b) *White biotechnology: Gateway to a more sustainable future*. Europabio, **2003** Brussels. <http://www.europabio.org> (visitada el 24/08/2012). c) R. M. Lennen, D. J. Braden, R. M. West, J. A. Dumesic, B. F. Pfleger, *Biotechnol. Bioeng.* **2010**, *106*, 193–202.
9. a) B. C. Saha, K. Hayashi, *Lignocellulose Biodegradation*. ACS Symposium series 889, **2004**. b) D. Humbird, R. Davis, L. Tao, C. Kinchin, D. Hsu, A. Aden, *Process Design and Economics for Biochemical Conversion of Lignocellulosic Biomass to Ethanol. Dilute-Acid Pretreatment and Enzymatic Hydrolysis of Corn Stover*, NREL, Golden, Colorado. **2011**.
10. a) T. Werpy, G. Petersen, *Top Value Added Chemicals from Biomass. Volume 1. Results of Screening for Potential Candidates from Sugars and Synthesis Gas*. Office of Biomass Program. U.S. Department of Energy. **2004**. b) J. J. Bozell, G. R. Petersen *Green Chem.* **2010**, *12*, 539–554. c) P. Gallezot, *Chem. Soc. Rev.* **2012**, *41*, 1538–1558.
11. J. E. Holladay, J. F. White, J. J. Bozell, D. Johnson, *Top Value-Added Chemicals from Biomass - Volume II—Results of Screening for Potential Candidates from Biorefinery Lignin*. PNNL-16983, Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), Richland, WA (US) **2007**.
12. a) *Carbohydrates as Organic Raw Materials* (Ed.: F. W. Lichtenthaler) VCH, Weinheim, Alemania, **1990**. b) *Carbohydrates as Organic Raw Materials II* (Ed.: G. Descotes), VCH, Weinheim, Alemania, **1992**. c) *Carbohydrates as Organic Raw Materials III* (Eds.: H. van Bekkum, H. R per, F. Voragen), VCH, Weinheim, Alemania, **1994**.
13. a) Y. Roman-Leshkov, C. J. Barrett, Z. Y. Liu, J. A. Dumesic, *Nature* **2007**, *447*, 982. b) J. N. Chheda, G. W. Huber, J. A. Dumesic, *Angew. Chem., Int. Ed.*, **2007**, *46*, 7164–7183. c) E. L. Kunkes, D. A. Simonetti, R. M. West, J. C. Serrano-Ruiz, C. A. G rtner, J. A. Dumesic, *Science* **2008**, *322*, 417–421.
14. G. W. Huber, J. N. Chheda, C. J. Barrett, J. A. Dumesic, *Science* **2005**, *308*, 1446–1450.
15. a) K. Hill, *Pure Appl. Chem.* **2007**, *79*, 1999–2011. b) U. Biermann, W. Friedt, S. Lang, W. L hs, G. Machm ller, J. O. Metzger, M. R sch gen. Laas, H. J. Sch fer, M. P. Schneider, *Angew. Chem., Int. Ed.* **2000**, *39*, 2206–2224.
