

Producción científica mundial sobre biodiesel

World scientific production on biodiesel

Andrea Collymore Rodríguez^I; Ricardo Arencibia Jorge^{II}; Armando Blanco García^{III}; Juan A. Araújo Ruiz^{IV}

^ITécnica en Bibliotecología Médica. Red de Estudios Cienciométricos para la Educación Superior. Dirección de Organización y Control de la Actividad Científica. Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC). La Habana. Cuba.

^{II}Máster en Bibliotecología y Ciencia de la Información. Red de Estudios Cienciométricos para la Educación Superior. Dirección de Organización y Control de la Actividad Científica. Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC). La Habana. Cuba.

^{III}Ingeniero Químico. Dirección de Producción. Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC). La Habana. Cuba.

^{IV}Máster en Ciencias de la Información. Red de Estudios Cienciométricos para la Educación Superior. Dirección de Organización y Control de la Actividad Científica. Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC). La Habana. Cuba.

RESUMEN

Se realizó un estudio métrico de la producción científica mundial sobre biodiesel compilada en el *Web of Science*, con vistas a identificar los autores, países, instituciones y revistas más productivas; así como el idioma de los artículos, la tipología documental, las categorías temáticas y los descriptores presentes en los registros. Se obtuvieron 1 022 artículos, firmados por un total de 1 857 autores. El índice de co-autoría fue de 3,04. Los artículos fueron publicados en 232 revistas. Se identificó un total de 565 instituciones de 56 países. Se observó un crecimiento exponencial de la producción científica durante los últimos 15 años.

Palabras clave: Biodiesel, estado del arte, producción científica, indicadores métricos.

ABSTRACT

The current paper is a bibliometric study of the world scientific production on biodiesel compiled in the *Web of Science*, in order to identify the most productive authors, countries, institutions and journals; as well as the languages of the articles, documental typology, ISI subject categories, and keywords presented in the registries. It was obtained a total of 1022 articles, signed by 1857 authors. The co-authorship index was 3.04. The papers were published in 232 journals. A total of 565 institutions from 56 countries were identified. An exponential growth of the scientific production during the last 15 years was observed.

Key words: Biodiesel, state of the art, scientific production, metric indicators.

Todo parece indicar, a pesar de la intensa divulgación internacional que han tenido los temas ambientalistas en los últimos años, que la sociedad no se encuentra enteramente consciente de que su bienestar se relaciona estrechamente con el consumo energético y la inestabilidad de la situación sociopolítica internacional; y mucho menos posee un conocimiento cabal sobre los datos alarmantes y estremecedores relacionados con el consumo de energía a nivel mundial, que pueden dar al traste incluso con la supervivencia de los seres humanos en un período relativamente breve de tiempo.

Para pretender analizar este fenómeno, no se puede dejar de considerar una pregunta clave: ¿qué sucede con las fuentes fundamentales de energía actuales? Se sabe que el 80 % de la energía que se genera proviene de los combustibles fósiles (petróleo, gas, carbón).¹ Ninguno de ellos es renovable y los pronósticos más optimistas estiman el agotamiento del petróleo y el gas en los próximos 80 años, y del carbón de piedra en no más de 300 años.²

La magnitud del problema estriba en las cifras astronómicas de consumo anual de carbón, gas y petróleo. En el año 2002, por ejemplo, se consumieron 8 034 millones de toneladas de petróleo, cifra que representó un aumento del consumo de 1,3 %, con respecto al 0,3 % del año anterior. Nada parece indicar que ese crecimiento se detenga (actualmente se consumen 10 000 millones por año), pues no sólo los países desarrollados consumen más, sino que los menos desarrollados requieren incrementos aún mayores para su propio desarrollo, como es el caso de China, la India o Brasil.³

La elaboración y uso de estos combustibles en el 2002 generó 6,44 billones de toneladas de carbón que ascendieron a la atmósfera en forma de óxido de carbono (CO₂), lo que contribuyó a la ocurrencia de lluvias ácidas, contaminación de todo tipo, cambios climáticos impredecibles, y un aumento de la temperatura global media hasta los 14,52 °C.³

Por lo tanto, queda claro que por el agotamiento de los combustibles fósiles, así como por la emisión de los gases que aceleran el efecto invernadero, es imprescindible introducir o ampliar las fuentes de energía para sustituir gradualmente las actuales, y a la vez, generar menos contaminantes.

EL USO DE LA ENERGÍA ALTERNATIVA

La solución parece encontrarse, en primera instancia, en usar los remanentes de los combustibles fósiles de la forma más eficiente, y al mismo tiempo, reducir o eliminar su ciego derroche en los países ricos; así como en desarrollar paralelamente nuevas fuentes y tecnologías que puedan sustituirlas.

Alternativas hay muchas, como son el uso de la energía nuclear y las energías renovables (solar, eólica, geotérmica, hidráulica, biomasa, etc.).⁴ Sin embargo, cada una de ellas tiene sus ventajas y sus desventajas.

La nuclear, sobre la base del desarrollo de la fusión, puede suministrar energía por más de 5 000 años, pero tiene los graves inconvenientes de los posibles y riesgosos accidentes que pueden ocurrir en las plantas de producción o generación eléctrica; así como la gran contaminación radiactiva que produce en el ambiente - recuérdense casos extremos como los de *Chernovil* y *Tree Miles Island*; el otro gran problema es el manejo de los residuos que genera.⁵

La energía eólica está limitada a zonas muy específicas, como ocurre con la geotérmica y la hidráulica. No obstante, se pudiera aprovechar al máximo a pesar de estar sujetas a los cambios climáticos.⁶

En el caso de la solar, aunque es una fuente de energía casi inagotable (perdurará por más de 5 000 millones de años), su eficiencia de utilización es baja en el proceso de fotosíntesis -la energía que pueden almacenar los vegetales es solo el 0,04 % del total que llega a la tierra-, y aún lo es más en la producción propiamente de calor o electricidad.¹

