

Polímeros conductores

Su papel en un desarrollo energético sostenible



Javier Padilla Martínez

Rafael García Valverde

Antonio Jesús Fernández Romero

Antonio Urbina Yeregui

EDITORIAL REVERTÉ

Polímeros conductores

Su papel en un desarrollo energético sostenible

**Javier Padilla Martínez
Rafael García Valverde
Antonio Jesús Fernández Romero
Antonio Urbina Yeregui**



**EDITORIAL
REVERTÉ**

Barcelona · Bogotá · Buenos Aires · México

Polímeros conductores: su papel en el desarrollo energético sostenible

Copyright © Javier Padilla Martínez, Rafael García Valverde, Antonio Jesús Fernández Romero y Antonio Urbina Yeregui

Edición en papel:

© Editorial Reverté. S.A., 2010

ISBN: 978-84-291-7913-2

Edición en e-book:

© Editorial Reverté. S.A., 2020

ISBN: 978-84-291-9313-8

Propiedad de:

EDITORIAL REVERTÉ, S. A.

Loreto, 13-15, Local B

08029 Barcelona

Tel: (34) 93 419 33 36

reverte@reverte.com

www.reverte.com

Reservados todos los derechos. La reproducción total o parcial de esta obra, por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo públicos, queda rigurosamente prohibida sin la autorización escrita de los titulares del copyright, bajo las sanciones establecidas por las leyes.

PREFACIO

La energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma. Amparados en una lectura parcial de este principio universal, vivimos en una época en la que el consumo de recursos energéticos aumenta continuamente, motivado a su vez por un sistema económico expansivo por naturaleza. Para sostener este sistema indefinidamente, la energía debería ser infinita. No obstante, según el principio anterior, esto no debería ser un problema, pues la energía del universo se mantiene constante, y su valor es de tal magnitud que a nuestra escala podríamos considerarlo infinito. Pero probablemente lo más importante de este principio no es la afirmación de que la energía se conserva, sino el hecho de que ésta se transforma. Para ser más precisos, no sólo se transforma, sino que se degrada. Desafortunadamente, este proceso es irreversible y marca el rumbo del universo, el cual se explica mediante el concepto de *entropía*. El tratar las implicaciones científicas y filosóficas de este concepto está fuera del objetivo de este libro, pero recomendamos encarecidamente a todos los lectores que se interesen por ellas.

Los combustibles fósiles (petróleo, carbón, gas natural), que actualmente satisfacen más de un 80% del consumo energético mundial, son sustancias ori-

ginadas por la transformación de materia orgánica fosilizada a lo largo de millones de años. A pesar de que los consumamos de una forma un tanto irresponsable, cada vez somos más conscientes de que estos recursos son limitados. Este hecho, de por sí, ya es una razón de peso para reducir el ritmo del consumo energético y plantear la utilización de nuevas fuentes de energía. Si reflexionamos sobre la manera en que los consumimos, podemos ver que no es arbitrario que a estos materiales los englobemos bajo una única denominación: la de combustibles. Es decir, lo que hacemos con ellos es quemarlos para liberar calor que aprovechamos directamente para calentarnos o para producir otro tipo de energía que sepamos utilizar, como la energía mecánica o eléctrica. En este proceso también se liberan sustancias químicas, fundamentalmente CO_2 , con las consecuencias medioambientales ampliamente conocidas. El aprovechamiento de esta energía también conlleva varios tipos de pérdidas que reducen la eficiencia energética del proceso. (Estas pérdidas se tratarán explícitamente en uno de los capítulos de este libro.)

A las pérdidas de calidad medioambiental y de eficiencia energética se le añade una tercera: la pérdida de calidad de la energía, es decir, su degradación. Por todo ello, quemar sin más una sustancia que ha tardado millones de años en almacenar su energía no parece la manera más inteligente de utilizarla.

La relación de los seres humanos con los distintos materiales de su entorno ha ido evolucionando a lo largo de la historia, haciéndose más compleja y rica. Al principio los materiales se utilizaban por sus características físicas más obvias, como la dureza o la textura; un ejemplo de ello es la utilización prehistórica de piedras de sílex talladas. A esta etapa le seguiría otra de un cierto control de las propiedades de los materiales por medio de transformaciones básicas. Cualquiera de los períodos metalúrgicos primarios (Edad del Bronce, Edad del Hierro) es representativo de esta etapa. Más tarde, el desarrollo de las ciencias químicas y físicas permitió realizar transformaciones más complejas mediante las cuales fue posible controlar y modificar las propiedades finales de los materiales. Aún nos encontramos en este período, sin duda con notable éxito. En todas estas etapas el hecho crucial son las transformaciones más o menos complejas de materiales; pero desde hace unos años se están produciendo avances tecnológicos que permiten vislumbrar cuál será el nuevo reto: la creación (no la transformación) de nuevos materiales con las propiedades deseadas.