16. a) M. L. Fishman, R. B. Friedman, S. J. Huang, *Polymers from Agricultural Coproducts*, ACS Symp. Ser. 575, Washington, USA, **1994**. b) *Biopolymers from Renewable Resources* (Ed.: D. L. Kaplan), Springer, Berlin, **1998**.
17. K. Khemani, C. Scholz, *Degradable Polymers and Materials: Principles and Practice*. ACS Symp. Ser. 939, Washington, USA, **2006**.
18. a) R. P. Wool, X. S. Sun, *Bio-based Polymers and Composites*. Elsevier, Amsterdam, **2005**. b) L. Yu, *Biodegradable Polymer Blends and Composites from Renewable Resources*. Wiley **2008**.
19. M. A. R. Meier, J. O. Metzger, U. S. Schubert, *Chem. Soc. Rev.* **2007**, *36*, 1788–1802.
20. HGCA Research Review 52: *The Opportunities for Use of Esters of Rapeseed Oil as Bio-Renewable Solvents*, March **2004**.
21. a) M. Pagliaro, M. Rossi, *The Future of Glycerol. New Usages for a Versatile Raw Material*. RSC Green Chemistry Series, **2008**. b) Y. Zheng, X. Chen, Y. Shen, *Chem. Rev.* **2008**, *108*, 5253–5277. c) C.-H. Zhou, J. N. Beltramini, Y.-X. Fana, G. Q. Lu, *Chem. Soc. Rev.* **2008**, *37*, 527–549.
22. S. Warwel, F. Br se, C. Demes, M. Kunz, M. R sch gen Klaas, *Chemosphere* **2001**, *43*, 39–48.
23. a) M. Deleu, M. Paquot, *C. R. Chimie* **2004**, *7*, 641–646. b) M. Kjellin, I. Johansson, *Surfactants from Renewable Resources*, Wiley **2010**. c) M. Nitschke, S. Costa, J. Contiero, *Process Biochem.* **2011**, *46*, 621–630.
24. *Protein-Based Surfactants: Synthesis physicochemical properties and applications* (Eds.: I. E. Nnanna, J. Xia), Surfactant science series vol 101, Marcel Dekker, New York, **2001**.
25. R. Kumar, V. Choudhary, S. Mishra, I. K. Varma, B. Mattiason, *Ind. Crops Prod.* **2002**, *16*, 155–172.
26. a) A. J. Ragauskas, C. K. Williams, B. H. Davison, G. Britovsek, J. Cairney, C. A. Eckert, W. J. Frederick Jr., J. P. Hallett, D. J. Leak, C. L. Liotta, J. R. Mielenz, R. Murphy, R. Templer, T. Tschaplinski, *Science*, **2006**, *311*, 484–489. b) R. Sims, M. Taylor, J. Saddler, W. Mabee, *From 1<sup>st</sup> to 2<sup>nd</sup> Generation Biofuel Technologies: An overview of current Industry and RD&D activities*. OECD/IEA, November **2008**.



