

Petróleo y biotecnología: análisis del estado del arte y tendencias

Oil and biotechnology: analysis of the state of the art and trends

Sheyla Bonell Rosabal

Licenciada en Bibliotecología y Ciencias de la Información. Grupo Sistemas de Información. Unión Cuba Petróleo. La Habana. Cuba.

RESUMEN

Se caracterizan las biotecnologías con aplicación en el sector petrolero, que pudieran constituir oportunidades de desarrollo para Unión Cubapetróleo, la empresa cubana que coordina las actividades de exploración, refinación y comercialización de este producto en Cuba. Para esto se exploró la base de datos *Pubmed*. Se obtuvieron 462 artículos sobre el tema. De estos, se seleccionaron 251 correspondientes al período 2003-2007. Se identificaron los países, instituciones, investigadores líderes; así como las principales líneas de desarrollo a nivel mundial. Para ello se emplearon software como *Procite*, *Microsoft Excel*, *Ucinet* y *Viscovery SOMine*. Las tecnologías registradas en Cuba en etapa de investigación, pero con importantes proyecciones, fueron: la recuperación mejorada del petróleo, la obtención de biodiesel y biogás y la eliminación de los metales pesados del petróleo por microorganismos. La tecnología reconocida en etapa de implantación en la industria nacional fue la biorremediación. Existe una oportunidad interesante para Cuba, específicamente para la Unión Cubapetróleo, en el desarrollo de la industria biotecnológica aplicada al sector petrolero, sobre todo, si se considera su gran desarrollo en nuestro país con el propósito de mejorar la salud humana, animal y el desarrollo del sector agrícola.

Palabras clave: Petróleo, biotecnología.

ABSTRACT

The biotechnologies with application in the oil sector that could constitute development opportunities for the Unión Cubapetroleo, the Cuban company that coordinates the exploration, refinement and commercialization activities of this product in Cuba, are characterized. To this end, the *Pubmed* database was explored. A total of 462 articles on the topic were obtained. Of these, 251 corresponding to the period 2003-2007 were

selected. The leading countries, institutions, and researchers were identified; as well as the main development lines at world level. Softwares like *Procite*, *Microsoft Excel*, *Ucinet* and *Viscovery SOmine* were used. The technologies registered in Cuba at investigation stage, but with important projections, were: the improved oil recovery, the obtaining of biodiesel and biogas and the elimination of the heavy metals from oil by microorganisms. The technology recognized at implementation stage in the national industry was the bioremediation. There exists an interesting opportunity for Cuba, specifically for the Unión Cubapetróleo, in the development of the biotechnological industry applied to the oil sector, mainly, if it is considered its great development in our country aimed at improving human and animal health, and at developing the agricultural sector.

Key words: Oil, biotechnology.

La Unión Cubapetróleo (CUPET) es la empresa estatal del Ministerio de la Industria Básica (MINBAS) que coordina las actividades de exploración, refinación y comercialización del petróleo en el país. Como corporación posee un sistema que consta de 38 empresas dedicadas a la producción del petróleo y sus derivados, refinación y su comercialización en el mercado nacional, una empresa de ingeniería, un centro de investigaciones, una empresa de lubricantes, empresas dedicadas a la construcción y reparación de instalaciones y oleoductos, y una empresa de mantenimiento, entre otras que prestan servicios a la industria.

Hoy día, el sector del petróleo enfrenta retos como la disminución de las reservas petroleras, los precios variables del crudo, el aumento en la demanda de combustibles limpios y petroquímicos; así como una normativa internacional más estricta para la conservación del medio ambiente.¹ CUPET desarrolla sus actividades en estas condiciones del escenario internacional petrolero actual que, unidas a fenómenos como el progreso científico y tecnológico y la globalización, entre otros, conllevan a nuevas oportunidades y desafíos para las naciones, fundamentalmente las latinoamericanas y del Caribe, debido a la demanda de desarrollo de la capacidad para proyectarse en un mundo en constante cambio.

Los objetivos generales que se ha planteado CUPET para el 2008, mejorar la calidad del crudo nacional y elevar el nivel de calidad de los combustibles para aumentar su eficiencia y disminuir el impacto ambiental,² pueden alcanzarse por medio de biotecnologías aplicadas a la industria del petróleo como una alternativa complementaria para la solución de los mencionados retos, que persistirán y se intensificarán en los próximos años, sobre todo, si se considera el éxito alcanzado por la biotecnología en otras ramas industriales.

La industria petrolera se interesa entonces en la biotecnología como una opción que le permita superar las barreras tecnológicas para el mejoramiento del petróleo y el gas, así como para reducir los costos de inversión y proceso, sobre la base de diversos bioprocesos, además disminuir el consumo energético y la contaminación ambiental.³

Dicha perspectiva de la biotecnología, al considerarse como la utilización o manipulación de organismos vivos, o de compuestos obtenidos de organismos vivos, para la obtención de productos de valor para los seres humanos,⁴ originó la siguiente interrogante:

¿Cuál es el impacto de la biotecnología actual en la industria del petróleo?

Responder este cuestionamiento implica conocer la producción científica sobre este tema, y ello, a su vez, identificar investigadores y organizaciones líderes en I+D, tipos de productos, las aplicaciones y tendencias de investigación en esta área.

MÉTODOS

Técnicas e instrumentos

Para el presente estudio, se emplearon técnicas del análisis documental, análisis métrico y la entrevista a expertos. Para el análisis métrico, se utilizaron las siguientes herramientas:

- Gestor de referencias bibliográficas *Procite*: para la organización y normalización de los registros descargados de la base de datos *Pubmed*. Los campos objeto de exploración fueron: autor, revista, país de la publicación, dirección del autor, palabras clave y año de publicación.
- Hojas de cálculo de *Microsoft Excel*, junto a la macro *Toolinf*: para la generación de tablas, gráficos y conteos.
- *Ucinet* (versión 6.97): para la generación de las redes y representación de la información.
- *Viscovery SOMine Plus* (versión 4.0): para la representación topológica de los datos originales, con el fin de elaborar mapas tecnológicos.

También se recurrió al buscador *Google Scholar* para consultar los textos o referencias completas de los artículos y completar la información requerida en algunos campos de los registros bibliográficos, como por ejemplo, la afiliación completa del autor.

Fuentes de información

Las fuentes que se consultaron fueron:

- *Pubmed*: proyecto del *National Center for Biotechnology Information* (NCBI) de Estados Unidos, que permite el acceso a bases de datos bibliográficas como: *Medline*, *PreMedline*, *Genbak* y *Complete Genoma*. *Medline* es una poderosa y prestigiosa base de datos y contiene más de 15 millones de referencias bibliográficas de artículos de revistas en ciencias de la salud y afines.
- Base de datos CORDIS, que contiene información sobre proyectos de tecnología financiados totalmente, o en parte, por los fondos de la Comunidad Europea. La

información considera proyectos desde 1986 en adelante, y actualmente comprende más de 250 000 informes.⁵

- Sitio en Internet del Grupo de Trabajo: *Regulación del metabolismo de hidrocarburos en bacterias*, de España.

- Especialistas de las Direcciones de Medio Ambiente, Refinación, y Laboratorio de Química y Biotecnología del Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET).

Sin la pretensión de realizar un estudio patentométrico, se realizaron búsquedas en diversas bases de datos de patentes, con el objetivo de conocer de forma somera el número de invenciones en este campo. Se consultó:

- Oficina Cubana de la Propiedad Industrial (OCPI).

- *Latipat*:

comprende las patentes que se presentan a las oficinas de propiedad industrial de América Latina.

- *Espacenet*: comprende las patentes que se presentan a las oficinas de propiedad industrial de Europa.

- Organización Mundial de Patentes Internacionales (WIPO, por sus siglas en inglés)

- Oficina de Marcas y Patentes de Estados Unidos (USPTO, por sus siglas en inglés)

Estrategia para la búsqueda de información

La frase de búsqueda utilizada inicialmente fue: *oil AND biotechnology*, pero el primer término resultó muy general, y sólo en *Pubmed* la búsqueda produjo 1 254 registros. Se consideró entonces emplear la frase: *petroleum AND biotechnology*. Con esta frase en *Pubmed*, se recuperaron 462 registros desde el año 1987 hasta la actualidad. De esta cantidad, se seleccionaron los registros pertenecientes a los últimos 5 años, es decir, al período 2003-2007 (251 registros).

Esta misma estrategia se utilizó en la base de datos CORDIS, y se recuperaron 13 registros. A pesar de considerarse esta frase aún muy genérica, fue necesario iniciar el estudio de esta manera en atención a su carácter exploratorio.

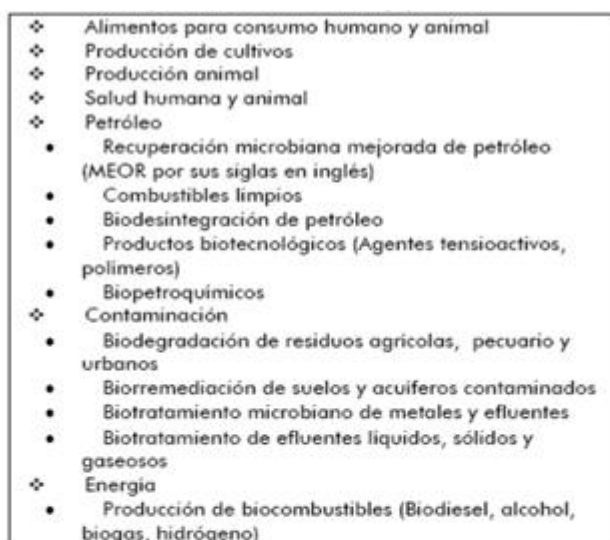
Excepto en la base de datos de la OCPI, donde se alternaron diversos términos entre los campos *Resumen* y *Titular* (como *bioproducto*, *Centro de Investigaciones del Petróleo*, *hidrocarburos*, entre otros), en el resto de las bases de datos de patentes, se mantuvo la misma estrategia de búsqueda mencionada anteriormente.

BIOTECNOLOGÍA Y PETRÓLEO

Tras la irrupción de la Biotecnología en el campo de la salud humana, en la agricultura y en el medio ambiente, hoy observamos también su presencia en el área petrolera.⁶

Ya desde la conferencia *¿Es la biotecnología petrolera un área emergente?* impartida por el doctor *Rodolfo Quintero Ramírez*, Coordinador del Programa Biotecnología del Petróleo del Instituto Mexicano del Petróleo, en el marco de la *Cátedra Doctores Honoris Causa 2003*, que se realizó en la Universidad Autónoma de Nuevo León de México, se planteaba: «La biotecnología petrolera se ha generado por el avance científico, porque existe mercado y necesidades, los proyectos en desarrollo ofrecen la oportunidad de reducir costos de operación. Varios grupos lo han identificado como un área emergente, principalmente en empresas petroleras y en algunas universidades. La biotecnología petrolera sí está emergiendo, aunque la confirmación se tendrá en cuatro o cinco años y, con seguridad, en diez años sabremos si seguimos haciendo la labor» (anexo).⁷

En el sector petrolero, el uso de la biotecnología se dirige principalmente hacia la eliminación de contaminantes presentes en las aguas, o bien de los suelos que se han contaminado con hidrocarburos durante la obtención y procesamiento del petróleo ([figura 1](#)).⁸



Fuente: Aburto J, Rojas Avelizapa N, Quintero Ramírez R. La biotecnología actual y su impacto en la industria de la refinación del petróleo. *Biotecnología Aplicada* 2003;20(1):57-65. Disponible en:

<http://elfoscientiae.cigb.edu.cu/PDFs/BA/2003/20/1/BA002001057-065.pdf>

[Consultado: 18 de junio de 2007].