Esta evolución ha permitido, sin duda alguna, mejorar el rendimiento del proceso de combustión y la manera de aprovechar la energía liberada; pero también ha permitido desarrollar materiales capaces de utilizar con provecho otras formas de energía, algunas conocidas desde la antigüedad, como la eólica o la solar térmica, y otras más recientes, como la fotovoltaica.

Los materiales poliméricos han seguido una evolución semejante, desde su utilización básica como alimento (no olvidemos que gran parte de la materia biológica está constituida por polímeros), hasta el desarrollo actual, cuya aplicación más visi-

ble es en forma de todo tipo de plásticos. El describir la infinidad de sustancias poliméricas y sus actuales aplicaciones es una tarea ardua y prácticamente imposible; pero a todos ellos se les atribuía una propiedad común: la de su carácter no conductor de la electricidad, en comparación con los tradicionales conductores metálicos. Sin embargo, ya hace treinta años del descubrimiento accidental de que uno de ellos (el poliacetileno dopado con yodo) podía conducir la electricidad en determinadas condiciones, descubrimiento que desbarató esa idea. El hallazgo y utilización de estos materiales pone de relieve, una vez más, la capacidad humana de transformar los materiales para nuevos usos. La anilina, uno de los monómeros más representativos, se venía utilizando desde la antigüedad como tinte añil, mientras que el pirrol, presente en la clorofila, es el responsable del color verde característico de las especies vegetales.

A pesar de nuestra capacidad de transformar y crear nuevos materiales, seguimos aferrados a la combustión como principal proceso para el suministro de energía. Sin embargo, actualmente hay muchos indicios de que este modelo se está agotando y debe ser sustituido. Factores medioambientales y el agotamiento de los propios combustibles fósiles, junto a otros factores socioeconómicos, han culminado en una apuesta en principio tímida, aunque cada vez más decidida, por la investigación, el desarrollo y la implantación de un modelo energético sostenible basado en las energías renovables y la eficiencia energética.

El objetivo general de este libro se plantea en este contexto. En él se pretende discutir el papel que pueden desempeñar los materiales poliméricos como materiales activos en dispositivos capaces de producir, almacenar o ahorrar energía limpia.

Hemos intentado mantener un equilibrio entre divulgación y especialización, y por ello en todos los capítulos incluimos una extensa sección introductoria con la finalidad de que cualquier lector pueda conocer y justificar el uso de cada tecnología en el contexto energético mundial, y disponga también de unas nociones básicas en cada caso. Posteriormente se discuten las ventajas e inconvenientes del uso de materiales poliméricos, así como su viabilidad y sus opciones de futuro. El lector más especializado podrá encontrar referencias útiles para profundizar en cada campo. Hemos dividido el texto en cuatro capítulos, que a continuación describimos brevemente:

En el capítulo 1 se agrupan dos tecnologías próximas conceptualmente: las células fotovoltaicas y los diodos emisores de luz (LED). En primer lugar se trata la situación actual de la energía fotovoltaica en todo el mundo, y posteriormente se realiza una completa introducción a la estructura energética de los polímeros conductores, introduciendo los conceptos básicos para explicar el carácter semiconductor de estos materiales. A continuación se describen los procesos más importantes para la generación de electricidad (o luz en el caso de los LED), y se concluye con una discusión sobre la situación y posibilidades de futuro de los dispositivos orgánicos en este campo.

VIII Prefacio

En el capítulo 2 se introducen los denominados dispositivos electrocrómicos, diseñados para controlar la transmisión de luz. Aunque este tipo de tecnología no es capaz de producir energía, puede ser utilizada en edificios como un elemento aislante “inteligente” que permite ahorros energéticos en sistemas de climatización. El texto sitúa a esta tecnología dentro del marco del ahorro y eficiencia energética en edificación. En este capítulo se proporciona una breve introducción al funcionamiento de los dispositivos electroquímicos, pues éstos son tratados en profundidad en los capítulos siguientes; asimismo se introducen algunas nociones sobre el comportamiento óptico de los materiales. A continuación se discute sobre las ventajas de los materiales orgánicos frente a distintos materiales inorgánicos que han sido utilizados históricamente, para después centrarse en el abanico de aplicaciones existentes para este tipo de tecnología. Por último se describen los aspectos en que se centra la investigación actual en este campo y las posibilidades de futuro de esta tecnología.