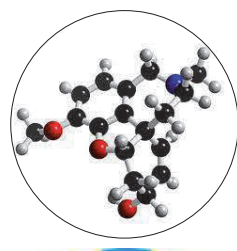
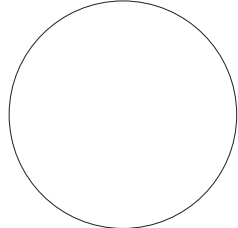
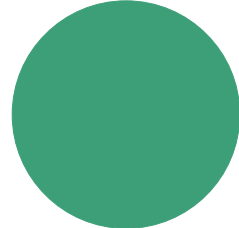
27. a) L. Petrus, M. A. Noordermeer, *Green Chem.* **2006**, *8*, 861–867. b) A. Vertes, N. Qureshi, H. Yukawa, H. Blaschek, *Biomass to Biofuels: Strategies for Global Industries* Wiley **2009**. c) W. Soetaert, *Biofuels*, Wiley, **2009**. d) *Energy Environ. Sci.* (Eds.: B. W.-L. Jang, R. Gläser, C. Liu, M. Dong), **2010**, volumen 3.
28. a) P. T. Pienkos, *Potential for Biofuels from Algae* **2007** NREL/PR-510-42414. National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, CO. b) S. Stucki, F. Vogel, C. Ludwig, A.G. Haiduch, M. Brandenberger, *Energy Environ. Sci.* **2009**, *2*, 535–541. c) M. Edwards *Green Algae Strategy*. Independent Publisher Book Awards IPPY, **2008**. d) P. J. le B. Williams, L. M. L. Laurens, *Energy Environ. Sci.* **2010**, *3*, 554–590. e) FAO environment and natural resources management series, *Algae-based biofuels: applications and co-products* **2010**. f) *National Algal Biofuels Technology Roadmap*. US DEO, Biomass program, **2010**. g) Y. C. Sharma, B. Singh, J. Korstad, *Green Chem.* **2011**, *13*, 2993.
29. D. Doublein, A. Steinhauser, *Biogas from Waste and Renewable Resources*, Wiley, **2008**.
30. a) G. W. Huber, S. Iborra, A. Corma, *Chem. Rev.* **2006**, *106*, 4044–4098. b) D. A. Simonetti, J. A. Dumesic, *Catal. Rev.: Sci. Eng.* **2009**, *51*, 441–484.
31. a) P. Ferrin, D. Simonetti, S. Kandoi, E. Kunkes, J. A. Dumesic, J. K. Norskov, M. Mavrikakis, *J. Am. Chem. Soc.* **2009**, *131*, 5809–5815. b) C.-F. Huo, Y.-W. Li, J. Wang, H. Jiao, *J. Am. Chem. Soc.* **2009**, *131*, 14713–14721.
32. a) *Biocombustibles: Pros y contras de una nueva energía*. National Geographic, Noviembre **2007**. b) D. Biello, *Biocombustibles una promesa fallida*, Investigación y Ciencia, Septiembre **2011**.
33. H. H. Rogner, *Energy Resources in World Energy Assessment: Energy and the Challenge of Sustainability*, chap. 5. United Nations Development Programme, Bureau for Development Policy, New York, USA, **2000**.
34. *World Energy Assessment: overview 2004 update* (Eds.: J. Goldemberg, T. B. Johansson), United Nations Development Programme, Bureau for Development Policy, New York, USA, **2005**.
35. a) *World Energy Outlook*. International Energy Agency, 2004 hasta 2011, Paris Cedex 15, France. b) *Energy Information Administration*. Official Energy Statistics from the US Government: [www.eia.gov](http://www.eia.gov) (visitada el 24/08/2012). c) *BP Statistical Review of world Energy*, **2011**. <http://www.bp.com> (visitada el 24/08/2012).
36. W. C. Turkenburg, *Renewable Energy Technologies in World Energy Assessment: Renewable Energy Technologies*, chap 7, United Nations Development Programme, Bureau for Development Policy, New York, USA, **2000**.
37. a) *Energía, Presente y Futuro*. Investigación y Ciencia, Noviembre **2006**. b) M. L. Wald, Investigación y Ciencia, Mayo **2009**. c) M. Z. Jacobson, M. A. Delucchi, *Energía sostenible: Objetivo 2030*, Investigación y Ciencia, Enero **2010**. d) M. Moyer, *Agotamiento de los recursos naturales*, Investigación y Ciencia, Noviembre **2010**. e) B. Müller, *El futuro de la energía solar*. Investigación y Ciencia, Marzo **2012**.
38. a) *White Paper: Energy for the future –renewable sources of energy* COM, **1997**, 599 final of 26.11.1997. b) *Energy for the Future: Renewable Sources of Energy*. European Comision, **2007**. c) *The promotion of the use of energy from renewable sources*. European Comision, Directive 2009/28/EC, **2009** <http://bit.ly/aAfeBS> (visitada el 24/08/2012).