Fig. 1. Líneas de investigación , actuales y futuras, en biotecnología del petróleo y áreas relacionadas.

La biorremediación de suelos contaminados con petróleo se realiza para limpiar y disminuir el contenido de hidrocarburos de diferentes niveles de toxicidad presentes en los suelos después de ocurrido un derrame; son numerosas las metodologías biológicas que se utilizan con este propósito, pero todas se basan en la capacidad de los

microorganismos de biotransformar compuestos orgánicos, por lo general hacia productos menos tóxicos o de más fácil degradación.⁹

La biorremediación permite reducir notablemente las concentraciones de petróleo residual. Este tratamiento se aplica básicamente de 2 formas: por bioestimulación y bioaumentación.¹⁰ La bioestimulación consiste en nutrir los suelos donde está el petróleo para posibilitar el crecimiento microbiano. Otras tecnologías que permiten la limpieza de los suelos son el bioventeo, que consiste en poner aire a la materia orgánica, y la biolabranza, que consiste en agricultura que coloca bacterias, hongos, levaduras u otros microorganismos para estimular la actividad biológica del suelo.⁶

Remediar un suelo toma de tres a seis meses, por lo que se requiere estudiar las condiciones que deben ajustarse, es decir, qué microorganismos utilizar, o cuáles serían los nutrientes a emplear, o cómo suministrarles agua y oxígeno. Ahora bien, cuando la tecnología biológica no resulta suficiente se buscan otras alternativas, como la química o una combinación de ambas.¹¹

La industria petrolera también utiliza procesos biológicos -aeróbicos y anaeróbicos- para la remediación de afluentes y aguas residuales.

Para comprender otras aplicaciones de la biotecnología petrolera es necesario conocer que el petróleo es una sustancia oleosa de color muy oscuro compuesta de moléculas de hidrógeno y carbono, que se le llama hidrocarburo. El petróleo crudo es una mezcla de hidrocarburos con pequeñas cantidades de compuestos de azufre, oxígeno, nitrógeno y ciertos metales como: vanadio, níquel, sodio y otros, que se consideran impurezas del petróleo, las cuales afectan su calidad.¹²

Esta mezcla compleja de hidrocarburos (parafinas, naftenos, asfalténicos y aromáticos) debe procesarse para desarrollar productos de mayor valor agregado como el gas licuado de petróleo (GLP), la gasolina, el diesel, disolventes, el queroseno, destilados medios, el aceite residual y el asfalto.¹

El petróleo puede describirse fácilmente en términos de ligero y pesado, este último se caracteriza por un incremento del contenido de carbono, nitrógeno, azufre y oxígeno. El azufre, nitrógeno y algunos metales como el níquel y el vanadio se concentran principalmente en la fracción pesada del petróleo y tienen una mayor resistencia a los procesos químicos convencionales, razones que dificultan su eliminación de los productos petrolíferos. El proceso de refinación comprende la realización de varias operaciones térmicas y catalíticas para convertir a las moléculas de la fracción pesada en moléculas más pequeñas llamadas fracciones ligeras. Los metales pesados que contienen el petróleo, principalmente vanadio y níquel, son corrosivos, inhibidores de los catalizadores utilizados en la refinación y se emiten en forma de óxidos tóxicos durante la combustión de los combustibles.^{1 a}

La biotecnología ha empezado a utilizarse en proyectos de investigación que permiten el bioprocesamiento del petróleo y la disminución de la contaminación; por ejemplo, la remoción biológica de azufre por bacterias; la remoción de metales por enzimas y la transformación de asfaltenos en crudos más ligeros por acción biológica. Se logra un doble propósito: el producto tiene mayor valor agregado y el bioproceso es más limpio y barato.¹⁰

La biorrefinación del petróleo, es decir, la aplicación de biotecnologías en su fraccionamiento y mejoramiento, puede contribuir a la reducción de la contaminación y del consumo de energía y a la obtención de productos de mejor calidad.¹

La utilización de biocatalizadores y microorganismos seleccionados o modificados genéticamente, permite perfeccionar los procesos productivos, disminuir el consumo energético y de materias primas, así como una menor producción de residuos.^{13 b}

Las biotecnologías asociadas con la industria de la refinación del petróleo son: la biodesulfuración microbiana, la biodesulfuración con la utilización de enzimas, la desulfuración/desnitrógenación por adsorbentes poliméricos selectivos, la biodesnitrógenación, y la biodesintegración del petróleo.¹

La biodesulfuración, o eliminación de azufre del petróleo mediante microorganismos vivos, es un proceso en que se busca restar los compuestos de azufre sin que se disminuyan ciertas características del combustible, como el poder calorífico.¹² El proyecto de biodesulfuración por células viables ha alcanzado una escala comercial, y muestra claramente cómo esta nueva tecnología reduce el consumo de energía, disminuye la inversión requerida y, sobre todo, se alcanzan niveles de azufre compatibles con las políticas establecidas para la obtención de combustibles más limpios.⁸

En tanto la biodesulfuración específica fue ampliamente estudiada en los últimos años, existe poca información sobre la eliminación biológica de compuestos organonitrógenados del petróleo y derivados sin afectar su valor calorífico.^c

El nitrógeno se encuentra de forma natural en el petróleo como compuestos de tipo no básico y básico y son el carbazol y la quinolina, los compuestos más estudiados con respecto a su biodegradación. La eliminación parcial de los compuestos nitrogenados del gasóleo por una desnitrógenación permite en una desulfuración posterior reducir el contenido de azufre en tanto que el gasóleo no desnitrógenado contiene más azufre.¹

La quinolina es quizás el compuesto organonitrógenado más estudiado en lo que respecta a biodegradación, por considerarse como representante de muchos compuestos comúnmente hallados en el petróleo. Se ha observado que muchos cultivos aeróbicos y anaeróbicos microbianos pueden degradar la quinolina. De forma que el uso de estos cultivos en una aplicación de biorrefinería de petróleo requeriría que el nitrógeno sea selectivamente retirado de la quinolina, dejando intacto el valor carbónico y calorífico de la molécula.¹⁴

La comprensión de los mecanismos biológicos que intervienen en la biodesulfuración, biodesnitrógenación y mejoramiento del petróleo permitirán diseñar y producir catalizadores específicos de alta actividad y robustez.¹

Un estudio de carácter prospectivo realizado en el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España, prevé cuál será el escenario esperado para la incorporación de la biotecnología en el sector energético. El informe establece que la biotecnología permitirá suministrar productos industriales y energéticos, rentables, novedosos y menos contaminantes. Además, los biocombustibles se perfilan como una alternativa energética para reducir la dependencia del petróleo y el gas. Al respecto, se identificaron 3 tendencias tecnológicas futuras en esta área:¹³

- La biotransformación, que consiste en la conversión de un compuesto químico o bioquímico en otros mediante el uso de un catalizador de origen biológico o sintético, por ejemplo, las enzimas.
- La bioproducción, que consiste en la selección o modificación de microorganismos y plantas vegetales para la producción de compuestos. De cara al futuro, la producción de materiales y combustibles podrá realizarse por medio de materias primas biológicas, mediante producción al aire libre (ej. cultivos y plantas); en grandes fermentadores (ej. microorganismos) o en condiciones de confinamiento (ej. insectos y animales).
- La biotecnología ambiental, que permite el tratamiento y recuperación de suelos, aguas y residuos urbanos e industriales. Entre otras aplicaciones, se utilizan microorganismos seleccionados genéticamente para digerir vertidos de petróleo o enzimas para digerir residuos de papeleras industriales.

También en el informe se hace referencia a la biotecnología energética, que se caracteriza por la utilización de las cosechas agrícolas y sus residuos como fuente de energía: el almidón de maíz o trigo, los aceites vegetales de la colza o el girasol o los residuos urbanos se utilizan para la producción de bioetanol, biodiesel o biogás respectivamente, mediante la acción de enzimas que aceleran los procesos y la fermentación por microorganismos. En esta área, el mencionado estudio identifica los biocombustibles como principal tendencia tecnológica para el futuro, porque suponen una alternativa energética que permite reducir la dependencia de los combustibles fósiles (petróleo y gas), atenuar el impacto económico de la subida del precio del petróleo, disminuir la dependencia del suministro exterior y la reducción de la emisión de gases con efecto invernadero.¹³

Un dato importante sobre el que los expertos llaman la atención en el informe, es que el desarrollo de la biotecnología industrial y energética dependerá en gran medida de la genómica.¹

Si bien este campo presenta novedosas y atractivas posibilidades de aplicación, es necesario considerar que las oportunidades reales de uso de estos nuevos conocimientos, están determinadas por los recursos y los grandes esfuerzos que esto requiere. No en todos los casos estas posibilidades de aplicación son una oportunidad comercial o realmente una actividad productiva, aún cuando exista un verdadero interés en la biotecnología petrolera.⁶

Un ejemplo de esfuerzo en este sentido radica en un proyecto de Venezuela para la creación de un Centro de Biotecnología del Petróleo y Biocatálisis Ambiental, con la participación de la Universidad Central de Venezuela, la Universidad Simón Bolívar e INTEVEP (empresa filial de PDVSA). En dicho proyecto, iniciado a comienzos de enero del año 2008, que debe culminar en diciembre de 2009, participan además otros centros como el Instituto de Catálisis y Petroleoquímica de España, el Instituto de Biotecnología de la UNAM en México, el Centro de Investigación y Desarrollo de la *Indian Oil Co.*, la compañía noruega STATOIL, entre otras universidades de España, Italia y Canadá.¹⁵

En el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) se crearon desde 1999, 6 programas estratégicos de investigación, uno de ellos asignado a biotecnología del petróleo. Este programa, que nació como respuesta al reto de generar tecnología innovadora en el

procesamiento del petróleo, reducir el consumo de energéticos y disminuir la contaminación en el proceso, tiene entre sus objetivos utilizar seres vivos para degradar el hidrocarburo y transformarlo en compuestos menos tóxicos. Con estas innovadoras aplicaciones, se remedian sitios contaminados con petróleo, como corrientes y afluentes, al igual que suelos próximos a las zonas petroleras y que se encuentran afectados.¹²

En el caso de Cuba, el CEINPET, perteneciente a CUPET, ha desarrollado una tecnología para el tratamiento de suelos contaminados por hidrocarburos y residuos sólidos petrolizados con resultados satisfactorios, factibles de generalizar en Cuba, debido a que no requiere de equipos sofisticados para su implementación, la existencia de condiciones climáticas favorables, un bajo costo de operación y la disponibilidad de fertilizantes agrícolas de amplio uso disponibles en el país. La tecnología desarrollada se aplicó o está en fase de aplicación a diferentes escalas en la Empresa Petrolera de Exploración y Producción-Centro (EPEP Centro, en Varadero), la EPEP Occidente (La Habana) y la refinería Níco López.¹⁶ También se ha aplicado en las Empresas Comercializadores de Combustibles (ECC) de Santiago de Cuba, Holguín, y la Isla de la Juventud, y la Empresa de Gas Manufacturado (en la laguna de oxidación de uno de sus talleres).