El siguiente capítulo trata un aspecto clave para el desarrollo energético sostenible: el almacenamiento de energía. En él se justifican las ventajas que la producción de energía electroquímica tiene frente a la combustión térmica. Se introducen los conceptos básicos para entender el funcionamiento de los distintos tipos de pilas, junto con un breve desarrollo histórico, y el interés de las pilas secundarias o recargables como almacenadores de energía. Se plantean los problemas y avances asociados al funcionamiento de las pilas de litio, así como la viabilidad de las pilas con electrodos poliméricos. Finalmente se tratan los polímeros organosulfurados y se introduce una prometedora nueva vía de aplicación de diversos polímeros conductores como catalizadores en baterías recargables de electrodos poliméricos organosulfurados.

El último capítulo trata del hidrógeno como vector energético y el papel que puede desempeñar en el marco de un desarrollo energético sostenible y limpio. Se describen los dos tipos de sistemas electroquímicos asociados al hidrógeno: las pilas de combustible como generadores de electricidad a partir de hidrógeno y oxígeno, y los electrolizadores como productores de hidrógeno por medio de la electrólisis del agua. En cualquiera de los dos casos, el único residuo (o combustible) es agua, de ahí su interés como fuente de energía limpia. A continuación se discute el papel que las membranas formadas por polímeros conductores iónicos pueden tener en el éxito de la implantación de estas tecnologías. Es importante subrayar que la conductividad de los materiales descritos es iónica y no electrónica, por lo que la temática diverge respecto al resto de los capítulos, centrados exclusivamente en polímeros conductores electrónicos. La importancia de la tecnología del hidrógeno en el marco de las energías renovables justifica y motiva la inclusión de este capítulo.

El texto recoge la experiencia, tanto personal como profesional, de los autores. Como investigadores y docentes, esperamos haber sabido transmitirla de una manera útil y amena.

Por último, pero no menos importante, los autores agradecen el trabajo de corrección ortotipográfica del manuscrito llevada a cabo por Blanca González Gutiérrez.

Los autores

Javier Padilla Martínez (Coordinador)

Rafael García Valverde

Antonio J. Fernández Romero

Antonio Urbina Yeregui

Javier Padilla Martínez

(Bilbao, 1975). Es Licenciado en Ciencias Físicas (Universidad de Valladolid, 2001) y Doctor en Ciencias (Universidad Politécnica de Cartagena, 2006). Actualmente trabaja como Profesor Ayudante Doctor en la Universidad Politécnica de Cartagena.

Su trayectoria investigadora ha estado centrada desde sus comienzos en las aplicaciones basadas en polímeros conductores. Tras una primera etapa (2001-2002) centrada en el estudio de la construcción de diodos Schottky basados en polianilina, desarrollada en la Universidad de Valladolid, su línea de investigación principal se orienta, ya en la Universidad Politécnica de Cartagena, hacia el estudio de dispositivos electrocrómicos basados en polímeros conductores, tema sobre el que ha publicado diversos trabajos científicos y su tesis doctoral. Ha realizado estancias en el Institute of Materials Science de la Universidad de Connecticut (EE.UU.) y en el Risø National Laboratory (Dinamarca).

Actúa como coordinador del presente libro.

Rafael García Valverde

(Bullas, Murcia, 1980). En 2004 se licenció en Ingeniería en Automática y Electrónica Industrial en la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT). En 2006 obtuvo el Master de la EOI-Universidad de Murcia “Consultor en Energías Renovables” y en 2007 el Diploma de Estudios Avanzados en “Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial” por la Universidad de Murcia.

Actualmente está finalizando su trabajo de tesis doctoral sobre producción de hidrógeno a partir de Energía Solar Fotovoltaica en la UPCT. Ha publicado estudios relacionados con la optimización del acoplamiento fotovoltaica-electrolizador y relativos al análisis de ciclo de vida de sistemas fotovoltaicos. Su línea principal de investigación es el modelado, simulación y control de sistemas de producción de

hidrógeno a partir de energías renovables, en particular los basados en el uso de energía solar fotovoltaica. Fruto de este trabajo, ha establecido colaboraciones internacionales y realizado visitas a grupos de investigación en hidrógeno y energías renovables, como el Institute for Energy Technology en Kjeller (Noruega) o la Napier University en Edimburgo (Escocia).