39. *Biomass Action Plan*, European Commission COM, **2005**, 628–final.
40. a) *Towards a low carbon future: A European Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan)* European Commission COM, **2007**, 72–final. b) *Investing in the Development of Low Carbon Technologies (SET-Plan): A Technology Roadmap*. European Comision, **2009**: COM, (2009), 519 final.
41. a) *Renewable Energy Technology Roadmap 20% by 2020* EREC, European Renewable Energy Council: B-1040 Brussels, **2008**. b) *The State of the Renewable Energies in Europe, 11th EurObserv'ER Report* EurObserv'ER: Paris, **2011**. c) *Re-thinking 2050: A 100% Renewable Energy Vision for the European Union*. EREC, European Renewable Energy Council.: B-1040 Brussels, **2010**.
42. a) *Biobased Industrial Products: Priorities for Research and Commercialization*. Committee on Biobased Industrial Products. National Research Council. National Academic Press. Washington **2000**. b) *Vision for Bioenergy and Biobased products in United States*, DOE & USDA, **2006**. c) *U.S. Biobased Products, Market Potential and Projections Through 2025*, United States Department of Agriculture, **2008**.
43. M. Paster, J. L. Pellegrino, T. C. Carole, *Industrial Bioproducts: Today and Tomorrow*, U.S. Dept. of Energy, Office of Biomass program, Washington, USA, **2003**.
44. *Energy for Sustainable Development: a Policy Agenda* (Eds.: T. B. Johansson, J. Goldemberg), United Nations Development Programme, Bureau for Development Policy, New York USA, **2002**.
45. a) A. Kruse, *Biofuels, Bioprod. Biorefin.* **2008**, *2*, 415–437. b) P. Basu, *Biomass gasification and pyrolysis. Practical design and Theory*, Elsevier, Oxford, **2010**.
46. *Hydrogen Energy and Fuel Cells-A vision of our future*. European Comision, Luxembourg, **2003**.
47. a) D. A. J. Rand, R. M. Dell, *Hydrogen Energy. Challenges and Prospects*. RSC Energy Series. **2008**. b) *A National Vision of America's Transition to a Hydrogen Economy –to 2030 and Beyond–*. U.S. Dept. of Energy, Washington, USA, **2003**.
48. R. D. Cortright, R. R. Davda, J. A. Dumesic, *Nature* **2002**, *418*, 964–967.
49. a) J. D. Holladay, J. Hu, D. L. King, Y. Wang, *Catal. Today*, **2009**, *139*, 244–260. b) P. Spath, A. Aden, T. Eggeman, M. Ringer, B. Wallace, J. Jechura. *Biomass to Hydrogen: Production Detailed Design and Economics Utilizing the Battelle Columbus Laboratory Indirectly-Heater Gasifier*, NREL/TP-510-37408, National Renewable Energy Laboratory, 1617 Cole Boulevard, Golden Colorado, **2005**. c) P. Ramirez de la Piscina, N. Homs. *Chem. Soc. Rev.* **2008**, *37*, 2459–2467. d) A. Regalado. *Hojas artificiales*, Investigación y Ciencia, Diciembre **2010**. d) L. Hammarström, S. Hammes-Schiffer, *Acc. Chem. Res.* **2009**, *42*, 1859–1861.
50. G. A. Olah, A. Goepfert, G. K. S. Prakash. *Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy*. Wiley, **2006**.
51. a) P.L. Spath, D.C. Dayton, *Preliminary Screening-Technical and Economic Assessment of Synthesis Gas to Fuels and Chemicals with Emphasis on the Potential for Biomass-Derived Syngas*, US Department of Commerce, National Technical Information Service, 5285 Port Royal Road, Springfield, VA 22161, USA, **2003**. b) A. de Klerk, *Green Chem.* **2007**, *9*, 560–565. c) T. V. Choudhary, V. R. Choudhary, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2008**, *47*, 1828–1847. d) E. Kintich, *Science* **2008**, *320*, 306–308. e) M. M. Yung, W. S. Jablonski, K. A. Magrini-Bair, *Energy Fuels* **2009**, *23*, 1874–1887. e) P. C. Munasinghe, S. K. Khanal, *Bioresour.Technol.* **2010**, *101*, 5013–5022.