Esta tecnología forma parte de un proyecto que comenzó hace alrededor de 5 años para el tratamiento de lodos petrolizados y residuos o sedimentos de los tanques de almacenamiento. Este proyecto pertenece al programa ramal de CUPET de biorremediación. Según especialistas de la Dirección de Medio Ambiente del CEINPET, existe la expectativa de utilizar esta tecnología también para el tratamiento de residuos domésticos pero esta opción aún se encuentra en investigación.

En el CEINPET se emplean varios métodos y sistemas de biorremediación, en dependencia del tipo de suelos, la región donde se encuentran, las clases de hidrocarburos vertidos sobre esas tierras (diesel, fuel, etc.). Aún no se realiza la desulfuración por medios biológicos, sino químicos. La corrosión tampoco se trata por medios biológicos.

Existe también un proyecto aprobado sobre turbocombustibles contaminados por microorganismos, aunque el tratamiento que están recibiendo es físico, no biológico. Otras cuestiones que también se investigan están relacionadas con la eliminación de los metales pesados del petróleo (sobre todo de los asfálticos y de los aromáticos) por microorganismos. Se desarrolla un estudio sobre la obtención de biogás a partir de bacterias que metabolizan los residuos del petróleo, y se investiga, en colaboración con Brasil, sobre los biocombustibles, específicamente sobre el biodiesel.

Existe otro proyecto, aún en espera de aprobación, sobre recuperación mejorada de crudo por microorganismos, que constituye un método terciario para la extracción de petróleo, y se conoce también por biotecnología de inyección. Consiste en inocular microorganismos en los pozos para separar el hidrocarburo de la piedra. Se probó por primera vez en un pozo del litoral norte, perteneciente a la EPEP Occidente, y se encuentran a la espera de los resultados para determinar su viabilidad.^d

A la par de las labores del CEINPET se culminó un proyecto en el año 2006, encabezado por el Centro de Bioproductos Marinos (CEBIMAR) para la aplicación de los microorganismos marinos en la biotecnología del petróleo. El informe final del proyecto afirma que se desarrollaron y caracterizaron los bioproductos, BIOL y BIOL-FC,

capaces de degradar el petróleo que se encuentra como contaminante en aguas y tierras, y seleccionar un número considerable de cepas de microorganismos marinos capaces de producir sustancias tensioactivas e incorporarlas al proceso de descontaminación o biorremediación, con muy buenos resultados.^{17 e}

También el Instituto de Oceanología del CITMA trabaja desde 1988 en el aislamiento y conservación de bacterias marinas capaces de degradar el petróleo.⁶

Es posible decir entonces que nuestro país ha dado pasos en el empleo de técnicas biotecnológicas para la descontaminación de suelos y aguas, la recuperación mejorada de crudo, la producción de biocombustibles y la obtención de combustibles más limpios. Sin embargo, aún en el sector petrolero cubano, se realizan procesos por otros métodos que no son biológicos, y de los biológicos algunos no están incorporados a la industria sino que se encuentran en fase de investigación.

PRODUCCIÓN CIENTÍFICA SOBRE PETRÓLEO Y BIOTECNOLOGÍA EN EL PERÍODO 2003-2007

DISTRIBUCIÓN SEGÚN AÑOS

Se aprecia un crecimiento sostenido de la publicación de artículos sobre biotecnología petrolera con el decursar de los años, y ello muestra el aumento paulatino del interés por el tema ([figura 2](#)).

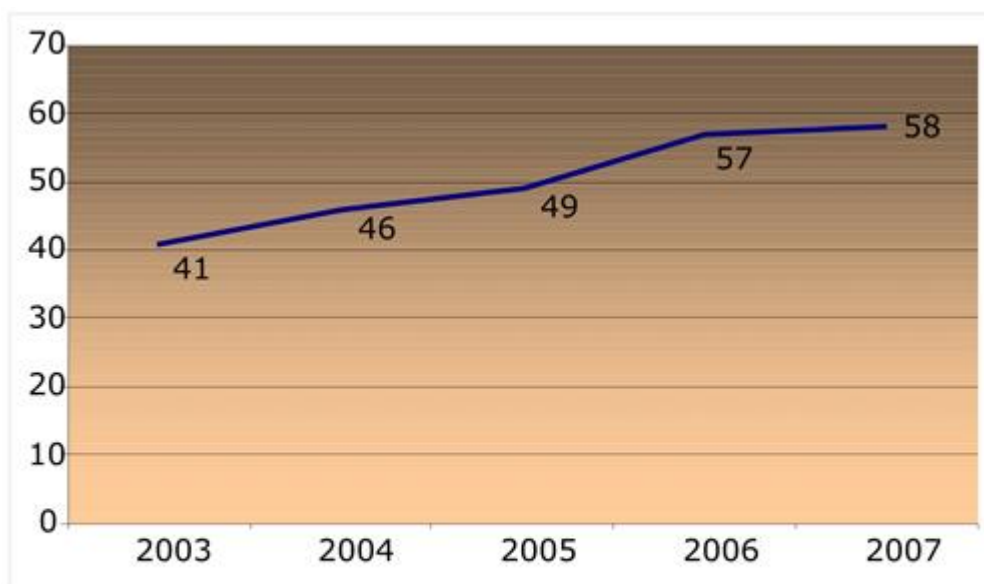


Fig. 2. Producción de artículos según años.

DISTRIBUCIÓN SEGÚN PUBLICACIONES

Ocupan los primeros lugares entre las revistas: *Applied and Environmental Microbiology* con 13 artículos (15.2% del total de artículos), *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 12 artículos (4.8%), *Biodegradation*, *Bioresource Technology* y *Chemosphere* con 11 artículos respectivamente (4.4%) ([figura 3](#)).

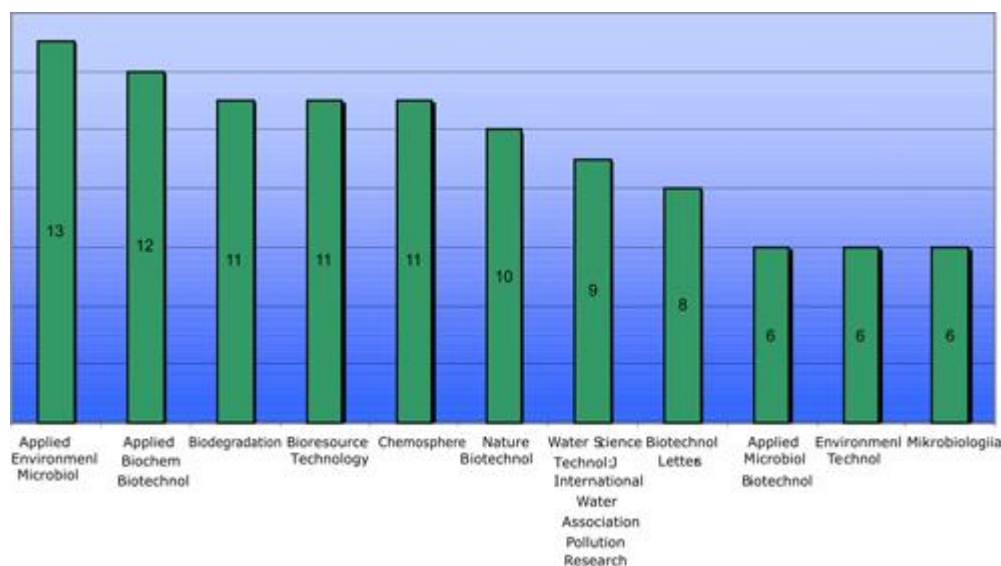


Fig. 3. Publicaciones con mayor número de artículos publicados.

Sobre la publicación *Applied and Environmental Microbiology*

Publicada por la Sociedad Norteamericana de Microbiología, esta revista divulga una porción sustancial de la investigación actual más significativa en las áreas de la biotecnología, la ecología microbiana, la microbiología de los alimentos y la microbiología industrial. Cubre aspectos como: biología molecular y genética, enzimología e ingeniería de la proteína, fisiología y biotecnología, micología, microbiología de salud pública, microbiología medioambiental, ecología microbiana, geomicrobiología, microbiología de los alimentos, de las plantas y de los invertebrados, biodegradación; así como microbiología genómica y evolucionaria.

Se publica quincenalmente y tiene un factor de impacto de 4.004 según el *Journal citation reports* del 2007 que publica el antiguo ISI. Ocupa el puesto número 18 por su factor de impacto entre las 94 revistas en la categoría de *Microbiología*, así como el lugar número 23 entre las 138 revistas en la categoría de *Microbiología aplicada y biotecnología*. Es indizada por: BIOSIS, *Cambridge Scientific Abstracts*, *Chemical Abstracts Service*, *Current Awareness in Biological Sciences*, *Index Medicus*, EMBASE, *Microbiology Abstracts* y *Science Citation Index*.¹⁸

DISTRIBUCIÓN POR PAÍSES

Estados Unidos es el país más productivo según la procedencia de las revistas, seguido de Inglaterra ([figura 4](#)).

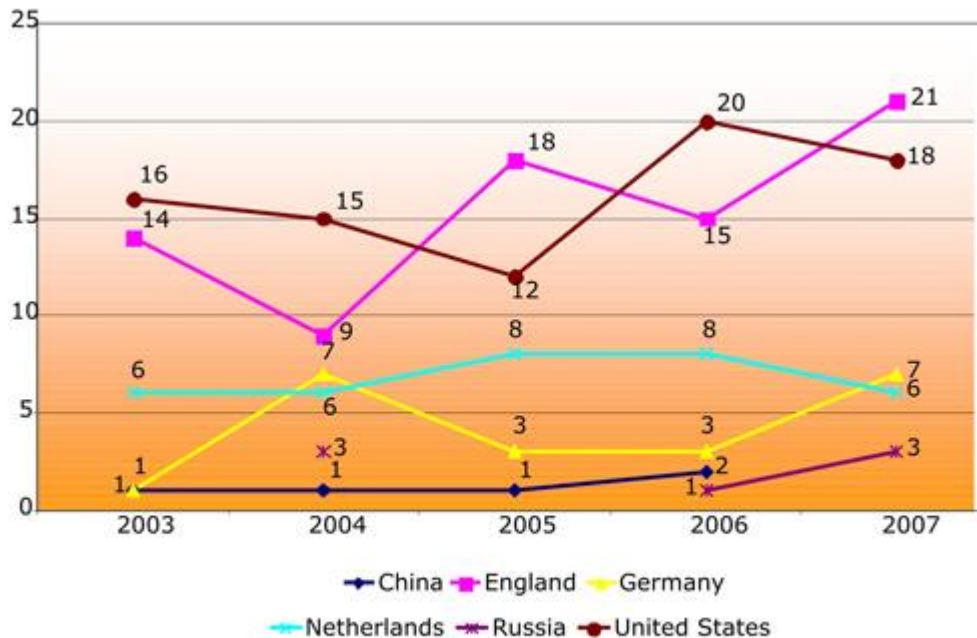


Fig. 4. Producción según países y años.