Colabora también en el estudio de nuevas tecnologías fotovoltaicas basadas en el uso de polímeros conductores.

Antonio Jesús Fernández Romero

(Zuheros, Córdoba, 1970). Se licenció en Ciencias Químicas por la Universidad de Córdoba en 1993. Es Doctor en Ciencias Químicas, por la misma Universidad, desde mayo de 2000. Tras un breve paso por la empresa privada, en marzo de 2001 recaló en la Universidad Politécnica de Cartagena, donde actualmente ejerce como Profesor Titular de Universidad en el área de Química Física.

Desde el inicio, su labor investigadora se ha centrado en el estudio del comportamiento espectro-electroquímico de electrodos modificados. Durante su paso por la Universidad de Córdoba se centró en la modificación de electrodos con bupiridinas, depositadas mediante SAM o Langmuir-Blodgett. En la Universidad Politécnica de Cartagena sus investigaciones se han encaminado hacia el estudio de las propiedades espectro-electroquímicas de los polímeros conductores y, más recientemente, en su aplicación en el área de baterías recargables. Ha realizado diversas estancias de investigación en la Università degli studi di Firenze.

Antonio Urbina Yeregui

(Madrid, 1967). Licenciado en Ciencias Físicas (1991, Universidad Complutense de Madrid) y Doctor en Ciencias Físicas (1996, Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid-CSIC). Inicialmente trabajó en fenómenos de transporte electrónico en sistemas de baja dimensionalidad en dispositivos basados en materiales III-V (efecto Hall cuántico y oscilaciones Shubnikov-de Haas). Posteriormente se dedicó a la investigación de nuevos materiales orgánicos para dispositivos electrónicos: nanotubos de carbono, derivados de fullerenos y polímeros conjugados, con los que ha fabricado y caracterizado células fotovoltaicas orgánicas. Ha realizado estancias de investigación en la Universidad de Wisconsin (Madison), University College e Imperial College (Universidad de Londres) y Universidad de Cambridge. Actualmente es Profesor Titular en la Universidad Politécnica de Cartagena, donde coordina el Programa de Posgrado en Energías Renovables.

Índice analítico

Prefacio	V
-----------------------	----------

Capítulo 1

Polímeros conductores en diodos emisores de luz y células solares	1
1.1 Introducción	3
1.1.1 Diodos emisores de luz y células solares orgánicos: el vínculo de la nanoescala con los gigawattios	4
1.1.2 Principales retos de futuro	9
1.2 Metales y semiconductores: interpretación de los polímeros conjugados	10
1.2.1 La estructura de bandas en los materiales inorgánicos	11
1.2.2 La estructura de bandas en los polímeros	13
1.3 Procesos optoelectrónicos en los polímeros conjugados	19
1.3.1 Excitaciones en el material	20
1.3.2 Recombinación radiativa y absorción de un fotón	22
1.3.3 Procesos de transferencia de energía	23
1.3.4 Procesos de transferencia de carga	25
1.4 Dispositivos optoelectrónicos orgánicos	26
1.4.1 Diodos emisores de luz orgánicos: OLED	30
1.4.2 Células fotovoltaicas orgánicas: OSC	33
1.4.3 Procesado industrial de dispositivos optoelectrónicos orgánicos	37
1.5 Conclusiones	41

1.6 Bibliografía recomendada	42
1.7 Referencias	43

Capítulo 2

Dispositivos electrocrómicos: perspectivas en el marco de la sostenibilidad energética . 47