Actualmente, la más controvertida es la que produce la biomasa —restos de vegetales (ramas, hojas, semillas, etc.), gramíneas (caña de azúcar, maíz, trigo, cebada, avena, sorgo, etc.) y oleaginosas (palma, soya, colza, girasol, maní, etc.)—, debido al interés de los países desarrollados en utilizar fuentes directas de alimentos del hombre y los animales para convertirlos en combustibles, lo cual amenaza seriamente a más de la mitad de la población mundial (3 000 millones de habitantes), que estarían condenados a pasar necesidades o incluso a morir de hambre.^{4,7-9}

No obstante, el uso racional, sostenible, eficaz y económico a gran escala de todas esas alternativas, podría garantizar el suministro de energía para la humanidad en su conjunto, y aún continuar desarrollándose. Los restos de vegetales y gramíneas podrían utilizarse fundamentalmente para obtener alcohol y utilizarlo como carburante puro o mezclado con gasolina en los automotores ligeros, y los restos de oleaginosas para obtener biodiesel transesterificado a partir de los ácidos grasos de los aceites, e igualmente utilizarlos como carburante puro o mezclado en los llamados motores Diesel.

Es lógico también, como ya se ha comenzado a observar, que el agotamiento de los combustibles fósiles conduzca a un aumento de su precio en el mercado, y entonces la producción de alcohol y biodiesel se haga competitiva y tenga como efecto inmediato un aumento de los precios y la posterior escasez de materias primas para producirlas.

El problema, sin embargo, debe enfocarse desde una perspectiva menos pesimista, aunque igualmente compleja: se dispone aún de grandes fuentes de energía, y se debe aprender a transformarlas de manera eficiente para la economía y el

medioambiente, a partir de la inversión de los recursos necesarios en materia de investigación, desarrollo e innovación.

De esta manera, el problema que tiene la humanidad, más que energético, puede considerarse un problema tecnológico que debe solucionarse por las nuevas generaciones, desde perspectivas holísticas e integradoras y posturas eminentemente racionalistas y éticas.

LA INVESTIGACIÓN MUNDIAL SOBRE BIODIESEL

En relación con la investigación mundial sobre biodiesel, existe un amplio movimiento internacional alrededor del tema y en los últimos años, se ha publicado mucha literatura especializada. Indudablemente, constituye un tema clave y estratégico, donde la voluntad política de los países (principalmente las naciones desarrolladas) desempeña un papel primordial a la hora de afrontar racional y éticamente los retos que se avecinan, como bien ha señalado recientemente el Comandante en Jefe, Fidel Castro.¹⁰

La utilización de aceites vegetales como combustibles data de 1900, cuando *Rudolph Diesel* lo utilizó por primera vez en su motor de ignición. Sin embargo, fue en el año 1970 cuando el biodiesel se desarrolló de forma significativa, a raíz de la crisis energética y el elevado costo del petróleo.¹¹

Las primeras pruebas técnicas con este combustible vegetal se realizaron en 1982 en Austria y Alemania, aunque fue en 1985, en Silberberg (Austria), donde se construyó la primera planta piloto productora de biodiesel a partir de las semillas de colza o canola. Alemania, Austria, Canadá, Estados Unidos, Francia, Italia, Malasia y Suecia son pioneros en la producción, ensayo y uso de biodiesel en automóviles.¹²

El biodiesel es un combustible líquido muy similar en propiedades al aceite diesel, pero que se obtiene a partir de productos renovables, como aceites vegetales, soya, canola, maní, ricino, y las grasas animales.

Uno de las primeras revisiones bibliográficas sobre el tema fue desarrollada por dos investigadores de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Nebraska: *Y. Ali y M.A. Hanna*, los cuales realizaron un estudio sobre el uso de aceites vegetales y grasas animales como materia prima para la obtención de combustible. En su trabajo, analizaron técnicas de transesterificación, pirólisis, dilución y micro emulsión, con las cuales se modificaban las propiedades de estos aceites y se transformaban en biodiesel.¹³ Posteriormente, numerosos trabajos se ocuparon de estudiar con profundidad los aspectos relacionados con el origen y la posibilidad de producir biodiesel como energía alternativa.^{11, 14, 15}

Con respecto al estudio de la producción científica mundial sobre biodiesel, Pinto y sus colaboradores, en Brasil, realizaron una profunda revisión sobre el tema, que comprendió elementos métricos.¹⁶ Sin embargo, aún no se ha realizado un estudio métrico actualizado, basado en la producción científica recogida en las principales bases de datos que utilizan los científicos a nivel mundial, que son precisamente las que distribuye el antiguo Instituto de Información Científica de Philadelphia, Estados Unidos, por medio del *Web of Science*, su versión en línea.

Con el presente estudio, se pretende determinar el estado del arte de la investigación sobre biodiesel, sobre la base del estudio métrico de los artículos compilados en estas bases de datos.

MÉTODOS

Para la realización de la presente investigación, se utilizó como fuente de información primaria el *Web of Science*, servicio en línea que brinda el Institute for Scientific Information (actualmente Thomson Scientific) radicado en Filadelfia, Estados Unidos, y que cubre más de 8 000 títulos de publicaciones seriadas comprendidas en las bases de datos *Science Citation Index®*, *Social Sciences Citation Index®* y *Arts & Humanities Citation Index®*.

Se empleó una estrategia de búsqueda muy general, que consistió en la identificación de la palabra *biodiesel* en todos los campos de la base de datos. Esta estrategia garantizó una cobertura global del tema, y permitió la recuperación de todos los artículos de investigación, revisiones bibliográficas, noticias, resúmenes de eventos y otros tipos de artículos publicados en revistas de corriente principal que trataran específicamente o al menos se refirieran al biodiesel.