Se observa que Rusia ha publicado sobre el tema de forma intermitente o aislada. Inglaterra y Estados Unidos publicaron, con variaciones, pero de manera sostenida y creciente en los últimos años. En el caso de Holanda, posee un comportamiento casi invariable, con una escasa diferencia con respecto a la cantidad de artículos por año (un promedio de 6). Se aprecia entonces un predominio de las publicaciones procedentes de Europa y Estados Unidos.

DISTRIBUCIÓN SEGÚN CLASE DE ARTÍCULOS

Pubmed establece su propia clasificación de los artículos que procesa, pero no PUBLICA los criterios considerados para esta división. Sin embargo, puede observarse que más de la mitad de los artículos son investigaciones realizadas con fuentes de financiación ajenas al gobierno de los Estados Unidos (Research Support, Non-U.S. Gov't) como son sociedades, institutos, universidades, organizaciones privadas americanas, o procede de fuentes extranjeras como organizaciones nacionales, académicas y privadas, etcétera ([figura 5](#)).

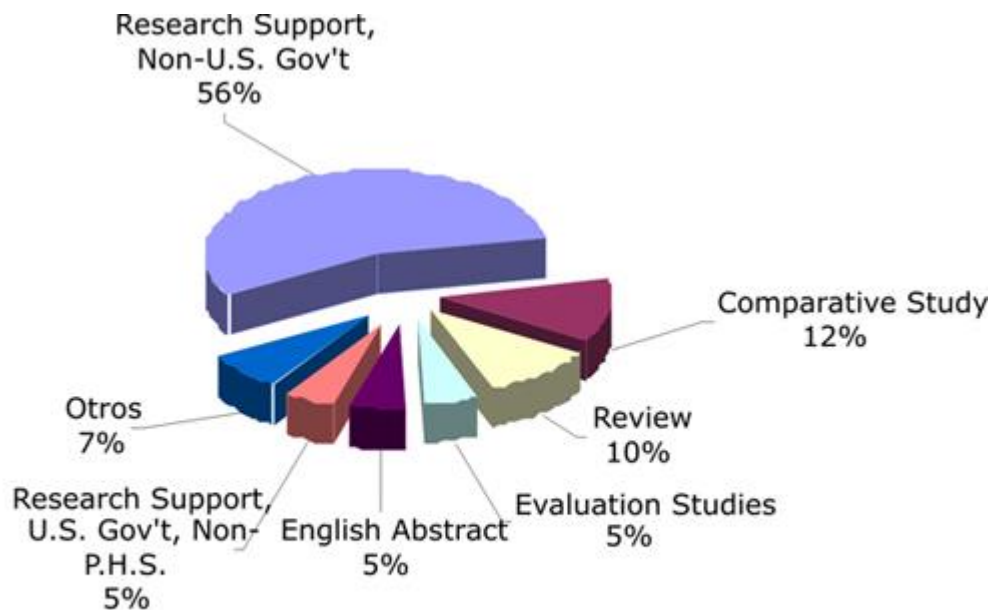


Fig. 5. Distribución según clase de artículos.

Le siguen en orden descendente los estudios comparativos, revisiones, estudios de evaluación, resúmenes (tal vez de investigaciones presentadas en eventos), investigaciones financiadas por fuentes del gobierno de los Estados Unidos ajenas al sistema público de salud, y otros tipos de estudios: noticias, comentarios, cartas, biografías, editoriales, artículos históricos, guías de prácticas, e investigaciones financiadas por el gobierno del referido país. Varios artículos se clasificaron en más de una clase.

AUTORES MÁS PRODUCTIVOS

Un total de 11 autores publicaron 4 o más artículos en el periodo y las fuentes estudiadas ([tabla 1](#)).

Sobre el autor más productivo: *Kazuya Watanabe*

La afiliación laboral del doctor *Kazuya Watanabe* es múltiple, pero su relación más destacada es con el Laboratorio de Microbiología Aplicada del Instituto de Biotecnología Marina japonés. Es además colaborador de los programas de investigación de la Universidad de *New South Wales*, en Australia, y editor asociado de la revista *Microbes & Environments*. En el año 2006, según un informe realizado mediante técnicas de minería de datos, se consideró un líder de opinión en el tema de la biodegradación del medio ambiente.^f En *Pubmed*, fuera del período de estudio y de sus límites temáticos específicos, se encontraron muchos más artículos suyos, realizados en colaboración con varios autores, algo que avala su trayectoria como investigador.

COLABORACIÓN AUTORAL

La mayoría de los artículos fueron elaborados por equipos pequeños, de 3 autores en su mayor parte, y fue muy raro que más de 8 autores publiquen una misma contribución ([figura 6](#)). Con el eje de las X, se identifica el número de autores y el valor de las barras refleja la cantidad de artículos.

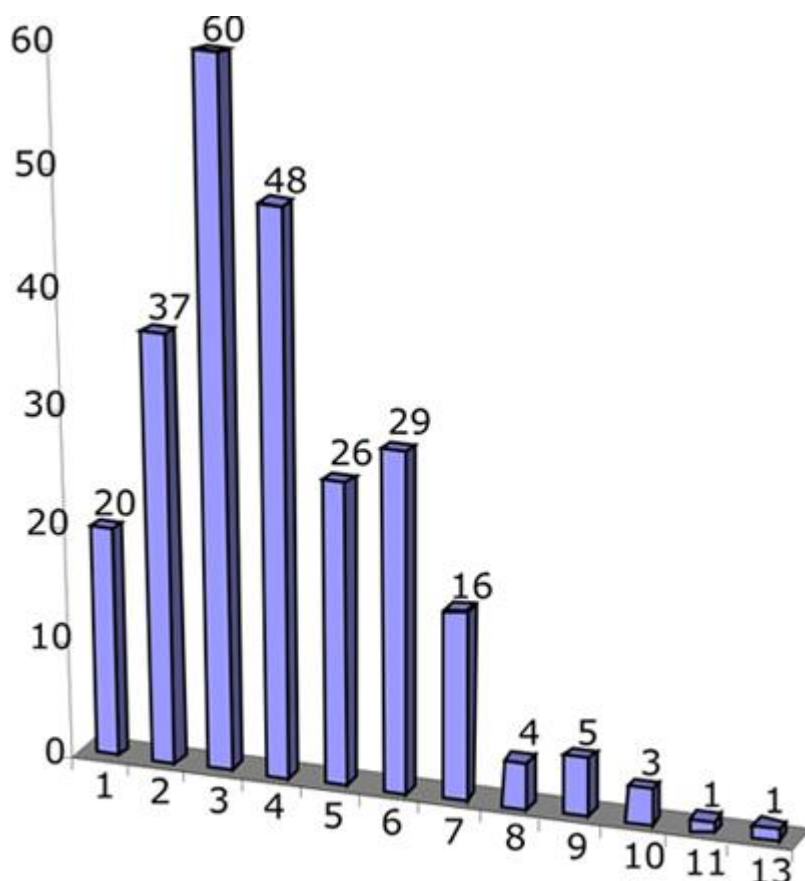


Fig. 6. Número de autores por artículos.

A continuación puede observarse la colaboración entre los autores que publicaron 2 o más artículos ([figura 7](#)).

El tamaño de los nodos (esferas) se corresponde con el grado de colaboración de los autores. En este caso se destaca *Kasai Y*, el autor que presenta un mayor número de colaboraciones con otros especialistas.

Es apreciable también la fuerte relación de colaboración que existe entre *Watanabe K.* y *Kodama Y*, representada por el grosor de la línea que los une. Estos dos autores han coincidido en 4 artículos, en colaboración con otros autores, que se relacionan a continuación, y donde predominan las palabras clave: anaerobiosis, datos de secuencia molecular, filogenia y secuencia ribosomal ¹⁶ del ARN.

1. Kodama Y, Ha T, Watanabe K. *Sulfurospirillum cavolei* sp. nov., a facultative anaerobic sulfur-reducing bacterium isolated from an underground crude oil storage cavity. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 2007:57:827-31.

2. Kodama Y, Watanabe K. Isolation and characterization of a sulfur-oxidizing chemolithotroph growing on crude oil under anaerobic conditions. *Applied and Environmental Microbiology* 2003;69:107-12.

3. Kodama Y, Watanabe K. *Sulfuricurvum kujiense* gen. nov., sp. nov., a facultative anaerobic, chemolithoautotrophic, sulfur-oxidizing bacterium isolated from an underground crude-oil storage cavity. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 2004;54:2297-300.

4. Meguro N, Kodama Y, Gallegos MT, Watanabe K. Molecular characterization of resistance-nodulation-division transporters from solvent- and drug-resistant bacteria in petroleum-contaminated soil. *Applied and Environmental Microbiology* 2005;71:580-6.

Aproximadamente tan fuerte como la relación de colaboración entre Watanabe K y Kodama Y, son las relaciones entre Wang Z, Zhang Y y Yang M; así como entre Das K y Mukherjee AK. Los primeros han escrito juntos 3 artículos, en colaboración con otros autores, donde predominan las palabras clave: biodegradación medioambiental y reacción en cadena de la polimerasa:

1. El-Latif H, Khan S, Liu X, Zhang Y, Wang Z, Yang M. Application of PCR-DGGE to analyse the yeast population dynamics in slurry reactors during degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in weathered oil. *Yeast* 2006;23:879-87.

2. Wang Z, Li J, El-Latif H, He S, Zhang Y, Wang Z, et. al. Co-variations of bacterial composition and catabolic genes related to PAH degradation in a produced water treatment system consisting of successive anoxic and aerobic units. *The Science of the Total Environment* 2007;373:356-62.

3. Wang Z, Zhang J, Zhang Y, Hesham AL, Yang M. Molecular characterization of a bacterial consortium enriched from an oilfield that degrades phenanthrene. *Biotechnology Letters* 2006;28:617-21.

El tercer grupo en presentar una colaboración fuerte (Das K y Mukherjee AK) posee 4 artículos donde sólo aparecen ellos dos como autores:

1. Das K, Mukherjee AK. Characterization of biochemical properties and biological activities of biosurfactants produced by *Pseudomonas aeruginosa* mucoid and non-mucoid strains isolated from hydrocarbon-contaminated soil samples. *Applied Microbiology and biotechnology* 2005;69:192-9.