2.1 Introducción	48
2.2 Electrochromismo: cómo funciona	50
2.2.1 Un concepto básico en ciencia de materiales: teoría de bandas	50
2.2.2 El color de los materiales. Absorción, reflexión y transmisión	51
2.2.3 Electrochromismo: una reacción electroquímica	52
2.3 Materiales electrocrómicos. Dispositivos	53
2.3.1 Materiales electrocrómicos inorgánicos	53
2.3.2 Materiales electrocrómicos orgánicos	54
2.3.3 Configuración de los dispositivos electrocrómicos	55
2.3.4 ¿Metales de transición o polímeros conductores? Ventajas e inconvenientes	56
2.4 Aplicaciones	57
2.4.1 Electrochromismo para una arquitectura sostenible y eficiente energéticamente .	58
2.4.2 Automoción	65
2.4.3 Papel electrónico. Pantallas de visualización	66
2.4.4 Electrochromismo en el espectro no visible	68
2.5 Investigación actual y líneas de futuro	70
2.5.1 Modulación del color. Ingeniería del gap energético	71
2.5.2 Contraste	73
2.5.3 Velocidad de los dispositivos	75
2.5.4 Producción en masa	76
2.6 Conclusiones	79
2.7 Bibliografía recomendada	80
2.8 Referencias	80

Capítulo 3

Polímeros conductores usados como electrodos en pilas recargables 85

3.1 Introducción	87
3.1.1 Almacenamiento de energía	87
3.1.2 Producción electroquímica de energía frente a los combustibles fósiles	88
3.1.3 Rendimiento de la conversión electroquímica de energía química en eléctrica...	90
3.1.4 Avances históricos en el desarrollo de las baterías	92
3.1.5 Celdas electroquímicas. Tipos de pilas	94
3.1.5.1 Las células galvánicas	94
3.1.5.2 Las células electrolíticas	96
3.1.5.3 Tipos de pilas	97
3.1.6 Características generales de las baterías	99
3.2 El litio como componente de las baterías recargables	103
3.3 Baterías con electrodos poliméricos	106
3.4 Electrodos poliméricos organosulfurados en baterías recargables	110
3.5 Conclusiones	114
3.6 Bibliografía recomendada	115
3.7 Referencias	116

Capítulo 4

El papel de los polímeros en la economía del hidrógeno: pilas de combustible y electrolizadores	119
4.1 Introducción	121
4.1.1 ¿Por qué el hidrógeno?	123
4.1.2 El hidrógeno como vector energético	126
4.1.2.1 Producción del hidrógeno	126
4.1.2.2 Aplicaciones energéticas del hidrógeno	128
4.1.3 Actuales barreras en la economía del hidrógeno	131
4.2 Pilas de combustible y electrolizadores	132
4.2.1 Pilas de combustible	132
4.2.1.1 Principios básicos	132
4.2.1.2 Tipos de pilas de combustible	137
4.2.2 Electrolizadores	140
4.2.2.1 Principios básicos	140
4.2.2.2 Tipos de electrolizadores	143
4.3 Polímeros conductores de iones	145
4.3.1 Composición y propiedades generales	145
4.3.2 Membranas de ionómeros en PEMFC y PEME	148
4.4 Conclusiones y perspectivas de futuro	150
4.5 Bibliografía recomendada	152
4.6 Referencias	153
Índice alfabético	155
Figuras a color	167

CAPÍTULO 1

Polímeros conductores en diodos emisores de luz y células solares

Antonio Urbina Yeregui

1.1	Introducción	3
1.1.1	Diodos emisores de luz y células solares orgánicos: el vínculo de la nanoescala con los gigawatios	4
1.1.2	Principales retos de futuro	9
1.2	Metales y semiconductores: interpretación de los polímeros conjugados	10
1.2.1	La estructura de bandas en los materiales inorgánicos	11
1.2.2	La estructura de bandas en los polímeros	13
1.3	Procesos optoelectrónicos en los polímeros conjugados	19
1.3.1	Excitaciones en el material	20
1.3.2	Recombinación radiativa y absorción de un fotón	22
1.3.3	Procesos de transferencia de energía	23
1.3.4	Procesos de transferencia de carga	25
1.4	Dispositivos optoelectrónicos orgánicos	26
1.4.1	Diodos emisores de luz orgánicos: OLED	30
1.4.2	Células fotovoltaicas orgánicas: OSC	33
1.4.3	Procesado industrial de dispositivos optoelectrónicos orgánicos	37
1.5	Conclusiones	41
1.6	Bibliografía recomendada	42
1.7	Referencias	43

En este capítulo abordamos la utilización de los polímeros conjugados conductores en dos tipos de aplicaciones muy relacionadas entre sí: los diodos emisores de luz orgánicos (sus siglas en inglés: OLED, *organic light emitting diodes*) y las células solares orgánicas (OSC, *organic solar cells*). Tanto en el funcionamiento como en el proceso de fabricación de estos dispositivos hay grandes similitudes; se puede decir que son dispositivos complementarios cuyo estudio puede abordarse conjuntamente. Desde el punto de vista de las aplicaciones, el principal objetivo en la investigación de este nuevo tipo de dispositivos es conseguir abaratar los costes de producción respecto de sus equivalentes inorgánicos, los diodos emisores de luz y las células fotovoltaicas, fabricados a partir de materiales inorgánicos, sobre todo silicio, o aleaciones de elementos de los grupos III-V y II-IV-VI de la tabla periódica. El reto es conseguir dispositivos orgánicos cuyas prestaciones sean similares a los inorgánicos, o que al menos la relación coste/prestaciones sea ventajosa respecto a éstos.