Se elaboró una base de datos bibliográfica con el programa *EndNote®*, hacia la cual se importaron los registros recuperados con vistas a la normalización (control de errores) de los campos a analizar en el estudio (*Author*, *Author Address*).

Una vez normalizados los campos, se procedió a la creación de las listas de autores, instituciones, países y revistas más productivas, así como de la producción anual, la tipología documental, las categorías temáticas del ISI presentes en los registros y los descriptores utilizados para su indización. Estos datos se exportaron a ficheros de texto que, posteriormente, se procesaron con el programa *Microsoft Excel®* para generar las tablas y gráficos correspondientes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La producción científica mundial sobre biodiesel creció a lo largo de los últimos 15 años, y fundamentalmente a partir del comienzo del siglo XXI ([figura 1](#)). Se recuperaron un total de 1 022 artículos publicados en el período 1992-2006, de los cuales más del 80 % (839 artículos) se publicaron durante el presente siglo. El coeficiente de determinación observado ($R^2 = 0,89$) evidenció a lo largo del período una significativa tendencia exponencial de crecimiento, típica de los campos o temáticas de investigación en desarrollo, y ello demuestra la intensidad con la que se realizan las investigaciones a nivel internacional.

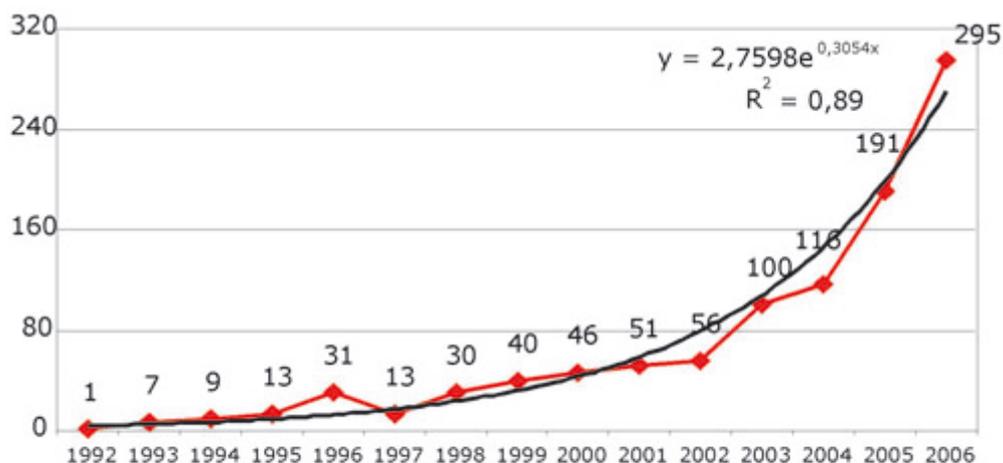


Fig.1. Comportamiento anual de la producción científica mundial sobre biodiesel en revistas de la corriente principal.

Uno de los aspectos más interesantes observados en el presente estudio fue la distribución de la tipología documental sobre biodiesel registrada en las bases de datos de *Thomson Scientific*, donde se destaca no sólo que el 80 % fueran artículos de investigación original (810 artículos), sino que el segundo tipo de documento más frecuente fueron las noticias (87 noticias, 9 %) (figura 2). Sin lugar a dudas, esto demuestra el estado emergente de la investigación sobre el tema y el amplio debate científico que ha generado su posible utilización a escala global, fruto de variadas críticas y aproximaciones desde múltiples puntos de vista en el entorno académico.

De igual forma, se pudo apreciar un contraste entre la distribución idiomática observada en la muestra analizada y las típicas distribuciones derivadas de estudios de revistas de la corriente principal (tabla 1). Si bien se aprecia el clásico dominio de la lengua inglesa por sobre el resto de los idiomas (92,2 %), lo cierto es que el 7,8 % de los artículos restantes fue escrito en otros 12 idiomas, producto de su publicación en revistas europeas, latinoamericanas y asiáticas que aceptan contribuciones en idiomas diferentes al inglés. Esta variedad idiomática se valoró como posible indicador de una amplia distribución geográfica en la producción de artículos, un aspecto que debía hacerse aún más evidente tras el análisis posterior del campo *Author Address* en los registros analizados.

Tabla 1. Distribución de los artículos según idiomas

Idioma*	Artículos	%
Inglés	942	92,17
Alemán	40	3,91
Portugués	6	0,59
Chino	5	0,49
Polaco	4	0,39
Español	4	0,39
Francés	3	0,29
Esloveno	3	0,29
Japonés	2	0,20

Checo	1	0,10
Húngaro	1	0,10
Italiano	1	0,10
Rumano	1	0,10

*En 6 de los artículos no pudo identificarse el idioma.

FRENTES DE INVESTIGACIÓN TEMÁTICOS

Los artículos sobre biodiesel se publicaron en 232 revistas pertenecientes a 66 de las 224 categorías temáticas establecidas por *Thomson Scientific*. De ellas, un total de 25 registraron una proporción superior al 1 % (más de 10 artículos) de la cantidad total de artículos, y ello evidencia la pluralidad temática de los frentes de investigación desde los cuales se ha estudiado la obtención, producción y uso del biodiesel (tabla 2).