2. Das K, Mukherjee AK. Crude petroleum-oil biodegradation efficiency of *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas aeruginosa* strains isolated from a petroleum-oil contaminated soil from North-East India. *Bioresource Technology* 2007;98:1339-45.

3. Das K, Mukherjee AK. Differential utilization of pyrene as the sole source of carbon by *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas aeruginosa* strains: role of biosurfactants in enhancing bioavailability. *Journal of Applied Microbiology* 2007;102:195-203.

4. Mukherjee AK, Das K. Correlation between diverse cyclic lipopeptides production and regulation of growth and substrate utilization by *Bacillus subtilis* strains in a particular habitat. *FEMS Microbiology Ecology* 2005;54:479-89.

En estos artículos sobresalen como palabras clave: microbiología del suelo y especificidades de las especies.

DISTRIBUCIÓN DE INSTITUCIONES SEGÚN PAÍSES

Existe un predominio de las instituciones, o unidades de instituciones, de Estados Unidos que participan en el desarrollo de esta área en comparación con el resto de los países. Sin embargo, el experto más productivo hallado en el área de la biotecnología petrolera no procede de este país sino de Japón, como se refirió anteriormente ([figura 8](#)).

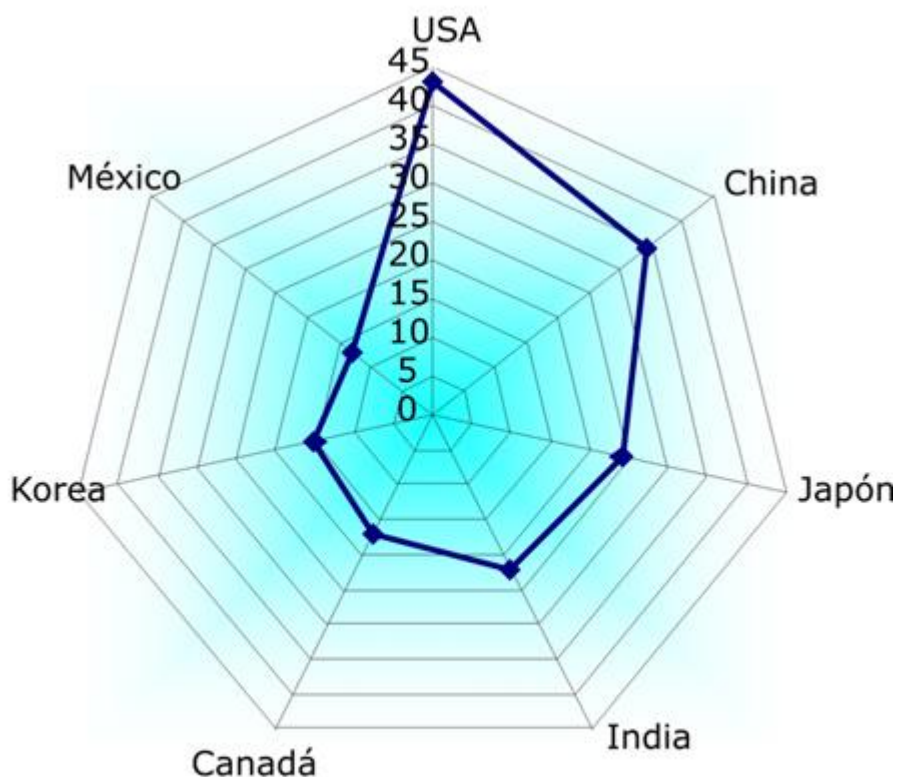


Fig. 8. Países con mayor número de instituciones.

Otros de los países que se destacan por el número de instituciones o unidades de instituciones son: China (34), Japón (24), la India (22), Canadá (17) y Corea del Norte (15). Es necesario distinguir la aparición de México (13) en este gráfico como país latinoamericano. El resto de los países ostentan cifras poco significativas, como es el caso de Cuba con solo 1 contribución sobre la biodegradación mejorada del petróleo crudo *Casablanca* con un consorcio microbiano, publicada por el Centro de Biotecnología y Microbiología Industrial, de la Universidad de Oriente.

Hubo artículos donde no se pudo determinar la procedencia de los autores, y ello puede introducir cierto sesgo en estos resultados.

COLABORACIÓN INSTITUCIONAL

Si se consideran las redes más significativas en relación con el número de nodos y el espesor de las líneas que los enlazan, es posible inferir que los países asiáticos son los que más colaboran y en este sentido, especial atención merece la relación entre las compañías Petrochina y *Dagan Oilfield*, la Universidad de *Yangtze* (todos de China) y el Instituto de Microbiología *Winogradsky* (Rusia). Estos centros mantienen un alto nivel de colaboración entre ellos ([figura 9](#)).

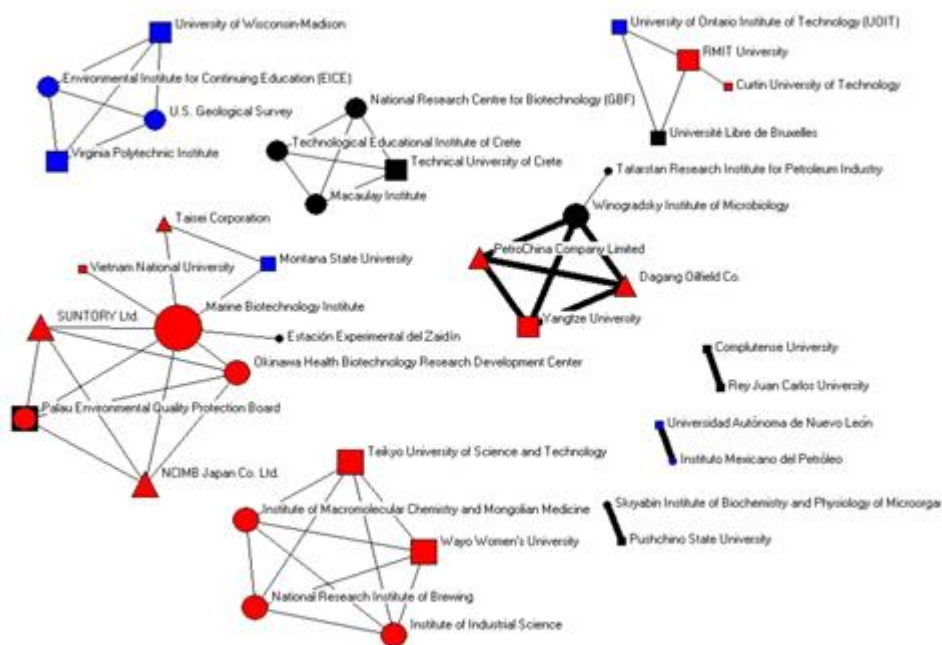


Fig. 9. Colaboración entre instituciones.

Para comprender el gráfico anterior es necesario primero conocer que el color rojo identifica a los países asiáticos, el azul a América (tanto América del Norte como Latinoamérica), y el negro a Europa. Con respecto a la forma de los nodos, los cuadrados refieren las universidades; las esferas, los centros de investigación; los triángulos, las compañías y los cuadrados con un círculo interior, las instituciones gubernamentales.

El tamaño de los nodos indica el nivel de colaboración de las instituciones. En este sentido, se destaca el *Marine Biotechnology Institute*, de Japón, como el centro que mayor número de lazos establece para la publicación de artículos sobre el tema estudiado. Este comportamiento, aunque no está condicionado por este motivo, no resulta sorprendente debido a que el autor más productivo en el período analizado proviene de este centro.

Otros de los fuertes vínculos de colaboración observables en el gráfico anterior, tienen lugar entre las Universidades Complutense y Rey Juan Carlos, ambas de España; la Universidad Autónoma de Nuevo León y el Instituto Mexicano del Petróleo, ambos de México; y la Universidad Estatal *Pushchino* y el Instituto *Skrybian* de Bioquímica y Fisiología de los Microorganismos, ambos de Rusia.

Es de destacar además que en su mayoría, los vínculos se establecen entre universidades y centros de investigación, o entre universidades y compañías, y esto denota una correspondencia entre la preparación profesional y el desempeño ulterior, un consenso entre la academia y la empresa.

El Marine Biotechnology Institute

El Instituto de Biotecnología Marina (MBI por sus siglas en inglés) es una iniciativa del Ministerio de Industria y Comercio Internacional (*Ministry of International Trade and Industry, MITI*), gobiernos locales y compañías privadas de Japón. Labora fundamentalmente en: microbiología aplicada, cultivos y métodos de preservación, biología evolucionaria, ingeniería genética, microbiología industrial, biología marina, sistemática y taxonomía,¹⁹ para su uso en productos farmacéuticos, pesticidas, biosensores y biorremediación.²⁰

El Instituto de Biotecnología Marina también sobresale por ser la institución con mayor número de artículos (14, y constituye el 5,6% del total) en el período analizado. Le siguen en orden descendiente la RMIT *University* de Australia (7,2.8 %); el Instituto Mexicano del Petróleo y el *Winogradsky Institute of Microbiology*, de la Academia de Ciencias Rusa con 5 artículos cada uno (1,9 %).

COLABORACIÓN ENTRE PAÍSES

Como en los gráficos anteriores, el tamaño de los nodos (en este caso las esferas) se corresponde con el grado de colaboración y el grosor de los enlaces con el volumen de colaboración existente entre ellos. ([Figura 10](#))

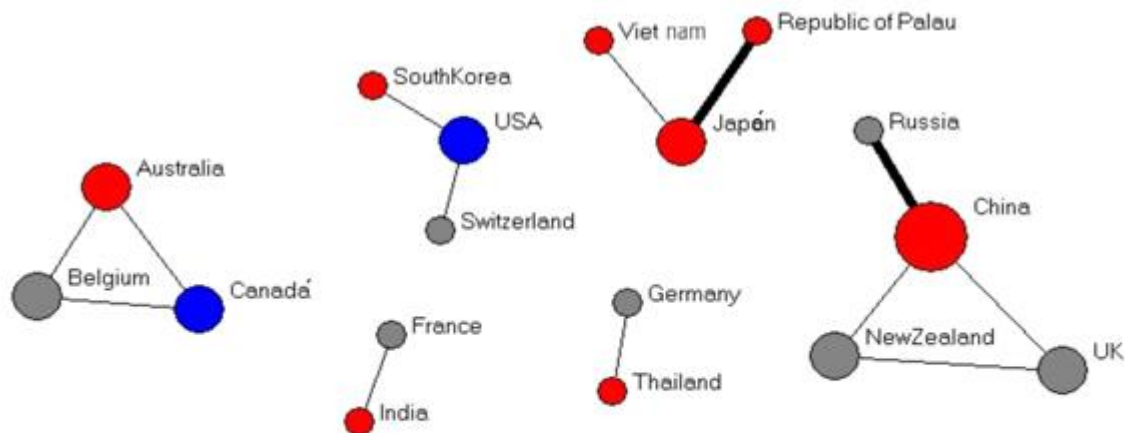


Fig. 10. Colaboración entre países.