Las aplicaciones de ambos dispositivos, OLED y OSC, tienen un alto interés social. En la actualidad, una de las grandes preocupaciones en todo el mundo es el abastecimiento de energía en un contexto de demanda energética creciente y una perspectiva de encarecimiento y escasez de los recursos primarios, además de la amenaza que supone el cambio climático ya en marcha. Los LED han demostrado ya que tienen una eficiencia mucho mayor en la producción de luz, es decir, necesitan un consumo mucho menor de energía para producir la misma cantidad de luz que otras luminarias más convencionales. Asimismo, las células solares convencionales han demostrado eficiencias en la conversión de energía solar en energía eléctrica que les acerca cada vez más al umbral en que serán competitivas económicamente. En ambos casos, la mayor dificultad para la entrada masiva en el mercado es su precio. El coste de estos dispositivos es aún demasiado alto, y las unidades energéticas que se ahorran (con el uso de los diodos emisores de luz) o se producen (con las células solares) son demasiado caras en comparación con las formas convencionales de iluminación y producción eléctrica.

Las economías de escala aplicadas a estas tecnologías reducen paulatinamente los costes de producción, tal como ha ocurrido con los dispositivos inorgánicos. Sin embargo, la gran inversión en investigación y desarrollo en los dispositivos orgánicos podría producir en los próximos años un gran salto tecnológico. Ya hay dispositivos de tipo OLED en el mercado, y pronto los habrá también de tipo OSC. Su introducción en la oferta puede producir una ruptura en la tendencia habitual de las curvas de caída de costes con una bajada significativa que permitiría irrumpir súbitamente en el mercado con una tecnología novedosa.

En este capítulo presentamos estos dispositivos con la finalidad de que el lector conozca mejor los detalles de su funcionamiento y sus diferencias respecto a sus equivalentes inorgánicos, de modo que pueda juzgar por sí mismo si realmente se producirá este salto hacia una tecnología de bajo coste que permita abordar cuanto

antes el gran objetivo del ahorro de energía y su producción mediante una fuente renovable, la radiación solar, a un coste competitivo en el mercado.

Para comenzar, proporcionamos una introducción que justificará la necesidad de avanzar hacia una tecnología de bajo coste basada en los materiales poliméricos. A esta introducción le siguen unas secciones dedicadas al estudio de los polímeros conjugados en el contexto de su utilización en los OLED y las OSC, donde explicamos de forma cualitativa cómo se produce el fenómeno de transporte de carga eléctrica en estos materiales y cómo interaccionan con la luz. Las siguientes secciones se centran en la estructura de los dispositivos fabricados a partir de estos materiales, y la definición de sus principales parámetros de funcionamiento. Finalmente presentaremos las tendencias existentes en cuanto a su producción industrial, los prototipos que ya están en el mercado y las perspectivas de investigación marcadas por la plataforma tecnológica fotovoltaica de la Comisión Europea.

1.1 Introducción

Las políticas energéticas de Europa, y pronto las de todo el mundo, harán en el futuro un gran esfuerzo en el ahorro energético y en la producción de energía a partir de fuentes renovables. La preocupación derivada tanto de las evidencias del Cambio Climático como de la sostenibilidad de las fuentes primarias de energía ha resultado en un incremento notable de las inversiones en tecnologías relacionadas con las energías renovables. La tendencia actual indica que el mercado fotovoltaico crece sin cesar, con tasas del 20% de crecimiento anual durante los últimos diez años, aunque más recientemente se han alcanzado cifras del 45%, el mayor crecimiento experimentado por cualquier mercado global. Se estima que en el año 2012 el mercado será de unos 20.000 millones de dólares. En la figura 1.1 se muestra la tendencia de la producción energética, repartida por fuentes, a partir de los datos del Consejo Asesor Alemán para el Cambio Global (WBGU), una institución oficial del gobierno alemán. A pesar de que la energía solar fotovoltaica estará aún por detrás de otras fuentes de energía renovables en el 2020, no cabe duda de que será la tecnología líder hacia el año 2050, e incrementará su proporción en el total hasta convertirse en la principal fuente de energía hacia el final del siglo.