Tabla 2. Categorías temáticas del ISI con mayor producción científica

Categorías temáticas del ISI*	Artículos	%
ENERGY & FUELS	267	26,13
ENGINEERING, CHEMICAL	247	24,17
FOOD SCIENCE & TECHNOLOGY	198	19,37
BIOTECHNOLOGY & APPLIED MICROBIOLOGY	159	15,56
CHEMISTRY, APPLIED	140	13,70
AGRICULTURAL ENGINEERING	134	13,11
CHEMISTRY, MULTIDISCIPLINARY	115	11,25
ENVIRONMENTAL SCIENCES	64	6,26
CHEMISTRY, PHYSICAL	61	5,97
BIOCHEMISTRY & MOLECULAR BIOLOGY	51	4,99
ENGINEERING, MECHANICAL	41	4,01
NUTRITION & DIETETICS	38	3,72
THERMODYNAMICS	34	3,33
MULTIDISCIPLINARY SCIENCES	28	2,74
ENGINEERING, ENVIRONMENTAL	24	2,35
MECHANICS	23	2,25
PHYSICS, NUCLEAR	22	2,15
CHEMISTRY, ANALYTICAL	17	1,66
ECOLOGY	17	1,66
ENGINEERING, INDUSTRIAL	17	1,66
AGRICULTURE, SOIL SCIENCE	16	1,57
METEOROLOGY & ATMOSPHERIC SCIENCES	14	1,37
ENGINEERING, PETROLEUM	13	1,27
AGRONOMY	12	1,17
AGRICULTURE, MULTIDISCIPLINARY	11	1,08

*Total de categorías temáticas de Thomson Scientific: 66
(representan el 29,5 % del total de categorías temáticas).

Otro aspecto a destacar, lo constituye el hecho que de las 8 categorías temáticas que cubrieron la mayor cantidad de artículos, 7 evidenciaron un patrón de crecimiento exponencial durante el período 2000-2006, debido al significativo valor del coeficiente de determinación ($> 0,7$) en todos los casos ([figura 3](#)).

En ese sentido, las categorías *Biotechnology & Applied Microbiology* ($R^2 = 0,971$), *Chemistry (Multidisciplinary)* ($R^2 = 0,968$), y *Energy & Fuels* ($R^2=0,965$), fueron las más frecuentes, aunque fue la categoría *Engineering, Chemical* la que mostró la más alta producción en el último año evaluado. Es inobjetable que los frentes temáticos relacionados con la energía y combustibles, biotecnología, ingeniería química y agropecuaria, química básica y aplicada, y ciencia y tecnología de los alimentos, constituyen los pilares de la investigación internacional sobre biodiesel.

La única excepción de este grupo más productivo fue la categoría *Environmental Sciences*, aspecto que llama sobremanera la atención, por cuanto el impacto ambiental que lleva implícito la obtención, producción y uso del biodiesel es un aspecto esencial que debe considerar cualquier tipo de investigación sobre el tema. Tal vez este comportamiento, o más bien los vacíos existentes en la categoría *Environmental Sciences*, sea la causa de las múltiples críticas y protestas que enfrenta internacionalmente el tema del biodiesel, pues ha hecho comparables las políticas de producción de biodiesel tomadas por países como los Estados Unidos, carentes de visión ecológica y de posibilidades de un desarrollo global sostenible, con la ausencia a nivel académico de una política estable de investigación orientada hacia la utilización del biodiesel como parte de una estrategia ambiental de supervivencia de la especie humana, y no como un nuevo producto de las sociedades de consumo.

Con respecto a las publicaciones en las cuales se recogen las investigaciones, un núcleo integrado por las 20 más productivas (> 10 artículos), que constituyó el 8,6 % del total de revistas, produjo 574 artículos (56,2 % del total de artículos). Entre las más sobresalientes, en su mayoría norteamericanas, se destaca la *Journal of the American Oil Chemist Society*, que publicó casi el 10 % del total de artículos sobre biodiesel.

El 90 % de las revistas más productivas se editaron en los Estados Unidos y Europa, ambos con igual cantidad, mientras que sólo 2 provinieron de países asiáticos: *Journal of Scientific & Industrial Research*, de la India; y *Journal of Bioscience and Bioengineering*, de Japón. No hubo representación latinoamericana entre las revistas más productivas.

Tabla 3. Revistas más productivas

Revistas	País	Artículos	%
Journal of the American Oil Chemists Society	USA	95	9,30
Abstracts of Papers of the American Chemical Society	USA	48	4,70
Energy & Fuels	USA	47	4,60
Bioresource Technology	HOL	44	4,31
Fuel	HOL	42	4,11

Transactions of the Asae	USA	39	3,82
Zuckerindustrie	ALE	32	3,13
European Journal of Lipid Science and Technology	ALE	32	3,13
Biomass & Bioenergy	UK	30	2,94
Industrial & Engineering Chemistry Research	USA	25	2,45
Energy Conversion and Management	UK	21	2,05
Journal of Scientific & Industrial Research	IND	17	1,66
Biocycle	USA	16	1,57
Applied Biochemistry and Biotechnology	USA	14	1,37
Chemical & Engineering News	USA	14	1,37
Journal of Molecular Catalysis B-Enzymatic	HOL	14	1,37
Renewable Energy	UK	13	1,27
Fuel Processing Technology	HOL	11	1,08
Journal of Bioscience and Bioengineering	JAP	10	0,98
Energy Sources	USA	10	0,98

Total de artículos: 1022

Total de revistas: 232

Por su parte, el estudio de los descriptores y palabras clave que aparecieron con mayor frecuencia en los registros analizados, permitió identificar una serie de aceites vegetales que se han analizado regularmente como posible fuente para la obtención de biodiesel. Entre estos se destacan los aceites derivados de la soya (9,88 %), la colza (7,83 %), el girasol (4,21 %), y algunos obtenidos de familias de palmáceas (tabla 4).