Las relaciones más fuertes de colaboración tienen lugar entre China y Rusia, y entre Japón y la República de Palau. El tamaño de la esfera que representa a China, al ser la mayor del gráfico, revela que este país es el que con mayor frecuencia se asocia para la publicación de trabajos sobre la biotecnología petrolera. Aunque el clúster (nodos enlazados) de mayor número de nodos es el que contiene a China, Rusia, Nueva Zelanda y Reino Unido, su distribución implica que Nueva Zelanda y Reino Unido se relacionan con Rusia sólo por medio de China. Algo similar ocurre con Viet Nam, que se enlaza con la República de Palau por medio de Japón.

Si se considera que el color se relaciona con la ubicación geográfica: gris para Europa, azul para América, y rojo para Asia y Oceanía, es posible apreciar que los investigadores asiáticos se muestran más inclinados a la colaboración fuera de sus fronteras que el resto de los países identificados.

Europa, por su parte, presenta un comportamiento similar, y ello que se corresponde con las acciones prioritarias para el sector biotecnológico que se planteó la Unión Europea como parte de la *Estrategia para las Ciencias de la Vida y la Biotecnología 20022010*. Entre estas acciones se encuentran: promover la investigación, el desarrollo del mercado, y la transferencia de conocimiento e innovación desde la ciencia básica a la industria, a partir de reconocer en la biotecnología, la perspectiva de cambiar la dependencia del petróleo, entre otras perspectivas como las correspondientes a la salud humana y la seguridad alimentaria. Este bloque de países trabajan en pos de una bioeconomía basada en el conocimiento, que desempeñará un papel crucial para alcanzar el nivel mínimo del 10% de biocombustibles por vehículo para el 2020, y utilizar el potencial de las plantas para aplicaciones energéticas y medioambientales, en particular para reemplazar los procesos químicos y los combustibles fósiles.²¹

TEMÁTICAS MÁS FRECUENTES

Entre las temáticas más frecuentes en los artículos analizados (desechando aquellos descriptores temáticos que no aportaban o poseían un significado concreto

como *humanos, petróleo, gasolina, animales, temperatura, biotecnología*, etc.) se encuentran: biodegradación medioambiental, biorreactores y su microbiología, microbiología del suelo, metabolismo de los contaminantes terrestres, metabolismo de los hidrocarburos, desechos industriales, métodos de disposición de fluidos de desechos, metabolismo químico de los contaminantes del agua, biomasa, catálisis, reacción en cadena de la polimerasa y especificidades de la especie ([tabla 2](#)).

Sobre algunos de estos términos se impone un comentario para comprender el tema al que se refieren. El vocablo biomasa, por ejemplo, es utilizado con mayor frecuencia en las discusiones relativas a la energía de biomasa, es decir, al combustible energético que se obtiene directa o indirectamente de recursos biológicos. La energía de biomasa que procede de la madera, residuos agrícolas y estiércol, es aún la fuente principal de energía de las zonas en desarrollo.²² Algunas tecnologías para la combustión de biomasa y residuos pueden competir con el petróleo en lugares en los que están disponibles residuos de la madera, existen pocos vertederos y en los que la combustión de residuos municipales permite ahorrar el costo del transporte a los vertederos y el depósito en ellos.²³

Aunque a muchas tecnologías de biomasa les falta poco para estar maduras, aún tienen que mejorar la eficacia y la relación costo-eficacia. Europa es considerada un líder en capacidades científicas y tecnológicas relacionadas con la biomasa, y varios estados miembros son líderes mundiales en sus respectivos campos. Se prevé que la biomasa desempeñe un papel importante en la calefacción de este continente y suministre más del 90% del volumen de calor necesario a partir de fuentes de energía renovable, y en el objetivo de cubrir el 21% de la demanda de electricidad mediante energías renovables para el 2010.²³ Sin dudas constituye una nueva tecnología energética sostenible, que utilizada viva o muerta (libre o inmovilizada) facilita el diseño y operación de un biorreactor para la eliminación de metales pesados y su reutilización.²⁴

Los biorreactores, por su parte, son los lugares donde se trata la biomasa. Es un recipiente o sistema que mantiene un ambiente biológicamente activo. En algunos casos, un biorreactor es un recipiente en el que se desarrolla un proceso químico que involucra organismos o sustancias bioquímicamente activas derivadas de dichos organismos. Puede ser también un dispositivo o sistema empleado para el crecimiento de células o tejidos en operaciones de cultivo celular. En términos generales, un biorreactor busca mantener ciertas condiciones ambientales propicias (pH, temperatura, concentración de oxígeno, etcétera) para el elemento que se cultiva.²⁵

Como se comentó anteriormente, la catálisis es el proceso por medio del cual se incrementa la velocidad de una reacción química. En biología, los catalizadores más importantes son las enzimas, biomoléculas que tienen una función esencial en los organismos vivos donde aceleran reacciones que de otra forma requerirían temperaturas que podrían destruir la mayor parte de la materia orgánica. En los procesos industriales, la catálisis es de enorme importancia, porque permite desarrollar reacciones en tiempos mucho más cortos, con el consiguiente beneficio económico.²⁶ Actualmente, se habla de biocatálisis, es decir, la catálisis con elementos biológicos, donde se escogen de la naturaleza los catalizadores e intentan mejorar características como la estabilidad, o las posibilidades que aportan unir varios y generar una ingeniería enzimática.²⁷ Durante los últimos 20 años, la tendencia que se observa en las empresas que comercializan biocatalizadores ha transitado desde el empleo de enzimas en su estado natural, recuperadas también del organismo que

originalmente las producía, a una vasta mayoría de enzimas provenientes de genes aislados y clonados en sistemas genéricos para sobreexpresión, hasta la situación actual, en la que la mayoría de los nuevos productos incorporan algún componente de la ingeniería de proteínas.²⁸

La reacción en cadena de la polimerasa, conocida como PCR por sus siglas en inglés (Polymerase Chain Reaction), es una técnica de biología molecular cuyo objetivo es obtener un gran número de copias de un fragmento de ADN particular, a partir de un mínimo; en teoría basta partir de una única copia de ese fragmento original, o molde. Esta técnica sirve para amplificar un fragmento de ADN; su utilidad es que, tras la amplificación, resulta mucho más fácil identificar con una muy alta probabilidad virus o bacterias causantes de una enfermedad, identificar personas (cadáveres) o hacer investigación científica sobre el ADN amplificado.²⁹ Esta técnica contribuye a la filogenia (otro de los términos recurrentes en los artículos analizados), es decir, a la reconstrucción o historia evolutiva de los seres vivos.

Puede apreciarse, según el número de artículos en los que se recurre a este término, que la biodegradación es el tema al que se dedica más atención, comportamiento lógico debido a la existencia de una creciente preocupación por el deterioro ambiental. La biodegradación se vislumbra como una solución a esta crisis mundial, un proceso por el cual microorganismos indígenas o inoculados (bacterias y hongos) metabolizan los contaminantes orgánicos que se encuentran en los suelos y el agua subterránea, hasta convertirlos en productos finales inocuos. En este proceso, los contaminantes orgánicos se biotransforman porque generalmente los microorganismos pueden utilizarlos para su propio crecimiento como fuente de carbono y energía y, en el caso de que no sean capaces de crecer a partir de ellos, pueden seguir transformándose si se les aporta un sustrato de crecimiento alternativo o cosustrato.³⁰ Es un tratamiento biológico para recuperar los lugares contaminados, que requiere conocer el metabolismo de los microorganismos y de los contaminantes.

El metabolismo es el término utilizado para referirse a más de un centenar de transformaciones químicas individuales que toman parte en una célula. Es un proceso que requiere de energía, mediante el cual los microorganismos construyen material celular, y donde el carbono es el nutriente que más se requiere. Los microorganismos se clasifican según la fuente de carbono que utilizan en los procesos metabólicos.³¹ De ahí que investigar sobre el metabolismo de los hidrocarburos, y otros contaminantes, permite buscar qué bacterias los degradan mejor.

Finalmente, los métodos de disposición de fluidos de desechos se refieren mayormente a la actividad de perforación (extracción del crudo). A lo largo de la sarta de perforación se hace circular una gran variedad de fluidos, que regresan a la superficie durante la perforación, proceso en el que se utilizan muchos productos químicos adicionales para controlar las propiedades de los fluidos de perforación. Estos fluidos y los aditivos químicos también reaccionan con los constituyentes de las formaciones (rocas) en las que se realiza la perforación. Los fluidos del sumidero y el lodo resultantes luego de culminar la perforación forman, por lo tanto, una mezcla muy compleja a la que es necesaria reducirle el volumen total, pues los desechos de perforación generalmente contienen sustancias que podrían contaminar el medio. Muchos de estos desechos deben tratarse para reducir su toxicidad antes de su disposición.³²

PAÍSES MÁS PRODUCTIVOS SEGÚN LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

A continuación se presentarán los países más productivos según las líneas de investigación predominantes.

La interpretación de este gráfico se realiza según el color que representa a cada país, y el color a su vez está determinado por el número de artículos según la escala que se encuentra debajo de cada mapa. ([Figura 11](#))

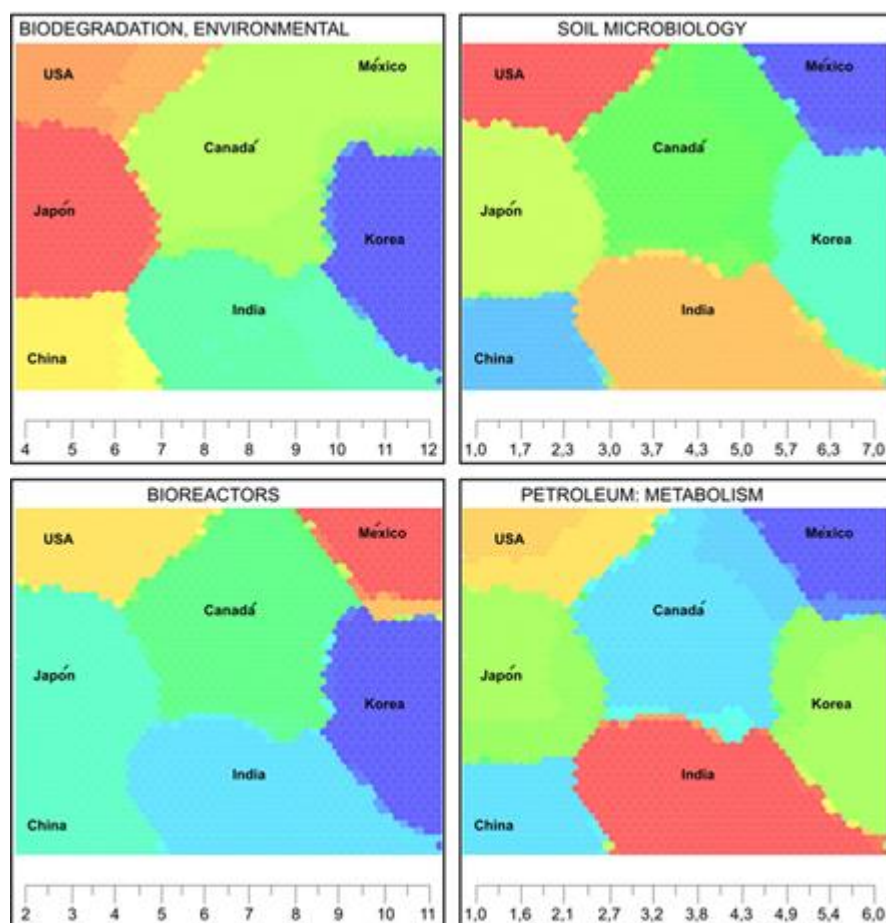


Fig. 11. Países más productivos según líneas de investigación.