En la actualidad, el 87% del mercado fotovoltaico está dominado por el silicio cristalino, y el 13% por tecnologías de “lámina delgada”¹. La curva de aprendizaje de las tecnologías fotovoltaicas ha cumplido las predicciones más optimistas del mercado, como se puede comprobar a partir de las tendencias apuntadas ya en 1976 y 1987. El coste de la electricidad solar se ha reducido notablemente y actualmente se aproxima a 1 €/W_p (euros por vatio-pico producidos). Las tendencias calculadas para los próximos años predicen que los costes de generación de energía eléctrica

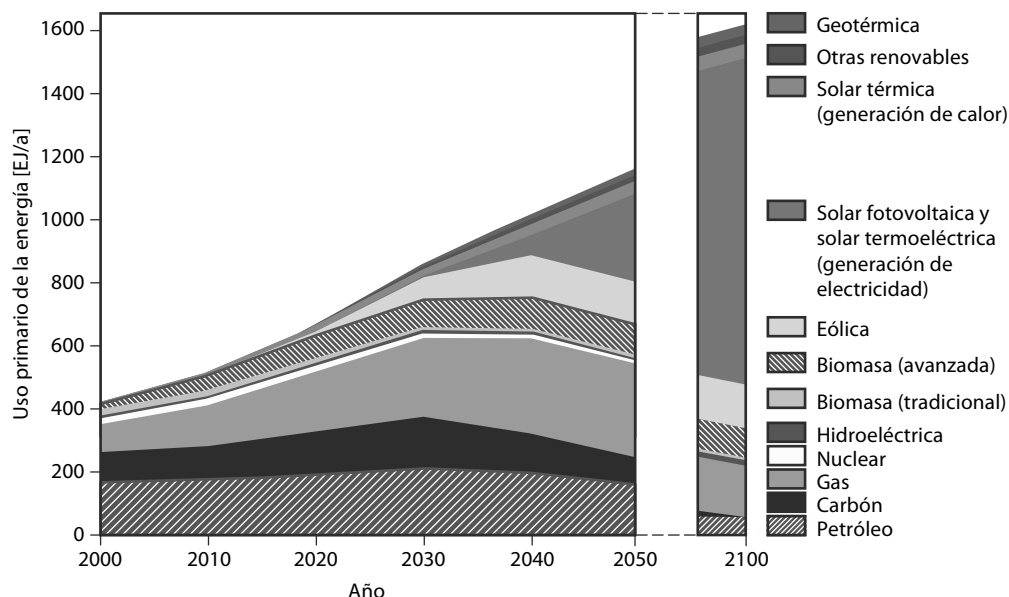


Figura 1.1 Porcentaje de la producción energética global hasta 2050-2100.

Fuente: Consejo Asesor Alemán para el Cambio Global (WBGU) Report, 2003.

mediante tecnologías fotovoltaicas podrían ser menores que los costes comerciales en horas pico en algún momento entre los años 2010 y 2030, dependiendo de los modelos utilizados en la simulación (figura 1.2). La investigación y la producción de energía mediante la tecnología fotovoltaica basada en el silicio han sido ampliamente apoyadas mediante políticas públicas europeas; sin embargo, en el futuro se espera un gran crecimiento en tecnologías fotovoltaicas alternativas, especialmente en aquellas basadas en el desarrollo de nuevos materiales, como los polímeros conjugados conductores².

1.1.1 Diodos emisores de luz y células solares orgánicos: el vínculo de la nanoescala con los gigawatts

Los diodos emisores de luz y las células solares orgánicos están generando un interés cada vez mayor tanto en la comunidad científica como en los mercados energéticos³⁻⁶.

En primer lugar, los fenómenos físicos que están en los fundamentos de su funcionamiento optoelectrónico no son una simple traslación de los procesos de interacción luz-materia de los dispositivos convencionales inorgánicos. En las células y diodos orgánicos ocurren un conjunto de fenómenos nuevos que muestran un fuerte vínculo entre las prestaciones de estos dispositivos y las propiedades morfo-