Es necesario destacar que la soya es una legumbre oleaginosa que constituye una de las opciones más saludables y balanceadas, según sus contenidos para la alimentación humana. La soya es originaria de China, donde se utilizó hace miles de años atrás como antibiótico para tratar heridas y reducir la hinchazón. Se introdujo en Europa muchos años después, en 1712, por el botánico alemán *Engelbert Kaempfer* (1651-1716). Posee un alto contenido de proteínas (37 % de su composición, 2 y 3 veces más que la carne), y es fuente de hidratos de carbono (23,5 %), fibra (12 %) y lípidos (23,5 %), sobre todo de los llamados ácidos grasos polisaturados, sin olvidar que posee escasa grasa y se encuentra libre de colesterol.¹⁷

Tabla 4. Descriptores y palabras clave más frecuentes en los artículos estudiados

Descriptores y palabras clave más utilizadas	Artículos	%	Descriptores y palabras clave más utilizadas	Artículos	%
biodiesel	500	48,92	FUELS	33	3,23
transesterification	192	18,79	BIODIESEL PRODUCTION	30	2,94
VEGETABLE-OILS	131	12,82	PERFORMANCE	29	2,84
ESTERS	110	10,76	RAPESEED	28	2,74

OIL	102	9,98	viscosity	28	2,74
SOYBEAN OIL	101	9,88	FUEL PRODUCTION	28	2,74
RAPESEED OIL	80	7,83	ENGINE	28	2,74
DIESEL FUEL	80	7,83	METHYL	27	2,64
FUEL	78	7,63	OXIDATION	25	2,45
EMISSIONS	67	6,56	IMMOBILIZED LIPASE	25	2,45
METHYL-ESTERS	65	6,36	ETHANOL	25	2,45
KINETICS	64	6,26	SUPERCRITICAL METHANOL	25	2,45
BIODIESEL FUEL	52	5,09	GLYCEROL	24	2,35
Lipase	50	4,89	diesel engine	24	2,35
esterification	48	4,70	TALLOW	24	2,35
CANDIDA-ANTARCTICA LIPASE	46	4,50	TRANS-ESTERIFICATION	22	2,15
DIESEL	45	4,40	ENGINES	22	2,15
SUNFLOWER OIL	43	4,21	biomass	21	2,05
ALCOHOLYSIS	43	4,21	VEGETABLE-OIL	21	2,05
TRIGLYCERIDES	42	4,11	BLENDS	20	1,96
vegetable oil	41	4,01	biofuels	20	1,96
METHANOL	39	3,82	alternative fuel	20	1,96
methyl esters	39	3,82	PALM OIL	20	1,96
CONVERSION	37	3,62	WATER	20	1,96
COMBUSTION	37	3,62	DIESEL FUELS	20	1,96
methanolysis	34	3,33	oils	20	1,96

La soya es la única legumbre que contiene los 9 aminoácidos esenciales para la salud humana en la proporción correcta, por lo que constituye un alimento muy completo, rico en vitaminas A, D, E y algunas del complejo B, y que además posee minerales como potasio, fósforo, calcio, magnesio y hierro, entre otros. El hecho de que un alimento tan promisorio para el fomento de la salud y la buena nutrición de la población mundial, se utilice como materia prima para la producción de biocombustibles, con el pretexto de una menor generación de contaminantes durante su utilización, es uno de los elementos que más airadas críticas ha despertado en la opinión pública de los países en desarrollo. En los Estados Unidos, por ejemplo, el 80 % de la producción doméstica de biodiesel se genera a partir del aceite de soya.¹⁸ Sin lugar a dudas, el impulso que ha dado el gobierno de los Estados Unidos a la producción de biodiesel sobre la base de fuentes de alimentación, sumado al hecho de que es precisamente el aceite de soya el más estudiado con estos fines por las universidades norteamericanas, de acuerdo con la presente exploración, convierte este aspecto en un tema que debe discutirse seriamente por la comunidad científica mundial, en aras de evitar una crisis que ya ha comenzado a mostrar sus primeras señales de alarma, como bien demuestran las urgentes reuniones convocadas por las Naciones Unidas ante la inminente escasez de alimentos.

La cinética, conversión, combustión, y su rendimiento, son algunos de los aspectos más tratados en el estudio del biodiesel obtenido de aceites vegetales, así como las emisiones de contaminantes al ambiente durante su producción y utilización. La transesterificación como proceso para la obtención de biodiesel (18,79 %) constituyó el tema más tratado en toda la producción científica desde 1992 hasta el presente.

PAÍSES, INSTITUCIONES Y AUTORES MÁS PRODUCTIVOS

Un total de 565 instituciones de 56 países fueron responsables de la producción científica mundial sobre biodiesel. Entre los aspectos que más llaman la atención en el presente trabajo, se encuentra la aparición entre los 20 países más productivos de naciones como la India, Turquía, Austria, Grecia, Taiwán, República Checa, Corea del Sur y Malasia (tabla 5). El hecho de que la producción científica se encuentre tan extendida, evidencia una clara tendencia a la consideración del biodiesel como fuente de energía viable, y demuestra que su obtención constituye un tema prioritario en la agenda científica de muchos países.

Estados Unidos fue el responsable del 26,13 % de los artículos. Un total de 27 países de Europa y 12 países asiáticos produjeron al menos 1 artículo durante el período; en contraste con la baja cifra de países de América Latina y el Caribe, donde sólo 5 naciones: Brasil, Argentina, Nicaragua, Uruguay y Chile, encabezadas por el gigante sudamericano con 35 artículos (3,42 %), presentaron aportes a la investigación mundial sobre biodiesel. En Brasil, es conocida la política nacional en función de la producción de biodiesel como estrategia a mediano y largo plazo para enfrentar la crisis económica internacional. Su objetivo ha sido siempre independizar la economía brasileña de la especulación y la inestabilidad existente en el mercado mundial. Sin embargo, el uso de fuentes potenciales de alimentos para la obtención de biodiesel contrasta con la alta tasa de pobreza y la desproporción entre ricos y pobres existente en ese país, a pesar de las grandes riquezas naturales que posee.