Ello implica que, por ejemplo sobre biodegradación ambiental (extremo superior izquierdo) el país que más publica es Japón, seguido de Estados Unidos. Mientras que China, Canadá y México tienen una producción similar sobre este tema. En el caso de la microbiología del suelo (extremo superior derecho), también resalta Estados Unidos, seguido de Japón y la India, países equiparados con respecto al número de artículos sobre este tema.

Un comportamiento diferente existe en relación con los biorreactores (extremo inferior izquierdo) donde se destaca México. En el estudio del metabolismo del petróleo

sobresale la India, acompañada de Estados Unidos y Japón, que aparecen nuevamente en lugares destacados.

Este análisis podría ser enriquecido con las posibles estrategias o políticas nacionales de cada país, como causales de este comportamiento, como se hizo con anterioridad en el caso de Europa.

Por último, si se integran las líneas de investigación de los principales países, se obtiene un gráfico donde aparecen contornos rojos que representan las fronteras temáticas de cada país ([figura 12](#)). Aunque se aprecian definidos los límites en algunos tramos, en otros se observan borrosos y ello muestra que no existen entre estos países, es decir que comparten tópicos comunes; ocurre así sobre todo con Corea y la India, pero también con los países que bordean China.

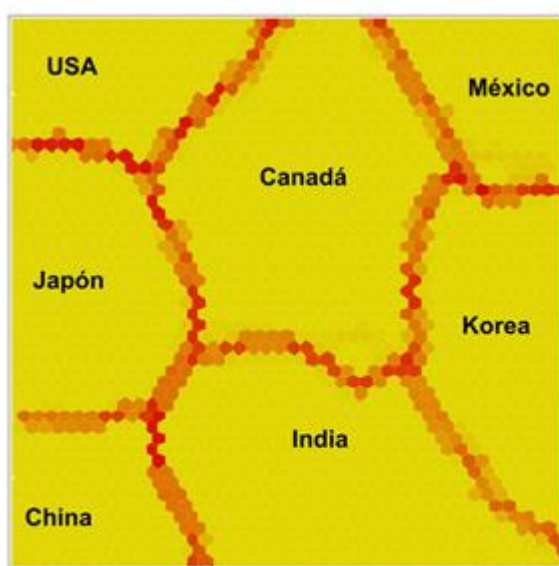


Fig. 12. Países con líneas de investigación comunes.

RESULTADOS EN OTRAS BASES DE DATOS

Como se expresó al principio, aunque no se pretende realizar un estudio patentométrico completo, se exploró en diversas bases de datos de patentes, la cantidad de invenciones donde coincidieran los términos biotecnología y petróleo, sólo como referencias.

En la base de datos de la OCPI, se encontró una patente de Brasil presentada en nuestro país sobre esta temática. Fue solicitada por Petrobras, la compañía petrolera brasileña, publicada en el 2004 y se titula: *Segmentación microbiana de enlaces c-n orgánicos*. El objeto de esta invención es proveer un proceso microbiano para el retiro selectivo de nitrógeno orgánicamente ligado, de combustibles fósiles, como el carbón,

petróleo, lignita y combustibles sintéticos derivados, a la vez que se retiene el valor calorífico del combustible.¹Básicamente, se refiere a un método para la desnitrógenización, explicado antes en el acápite dedicado al análisis de las temáticas relacionadas con la biotecnología del petróleo.

Además se encontró una invención relativa a un bioproducto para combatir la contaminación por hidrocarburos del petróleo y sus derivados, pero por problemas de conexión no se pudo determinar el titular de esta patente. Este bioproducto se compone de microorganismos hidrocarbonoclastos capaces de disminuir los efectos en las contingencias de derrames accidentales de hidrocarburos, así como en el tratamiento de los residuales líquidos de las industrias de extracción y refinación del petróleo. Fue publicada en el año 1995.

En *Latipat*, la búsqueda sólo arrojó un registro, con el título: *Aglomerados poliméricos, método para tratar sólidos suspendidos empleando dichos aglomerados, composición polimérica y método para tratar sólidos suspendidos empleando dicha composición*. Esta invención, según el resumen, tiene aplicaciones en el tratamiento de aguas, minería, papeleras, el procesamiento de alimentos, el acondicionamiento del suelo, el espesamiento de soluciones, la biotecnología y la recuperación de petróleo. Su titular es *Cytec Technology Corp*.

En *Espacenet*, se obtuvieron 32 registros, y en la WIPO, dos resultados de búsqueda en PCT:

- *Bacterial consortium NBC2000 and method for biologically treating endocrine disrupters using the NBC2000 (WO 2005/105979)*
- *Strains of bacteria destructive for hydrocarbon-containing compounds, surface-active agents and xenobiotics used for cleaning the hydrosphere (WO 2003/008434)*

En la Oficina de Marcas y Patentes de Estados Unidos existen 2 804 registros. Esta cifra tan alta puede deberse al hecho de que la base de datos abarca desde el año 1976, y que aparecen tanto las patentes solicitadas como las publicadas.

Entre los proyectos encontrados en la base de datos CORDIS, pueden referirse los siguientes:

1. *Biorremediación ex-situ de arenas contaminadas de petróleo utilizando microbios marinos degradantes de hidrocarburos*. Universidad Técnica de Creta. Su objetivo primario es perfeccionar la biorremediación de arenas contaminadas de petróleo mediante bacterias marinas. El comportamiento de este sistema con las bacterias marinas se comparará con el de los microbios óleo degradantes de origen terrestre. Los datos experimentales también se usarán para desarrollar un modelo matemático mecánico.⁹

2. *Biorremediación para la recuperación y protección del mar Caspio de la solución del petróleo*. University of Florence (Laboratory of Inorganic and Bioinorganic Chemistry); Institute of Molecular Biology and Biotechnology - Azerbaijan Academy of Science; National Scientific Centre for Medical and Biotechnical Research - Ukraine; Biochemack - Russian Federation; King's College London - United Kingdom. Pretende aplicar directamente la biorremediación en regiones en peligro. Según los estudios y resultados anteriores, estos esfuerzos, naturales o diseñados, son reconocidos como

capaces de degradar los hidrocarburos, se usarán in situ y su efectividad se probará. Todos los factores que limitan las tasas de degradación en la biodegradación se identificarán adecuadamente y señalarán.^h

3. *Desarrollo de tecnologías industriales sustentables benignas medioambientalmente, para la remediación de sitios contaminados por desechos industriales y petroquímicos utilizando microorganismos recién aislados y diseñados.* Wageningen University - Nederland; University Of Florence; Institute Of Biochemistry And Physiology Of Microorganisms - Russian Academy Of Sciences; Freiberg University Of Mining And Technology - Deutschland, Jsc Nizhnekamskneftekhim - Russian Federation; Kazan State University - Russian Federation. Debido a la recuperación y procesamiento de petróleo y la producción de petroquímicos, muchos lugares en la Federación Rusa se encuentran fuertemente contaminados por los componentes del petróleo crudo, sobre todo por los hidrocarburos poliaromáticos, diesel y petroquímicos. Esto se debe principalmente al hecho de que muchas de las fábricas no poseen tecnologías modernas para el tratamiento del agua del desecho industrial. El objetivo del proyecto es crear tecnologías sustentables medioambientalmente para la biorremediación de suelos y aguas contaminadas por petróleo y para la purificación de aguas naturales e industriales contaminadas mediante comunidades microbianas recientemente aisladas y microorganismos genéticamente modificados.ⁱ

4. *Dirección medioambiental: supervisión y biorremediación de los contaminantes orgánicos en la cuenca del Río Dnieper.* University of Florence; Moscow State University; Institute of Nature Management and Ecology UKRAINE; National Research Centre for Biotechnology DEUTSCHLAND; National Scientific Centre for Medical Problems and Biotechnical Research UKRAINE. Es un proyecto multidisciplinario relacionado con los problemas ecológicos del río Dnieper - el mayor río de Ucrania que fluye al Mar Negro. La investigación propuesta abarca el seguimiento sistemático de contaminantes orgánicos en la parte más baja del río Dnieper; la estimación de los impactos medioambientales de las principales unidades industriales y agrícolas contaminadas en estas regiones y el Mar Negro; y el desarrollo de tecnologías de biorremediación destinadas a la desinfección de los sitios contaminados en las zonas anteriores. Esta investigación permitirá establecer un conjunto de prioridades en el desarrollo y aplicación de los métodos biotecnológicos para la descontaminación en los lugares más afectados.^j

Es posible apreciar como todos estos proyectos se concentran en la biorremediación de zonas contaminadas, sean marinas o terrestres.

Otros proyectos de los que se tuvo referencia son los desarrollados por el Grupo de Trabajo: *Regulación del metabolismo de hidrocarburos en bacterias*, divulgados por medio del sitio en Internet de la Fundación para el Conocimiento MadrI+D, de España. A continuación se presenta una tabla con el nombre, fecha de inicio y fin; así como una breve descripción de los principales proyectos de este grupo ([tabla 3](#)).

CONCLUSIONES

1. Cuba ha dado pasos en el empleo de técnicas biotecnológicas para la descontaminación de suelos y aguas, la recuperación mejorada de crudo, la producción de biocombustibles y la obtención de combustibles más limpios. Sin embargo, aún en

el sector petrolero cubano se realizan procesos por otros métodos que no son biológicos, y de los biológicos algunos no están incorporados a la industria sino que se encuentran en fase de investigación.

2. Existe un crecimiento sostenido, a medida que transcurren los años, de la producción de artículos sobre la biotecnología del petróleo, y ello muestra un interés internacional creciente sobre el tema.

3. Las revistas de Estados Unidos, entre ellas, *Applied and Environmental Microbiology*, se encuentran entre las más productivas sobre biotecnología del petróleo en el período analizado.

4. El autor más productivo en el período 2003-2007, fue el doctor japonés *Kasuya Watanabe* (14 artículos), quien en el año 2006 fue considerado un líder de opinión en el tema de la biodegradación del medio ambiente.