52. a) C. M. Stoots, J. E. O'Brien, J. J. Hartvigsen. *Syngas Production Via High-Temperature Co-Electrolysis of Steam and Carbon Dioxide in a Solid-Oxide Stack*, INL/CON-07-12240. Idaho National Laboratory (INL), **2007**. b) G. Centi, S. Perathoner, G. Wine, M. Gangeria, *Green Chem.* **2007**, *9*, 671–678. c) R. F. Service. *Science* **2009**, *326*, 1472–1475.
53. a) V. Subramani, S. K. Gangwal, *Energy Fuels* **2008**, *22*, 814–839. b) J. J. Spivey, A. Egbebi, *Chem. Soc. Rev.* **2007**, *36*, 1514–1528. c) J. L. Hu, Y. Wang, C. S. Cao, D. C. Elliott, D. J. Stevens, J. F. White, *Catal. Today* **2007**, *120*, 90–95.
54. *Biorefineries-Industrial Processes and Products: Status Quo and Future Directions*, vols. 1 y 2 (Eds.: B. Kamm, P. R. Gruber, M. Kamm), Wiley, **2006**.
55. a) *Roadmap for Agriculture Biomass Feedstock Supply in the United States*. US Dept. of Energy, Washington, USA, **2003**. b) *Multi Year Program Plan 2007-2012*. Office of the Biomass Program Energy Efficiency and Renewable Energy. USDOE, Washington, USA, **2005**. c) *Biomass multi-year program plan*. Office of the biomass program. US department of energy Washington, USA, **2009 y 2011**.
56. a) *Renewables-Based Technology: Sustainability Assessment* (Eds.: J. Dewulf, H. Van Langenhove), Wiley, **2006**. b) J. E. Campbell, E. Block, *Environ. Sci. Technol.* **2010**, *44*, 8665–8669. c) D. C. Cooper, G. Sehlke, *Environ. Sci. Technol.* **2012**, *46*, 3509–3518.
57. A. A. Koutinas, R. Wang, *Ind. Crops Prod.* **2004**, *20*, 75–88.
58. a) R. L. Bain, *World Biofuels Assessment; Worldwide Biomass Potential: Technology Characterizations (Milestone Report)*, NREL/MP-510-42467, National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, CO, **2007**. b) V. Dornburg, D. van Vuuren, G. van de Ven, H. Langeveld, M. Meeusen, M. Banse, M. van Oorschot, J. Ros, G. J. van den Born, H. Aiking, M. Londo, H. Mozaffarian, P. Verweij, E. Lyseng, A. Faaij, *Energy Environ. Sci.* **2010**, *3*, 258–267.
59. a) A. M. Gribik, R. E. Mizia, H. Gatley, B. Phillips. *Economic and Technical Assessment of Wood Biomass Fuel Gasification for Industrial Gas Production*, INL/EXT-07-13292. Idaho National Laboratory (INL), **2007**. b) S. D. Phillips, *Ind. Eng. Chem. Res.* **2007**, *46*, 8887–8897. c) S. B. Jones, J. E. Holladay, C. Valkenburg, D. J. Stevens, C. W. Walton, C. Kinchin, D. C. Elliott, S. Czernik. *Production of Gasoline and Diesel from Biomass via Fast Pyrolysis, Hydrotreating and Hydrocracking: A Design Case*, PNNL-18284, U.S. Department of Energy, Washington, USA, **2009**.
60. a) E. Gnansounou, A. Dauriat, J. Villegas, L. Panichelli, *Bioresour. Technol.* **2009**, *100*, 4919–4930. b) C. Koroneos, A. Dompros, G. Roumbas, *Chem. Eng. Process.* **2008**, *47*, 1267–1274. c) S. N. Djomo, D. Blumberga, *Bioresour. Technol.* **2011**, *102*, 2684–2694. d) K. A. Mullins, W. M. Griffin, H. S. Matthews, *Environ. Sci. Technol.* **2011**, *45*, 132–138. e) A. Singh, S. I. Olsen, *Appl. Energy* **2011**, *88*, 3548–3555. f) L. Cucek, P. S. Varbanov, J. A. J. Klemes, Z. Kravanja, *Energy* **2012**, *44*, 135–145.



12 de Noviembre de 2012

## Envejecimiento y Calidad de Vida: Aportaciones de la QUÍMICA



9:30 h. **Juan A. Bueren. CIEMAT.**  
Terapia génica y perspectivas futuras

10:30 h. **Ana Martínez Gil. CSIC.**  
Envejecer saludablemente: lucha  
contra la enfermedad de Alzheimer

11:30 h. **Sesión de carteles de  
alumnos de Grado**

12:30 h. **Leocadio Martínez Mañas  
Hospital de Getafe.**  
Papel de la investigación  
en la respuesta a los retos de salud  
asociados al envejecimiento

CONTACTO:  
otri@ceu.es

COMITÉ  
ORGANIZADOR:  
-Ana Ramos González  
-Coral Barbas Arribas  
-Sonsoles Martín  
Santamaría  
-M<sup>a</sup> Teresa Azcondo  
Sánchez