Tabla 5. Países con mayor producción de artículos

País*	Artículos	%	País	Artículos	%
Estados Unidos	267	26,13	Argentina	4	0,39
China	65	6,36	Jordania	4	0,39
Japón	62	6,07	Filipinas	4	0,39
India	55	5,38	Rumanía	4	0,39
Alemania	50	4,89	Benin	3	0,29
Turquía	47	4,60	Dinamarca	3	0,29
España	40	3,91	Gales	3	0,29
Canadá	37	3,62	Egipto	2	0,20
Brasil	35	3,42	Hungría	2	0,20
Italia	30	2,94	Nicaragua	2	0,20
Inglaterra	27	2,64	Nigeria	2	0,20
Austria	24	2,35	Escocia	2	0,20
Grecia	17	1,66	Singapur	2	0,20

Francia	16	1,57	Eslovaquia	2	0,20
Taiwán	16	1,57	Uruguay	2	0,20
República Checa	14	1,37	Yugoslavia	2	0,20
Corea del Sur	12	1,17	Bangladesh	1	0,10
Malasia	11	1,08	Chile	1	0,10
Irlanda	10	0,98	Croacia	1	0,10
Lituania	10	0,98	Islandia	1	0,10
Bélgica	9	0,88	Nueva Zelanda	1	0,10
Finlandia	6	0,59	Irlanda del Norte	1	0,10
Holanda	6	0,59	Paquistán	1	0,10
Portugal	6	0,59	Serbia	1	0,10
Australia	5	0,49	Sudán	1	0,10
Polonia	5	0,49	Suecia	1	0,10
Eslovenia	5	0,49	Túnez	1	0,10
Tailandia	5	0,49	Ucrania	1	0,10

* En 134 artículos no se pudo identificar el país.

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos fue la entidad más productiva, y generó el 6,36 % de la producción científica mundial sobre el tema. Un total de 11 instituciones norteamericanas, principalmente de universidades de los estados del sur de la unión, se encontraron entre las 37 instituciones con más de 5 artículos publicados en revistas de la corriente principal. Alemania, Canadá y España con 4 instituciones cada uno, Japón con 3, y China y Turquía con 2, fueron los países que mayores aportes realizaron a esta clasificación (tabla 6).

Tabla 6. Instituciones con mayor número de artículos

Instituciones	Artículos	%
Departamento de Agricultura de los Estados Unidos	65	6,36
Universidad Estatal de Iowa, Estados Unidos	32	3,13
Instituto de Tecnología de la India	24	2,35
Universidad de TSING HUA, China	23	2,25
Universidad de Nebraska, Estados Unidos	21	2,05
Universidad de Graz, Austria	20	1,96
Universidad de Idaho, Estados Unidos	19	1,86
Universidad de Missouri, Estados Unidos	16	1,57
Universidad de Kobe, Japón	15	1,47
Universidad de Kyoto, Japón	14	1,37
Universidad Técnica Nacional de Atenas, Grecia	13	1,27
Universidad Estatal de Penn, Estados Unidos	13	1,27
Universidad de Georgia, Estados Unidos	13	1,27

Universidad de Pardubice, República Checa	13	1,27
Universidad de Illinois, Estados Unidos	10	0,98
Universidad Tecnológica de Estambul, Turquía	10	0,98
Universidad Agraria de Lituania, Lituania	9	0,88
Instituto Municipal de Investigaciones Tecnológicas de Osaka, Japón	9	0,88
Universidad de Gottingen, Alemania	9	0,88
Universidad de Toronto, Canadá	9	0,88
Laboratorio Nacional de Energías Renovables, Estados Unidos	8	0,78
Universidad de Jaen, España	8	0,78
Universidad George Mason, Estados Unidos	7	0,68
Universidad Tecnológica de Henan, China	7	0,68
Universidad de Selcuk, Turquía	7	0,68
Universidad de Brasilia, Brasil	7	0,68
Universidad Complutense de Madrid, España	7	0,68
Universidad de Ottawa, Canadá	7	0,68
Universidad de Dalhousie, Canadá	6	0,59
Instituto de Tecnología e Ingeniería de Biosistemas, Alemania	6	0,59
Universidad de Ciencias Aplicadas de Coburg, Alemania	6	0,59
Universidad de Birmingham, Inglaterra	6	0,59
Universidad de Castilla-La Mancha, España	6	0,59
Universidad de Córdoba, España	6	0,59
Universidad de Jena, Alemania	6	0,59
Universidad de Minnesota, Estados Unidos	6	0,59
Universidad de Saskatchewan, Canadá	6	0,59

Total de instituciones: 565

Total de países: 56

En esta, se encontraron sólo 5 instituciones iberoamericanas: las universidades de Jaen, Castilla-La Mancha, Córdoba, y la complutense de Madrid, en el caso de España; y la Universidad de Brasilia, en la capital de Brasil.

En los 1022 artículos analizados, se identificaron 1 857 autores que generaron 3 105 firmas, para un índice de coautoría de 3,04. Sólo 24 autores publicaron más de 10 artículos durante el período, y el más productivo generó el 2,15 % del total de los materiales estudiados (tabla 7).

Tabla 7. Autores más productivos

Autores	Artículos	%
Knothe, G.	22	2,15
Van Gerpen, J. H.	22	2,15

Foglia, T. A.	21	2,05
Dunn, R. O.	17	1,66
Fukuda, H.	16	1,57
Liu, D. H.	16	1,57
Du, W.	15	1,47
Mittelbach, M.	15	1,47
Xu, Y. Y.	13	1,27
Kondo, A.	13	1,27
Haas, M. J.	13	1,27
Boehman, A. L.	13	1,27
Hanna, M. A.	12	1,17
Marmer, W. N.	12	1,17
Goodrum, J. W.	12	1,17
Canakci, M.	12	1,17
Saka, S.	12	1,17
Komers, K.	10	0,98
Suppes, G. J.	10	0,98
Lois, E.	10	0,98
Kusdiana, D.	10	0,98
Krahl, J.	10	0,98
Thompson, J. C.	10	0,98
Skopal, F.	10	0,98

Total real de autores: 1857

Total de firmas: 3105

Total de artículos: 1022

Índice de coautoría: 3,04

Este aún bajo nivel de asociación, sobre todo si se consideran los cada vez más elevados índices de colaboración de la Ciencia a escala mundial, unida a la existencia de un núcleo muy reducido de autores líderes (1,3 % del total de autores), demuestra que se está en presencia de un frente de investigación emergente.