5. La mayoría de los artículos son producidos por equipos pequeños, de 3 autores, y es muy raro que más de 8 autores publiquen bajo una misma contribución.

6. Las instituciones, o unidades de instituciones, de Estados Unidos son las más productivas con respecto al número de artículos publicados en el desarrollo de la biotecnología petrolera, en comparación con el resto de los países. Cuba presenta sólo 1 contribución, relacionada con la biodegradación mejorada del petróleo crudo *Casablanca* mediante el empleo de un consorcio microbiano, proveniente del Centro de Biotecnología y Microbiología Industrial, de la Universidad de Oriente.

7. Los países asiáticos son los que presentan mayores índices de colaboración para la publicación. En este sentido, se destaca el *Marine Biotechnology Institute*, de Japón, como el centro que ha establecido un mayor número de lazos para la publicación de artículos sobre el tema tratado, aunque también sobresale por ser la institución con mayor número de artículos (14, el 5,6% del total de los artículos publicados).

8. En su mayoría, los vínculos se establecen entre universidades y centros de investigación, o entre universidades y compañías, y ello revela una correspondencia entre la academia y la empresa.

9. Las relaciones más fuertes de colaboración tienen lugar entre China y Rusia, y entre Japón y la República de Palau. China es el país que más se asocia para la publicación de trabajos sobre biotecnología petrolera.

10. Entre las temáticas más frecuentes en los artículos analizados, se encuentran: biodegradación medioambiental, biorreactores y su microbiología, microbiología del suelo, metabolismo de los contaminantes terrestres, metabolismo de los hidrocarburos, desechos industriales, métodos de disposición de fluidos de desechos, metabolismo químico de los contaminantes del agua, biomasa, catálisis, reacción en cadena de la polimerasa y especificidades de la especie.

11. Sobre biodegradación ambiental el país que más publica es Japón. En el caso de la microbiología del suelo resalta Estados Unidos. En el estudio del metabolismo del petróleo sobresale la India, y en relación con los biorreactores, México.

12. Corea y la India son los países que más tópicos comunes comparten.
13. La mayoría de los proyectos de la base de datos CORDIS se concentran en la biorremediación de zonas contaminadas, sean marinas o terrestres.
14. A pesar de los datos analizados, muchos son los retos a los que se debe hacer frente en los años venideros. La respuesta puede venir de la mano de la aplicación de la biotecnología, que permitirá al sector energético desarrollar productos y procesos respetuosos con el medio ambiente y tecnologías que permitan la descontaminación.

RECOMENDACIONES

- Repetir el presente estudio empleando como fuente de información la base de datos denominada *Chemical Engineering & Biotechnology Abstracts*, considerada mucho más pertinente para el tema estudiado y contener la colección mundial más amplia de información sobre ingeniería química y biotecnología existente. Procesa más de 500 revistas principalmente técnicas, libros, patentes de biotecnología, boletines de prensa e informes técnicos.
- Determinar con mayor nivel de especificidad el acontecer internacional con respecto a las tecnologías empleadas en la biotecnología petrolera, y complementar el presente estudio con una investigación sobre las patentes internacionales en esta área.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aburto J, Rojas Avelizapa N, Quintero Ramírez R. La biotecnología actual y su impacto en la industria de la refinación del petróleo. *Biotecnología Aplicada* 2003;20(1):57-65. Disponible en: <http://elfosscientiae.cigb.edu.cu/PDFs/BA/2003/20/1/BA002001057-065.pdf> [Consultado: 18 de junio de 2007].
2. Unión Cubapetróleo. Unión Cubapetróleo: Proyección estratégica 2008-2012. La Habana: Unión Cubapetróleo; 2008.
3. Carrillo EL. Biotecnología del petróleo. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos38/biotecnologia-petroleo/biotecnologia-petroleo.shtml> [Consultado: 30 de junio de 2008].
4. Microsoft Corporation. Encarta 2007. Washington DC: Microsoft Corporation; 2007.
5. IALE Tecnología. Identificación y análisis de oportunidades emergentes en tecnologías de la información y comunicaciones para empresas chilenas de base tecnológica. Santiago de Chile: IALE Tecnología; 2006.

6. CONYCIT. La biotecnología también está en el petróleo. 2004. Disponible en: <http://www.conicyt.cl/dossier/2004/biotecnologia/biotec-petroleo.html> [Consultado: 4 de julio de 2008].

7. Cátedra Doctores Honoris Causa. Ciencia UANL 2003;VI(3). Disponible en: <http://w3.dsi.uanl.mx/publicaciones/ciencia-uanl/vol6/3/pdfs/miscelanea.pdf> [Consultado: 30 de junio de 2008].

8. Quintero Ramírez R. Tecnología más limpia por medio de la biotecnología. Biotecnología Aplicada 2000;17(1). Disponible en: <http://elfoscientiae.cigb.edu.cu/PDFs/BA/2000/17/1/45-53.pdf> [Consultado: 23 de junio de 2008].

9. Biotecnología del petróleo. Disponible en: http://www.mundopetroleo.com/scripts/reportaje_h_15.asp [Consultado: 25 de junio de 2008].

10. González Barreiro L, López Martínez O. Microorganismos degradadores de petróleo: una vía para el saneamiento de los mares. Disponible en: [Consultado: 22 de junio de 2008]. <http://www.bibliociencias.cu/gsd/cgi-bin/library?a=q&r=1&hs=1&e=q-000-00-0bdref-bdref%2Ceventos%2Clibros%2Cnewemp%2Crevistas%2Ctesis-01-0-0-0prompt-10-4-dte-0-1l-1-es-50-20-about-biotecnolog%C3%83%C2%ADa+del+petr%C3%83%C2%B3leo-00031-001-1-0utfZz-8-00&h=dte&t=1&q=bioproductos>

11. Microorganismos versus petróleo. 1999. Disponible en: <http://www.invdes.com.mx/anteriores/Julio1999/hm/imp74.html> [Consultado: 26 de junio de 2008].

12. CUPET. Cultura petrolera. Observaciones no publicadas.

13. Fundación OPTI. Impacto de la biotecnología en los sectores Industrial y energético. Estudio de prospectiva. Madrid: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio; 2006. Disponible en: http://www.opti.org/pdfs/resumen_biotecnologia.pdf [Consultado: 29 de junio de 2008].

14. Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras). Segmentación microbiana de enlaces c-n orgánicos. Oficina Cubana de la Propiedad Industrial: CU 22975 A3. 2004-09-09.

15. Perfil de proyecto. Creación del Centro de Biotecnología del Petróleo y Biocatálisis Ambiental. Disponible en: [http://www.idea.gob.ve/proyectos/Proyectos/infraestructura/Ficha4XCreaciondelCentroNacionaldeBiotecnologiadelPetroleo\(CNBP\).pdf](http://www.idea.gob.ve/proyectos/Proyectos/infraestructura/Ficha4XCreaciondelCentroNacionaldeBiotecnologiadelPetroleo(CNBP).pdf) [Consultado: 29 de junio de 2008].

16. Álvarez González JA, Novoa Rodríguez G, Núñez Clemente AC. Tecnología para el tratamiento de residuos sólidos petrolizados y suelos contaminados por hidrocarburos. La Habana: Centro de Investigaciones del Petróleo; 2006.

17. Programas Nacionales de Ciencia e Innovación Tecnológica (PNCIT): Desarrollo energético sostenible. Red de la Ciencia en Cuba. Disponible

en: <http://resultados.redciencia.cu/resultados/resultados.php?idpnct=6&pag=1> [Consultado: 24 de junio de 2008].

18. AEM. About Applied and Environmental Microbiology. Disponible en: <http://aem.asm.org/misc/about.shtml> [Consultado: 30 de junio de 2008].

19. MBIC: WDCM 831: Marine Biotechnology Institute Culture Collection. Marine Biotechnology Institute. Disponible en: <http://wdcm.nig.ac.jp/CCINFO/CCINFO.xml?831> [Consultado: 21 de junio de 2008].

20. Tripathi K. Marine biotechnology. New opportunity frontier. 2001. Disponible en: <http://www.hinduonnet.com/businessline/2001/04/25/stories/042567ka.htm> [Consultado: 25 de junio de 2008].

21. EU puts emphasis on innovation in the field of Biotechnology. 2007. Disponible en: <ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/docs/bio-strategy-review.pdf> [Consultado: 27 de junio de 2008].

22. Microsoft Corporation. Encarta 2008. Washington DC: Microsoft Corporation; 2008.

23. Holst Jørgensen B. Tecnologías clave para la energía en Europa. Disponible en: http://www.madrimasd.org/informacionIDI/biblioteca/Publicacion/doc/vt_ce4_tecnologias_clave_energia_europa.pdf [Consultado: 25 de junio de 2008].

24. Garza González MT. Aislamiento de microorganismos con alta capacidad de tolerar y remover Pb(II), Cr(VI), Cd(II), Cu(II), Zn(II) y Ni(II). [Tesis para optar por el grado científico de Doctor en Ciencias Biológicas]. La Habana: Universidad de La Habana; 2005.

25. Wikipedia. Biorreactor. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Biorreactor> [Consultado: 24 de junio de 2008].

26. Wikipedia. Catálisis. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Cat%C3%A1lisis> [Consultado: 30 de junio de 2008].

27. Sánchez Martín S. Departamento de Biocatálisis. El desarrollo de la ciencia depende más de la continuidad que de la innovación. Disponible en: <http://www.madrimasd.org/cienciaysociedad/entrevistas/quien-es-quien/detalleGrupo.asp?id=97> [Consultado: 28 de junio de 2008].

28. Soberón Mainero X. La ingeniería genética y un campo de aplicación: la biocatálisis y la industria química limpia. México DF: UNAM. Instituto de Biotecnología; 2002. Disponible en: <http://cursweb.educadis.uson.mx/janoriega/documentos/Compartidos/IngGeneticaparalaBiocatalisis.pdf> [Consultado: 27 de junio de 2008].

29. Wikipedia. Reacción en cadena de la polimerasa. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Amplificaci%C3%B3n_gen%C3%A9tica [Consultado: 23 de junio de 2008].

30. Ortiz Bernad I; Sanz García J; Dorado Valiño M; Villar Fernández S. Técnicas de recuperación de suelos contaminados. 2006. Disponible en: <http://www.madrimasd.org/cienciaysociedad/resenas/ensayos/resena.asp?id=260> [Consultado: 29 de junio de 2008].

31. Guía técnica de atenuación natural monitorizada en emplazamientos contaminados. Técnicas de bioestimulación y bioaumentación para la potenciación de la biodegradación de contaminantes. Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/2749/1/37786-1.pdf> [Consultado: 19 de junio de 2008].

32. Guía ambiental para la disposición de desechos de perforación en la actividad petrolera. Disponible en: <http://www.minem.gob.pe/archivos/dgaee/legislacion/guias/guiadisposidedechos.PDF> [Consultado: 26 de junio de 2008].