CONSIDERACIONES FINALES

Para Cuba, inmersa en una profunda transformación energética, que constituye un aspecto priorizado en su gestión gubernamental, así como para el resto de los países en desarrollo, resulta de vital importancia el estudio de los aspectos relacionados con las fuentes de energía renovables. De igual forma, es primordial el reconocimiento de los países que al respecto marcan la pauta con respecto a la investigación, desarrollo e innovación; el análisis de los factores que pudieran influir en la decisión de dedicar recursos a la investigación sobre nuevas fuentes de energía, que pueden sustituir o contribuir a la explotación racional y sostenible de las reservas energéticas existentes actualmente; así como la valoración de políticas

y estrategias para afrontar la escasez de alimentos y combustibles que se avecina a las futuras generaciones.

Se estudió un tema recurrente en los grandes medios de comunicación durante los últimos años: la obtención y producción de biodiesel; y se demostró que desde la última década del siglo XX y principalmente a partir del siglo XXI, existe una intensa actividad de investigación en entornos académicos sobre un tema en franca emergencia, un crecimiento exponencial y amplias perspectivas de desarrollo futuro.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto *Red de Estudios Cuantitativos sobre la Educación Superior Cubana*, 2006-2008, No. 6179, del Ministerio de Educación Superior; y al programa doctoral sobre Documentación e Información Científica de la Universidad de Granada, por el acceso a las fuentes de información utilizadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Villalonga JC. Greenpeace Solar. Disponible en: <http://www.construir.com/ECONSULT/Construr/Nro60/document/greenpea.htm> [Consultado: 21 de mayo de 2008].
2. Universidad de Uppsala. El protocolo de Uppsala. Disponible en: <http://www.crisisenergetica.org/forum/print.php?id=9705> [Consultado: 23 de mayo de 2008].
3. Energglobal. Guía mundial de la energía. Disponible en: <http://paises.enerclub.es/rankingpa%EDses/Petr%F3leo%3Econsumodepetr%F3leo-56/index.html> [Consultado: 17 mayo de 2008].
4. Frondel M, Peters J. Biodiesel: A new Oildorado? *Energy Policy* 2007; 35(3): 1675-84.
5. Planeta-Sedna. La energía nuclear. Disponible en: <http://www.portalplanetasedna.com.ar/descargas.htm> [Consultado: 13 de mayo de 2008].
6. Wikipedia. Energía eólica. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADae%C3%B3lica> [Consultado: 11 mayo de 2007].
7. Lois E. Definition of biodiesel. *Fuel* 2007; 86(7): 1212-3.
8. Marchetti JM, Miguel VU, Errazu AF. Possible methods for biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2007; 11(6): 1300-11.
9. Suárez PAZ, Meneghetti SMP, et al. Biodiesel and politics of Brazilian C&T. *Química* 2006; 29(6): 1157.

10. Castro Ruz F. Condenados a muerte prematura por hambre y sed más de 3 mil millones de personas en el mundo. Disponible en: <http://www.cuba.cu/gobierno/discursos/2007/esp/f280307e.html> [Consultado: 13 de junio de 2008].
11. Knothe G, Dunn RO, Bagby MO. Biodiesel: The use of vegetable oils and their derivatives as alternative diesel fuels. En: Sara and J. Woodward (eds.). Fuels and Chemicals from Biomass. Washington DC: American Chemical Society; 1997. (ACS Symposium Series 666). p.172-208.
12. Korbitz W. Biodiesel production in Europe and North America, an encouraging prospect. Renewable Energy 1999;16(1-4):1078-83.
13. Ali Y, Hanna MA. Alternative Diesel Fuels from Vegetable-Oils. Bioresource Technology 1994;50(2):153-63.
14. Karaosmanoglu F. Vegetable oil fuels: A review. Energy Sources 1999;21(3):221-31.
15. Ma FR, Hanna MA. Biodiesel production: a review. Bioresource Technology 1999;70(1):1-15.
16. Pinto AC, Guarieiro LLN, et al. Biodiesel: An overview. Journal of the Brazilian Chemical Society 2005;16(6B):1313-30.
17. Chulin Hernández R. Soya, elíxir de la vida. Disponible en: <http://www.saludymedicinas.com.mx/nota.asp?id=1945> [Consultado: 23 de mayo de 2008].
18. National Biodiesel Board. Sustainability fact sheet 2008. Disponible en: <http://biodiesel.org/resources/sustainability/pdfs/SustainabilityFactSheet.pdf> [Consultado: 10 de mayo de 2008].

Recibido: 12 de octubre de 2008.
Aprobado: 17 de octubre de 2008.

Lic. *Ricardo Arencibia Jorge*. Red de Estudios Cienciométricos para la Educación Superior. Departamento de Información Científica. Centro Nacional de Investigaciones Científicas. Avenida 25 y Calle 158, Cubanacán, Playa. Ciudad de La Habana, Cuba. AP 6414. Correo electrónico: ricardo.arencibia@cnic.edu.cu

Ficha de procesamiento

Clasificación: Artículo original.

Términos sugeridos para la indización

Según DeCS¹

COMBUSTIBLES; ACEITES COMBUSTIBLES; COMBUSTIBLES FÓSILES;
COMBUSTIBLES NO CONTAMINANTES; PUBLICACIONES PERIÓDICAS;
BIBLIOMETRIA; INVESTIGACION; BASES DE DATOS BIBLIOGRAFICAS; ANÁLISIS
CUANTITATIVO; ANÁLISIS CUALITATIVO.

FUELS; FUEL OILS; FOSSIL FUELS; NON-CONTAMINATING FUELS; PERIODICALS;
BIBLIOMETRICS; RESEARCH; DATABASES, BIBLIOGRAPHIC; QUANTITATIVE
ANALYSIS; QUALITATIVE ANALYSIS.

Según DeCI²

PUBLICACIONES PERIÓDICAS; FLUJO DE INFORMACION/análisis; BIBLIOMETRIA;
ARTICULOS CIENTIFICOS/análisis; INVESTIGACIÓN; BASES DE DATOS
BIBLIOGRAFICAS; ANÁLISIS CUANTITATIVO; ANÁLISIS CUALITATIVO.

PERIODICALS; INFORMATION FLOW/analysis; BIBLIOMETRICS; SCIENTIFIC
ARTICLES/analysis; RESEARCH, BIBLIOGRAPHIC DATABASE; QUANTITATIVE
ANALYSIS; QUALITATIVE ANALYSIS.

¹BIREME. Descriptores en Ciencias de la Salud (DeCS). Sao Paulo: BIREME, 2004.

Disponible en: <http://decs.bvs.br/E/homepagee.htm>

²Díaz del Campo S. Propuesta de términos para la indización en Ciencias de la Información. Descriptores en Ciencias de la Información (DeCI). Disponible en: <http://cis.sld.cu/E/tesauro.pdf>

Copyright: © ECIMED. Contribución de acceso abierto, distribuida bajo los términos de la Licencia Creative Commons Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual 2.0, que permite consultar, reproducir, distribuir, comunicar públicamente y utilizar los resultados del trabajo en la práctica, así como todos sus derivados, sin propósitos comerciales y con licencia idéntica, siempre que se cite adecuadamente el autor o los autores y su fuente original.

Cita (Vancouver): Collymore Rodríguez A, Arencibia Jorge R, Blanco García A, Araújo Ruiz JA. Producción científica mundial sobre biodiesel. Acimed 2008; 18(5). Disponible en: Dirección electrónica de la contribución. [Consultado: día/mes/año].



Fig. 2. Tipología documental de los trabajos sobre biodiesel.

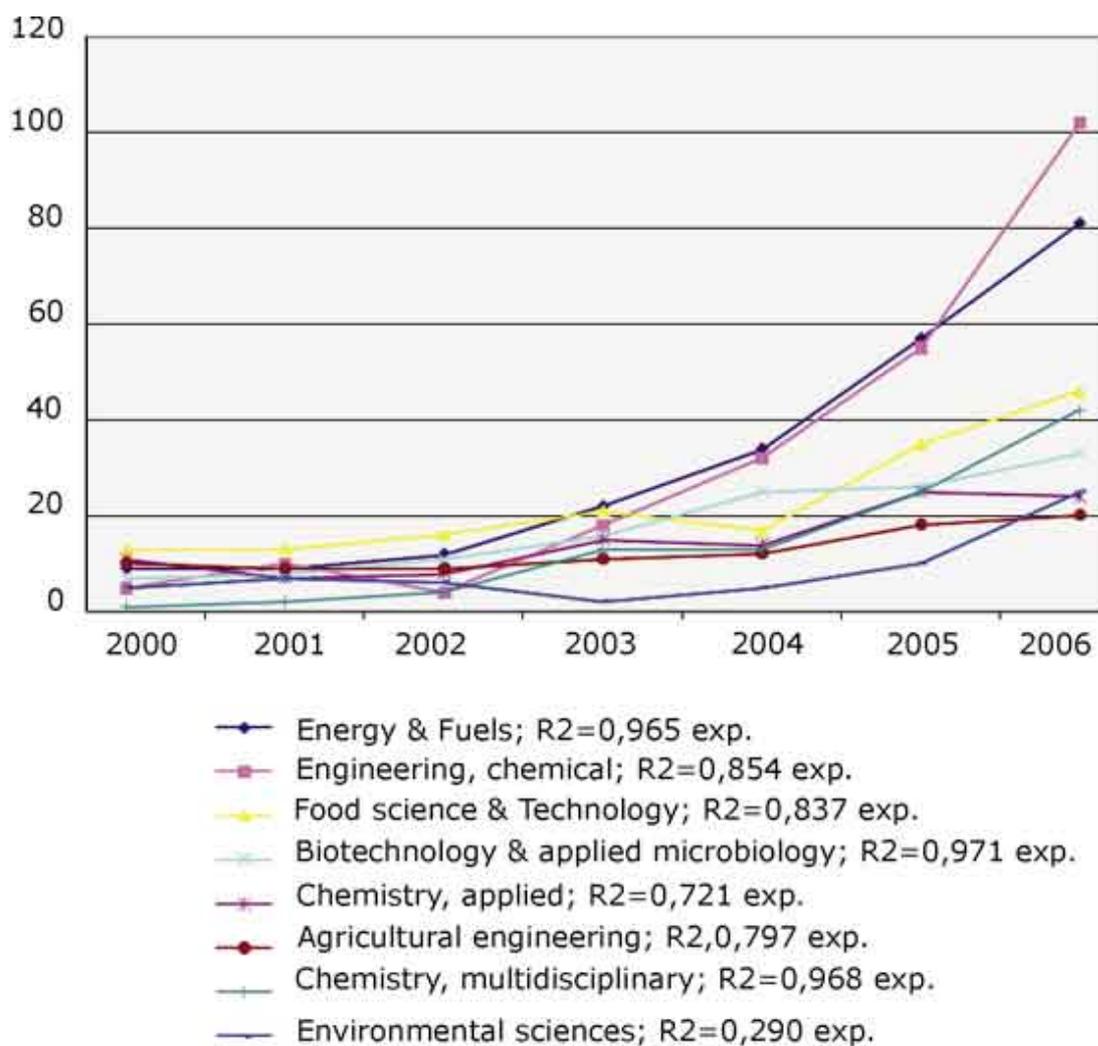


Fig. 3. Tendencias de crecimiento de la producción científica sobre biodiesel en las categorías temáticas más representativas durante el período 2000-2006.