

# Los halos de inhibición en la remediación de suelos amazónicos contaminados con petróleo

## *Inhibition halos in the remediation of Amazon soils contaminated with petroleum*

*Nicolás Cuvi*

Profesor investigador, Departamento de Desarrollo, Ambiente y Territorio/Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales.  
La Pradera e7-174 y Diego de Almagro  
Quito – Ecuador  
ncuvi@flacso.edu.ec

*Monserrathe Bejarano*

Investigadora y asesora de rectorado/  
Universidad Regional Amazónica Ikiam.  
Km 7.5 Vía Muyuna, Parroquia Muyuna  
Tena – Ecuador  
monserrathe.bejarano@gmail.com

Recebido para publicação em novembro de 2013.

Aprovado para publicação em junho de 2014.

<http://dx.doi.org/10.1590/S0104-59702015000500009>

CUVI, Nicolás; BEJARANO, Monserrathe. Los halos de inhibición en la remediación de suelos amazónicos contaminados con petróleo. *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*, Rio de Janeiro, v.22, supl., dez. 2015, p.1693-1714.

### Resumen

Se analiza la historia de la biorremediación de suelos contaminados con petróleo en la Amazonía ecuatoriana desde 1994 hasta 2014. Constatamos que si bien hubo “éxitos” tecnocientíficos, la oportunidad de cimentar un proceso de excelencia científica se vio frustrada por la carencia de voluntad política para gestionar la investigación. Parecen haber influido la dependencia de tecnología extranjera, la poca articulación interna entre programas de investigación e instituciones, la corrupción, la poca tradición innovadora en la biotecnología nacional, el predominio de biobraceros y una dicotomía construida entre petróleo y ambiente. Se articulan estos resultados en torno a debates sobre ciencia y tecnología en la periferia y se reflexiona sobre aspectos necesarios para consolidar procesos tecnocientíficos de excelencia en estos territorios.

Palabras clave: biorremediación; biotecnología; contaminación; petróleo; Ecuador.

### Abstract

*We analyze the history of bioremediation of soils contaminated with petroleum in the Ecuadorian Amazon from 1994 to 2014. Although there were some technoscientific “successes,” we argue that the opportunity to develop a process of scientific excellence was thwarted by lack of an institutional framework and the political will to oversee research and innovation. Dependence on foreign technology, insufficient internal coordination among research programs and institutions, corruption, lack of a national tradition of biotechnological innovation, the predominance of “biobraceros,” and a dichotomy between oil and the environment all influenced this process. We discuss these issues in relation to science and technology on the periphery and examine what is needed to consolidate technoscientific processes of excellence in those territories.*

*Keywords: bioremediation; biotechnology; contamination; petroleum/oil; Ecuador.*

En el Estado ecuatoriano, que en 200 años de vida poscolonial no ha sido tradicionalmente un productor masivo de tecnociencia al estilo “moderno”, hay renovados intereses en fomentar la investigación orientada a resolver problemas locales, de sus habitantes y sociedades. Esta intención de reforzar lo local no es novedosa; por ejemplo, fue emprendida, desde la década de 1940, por varios países latinoamericanos, algunos con mayor éxito, bajo el nombre de “sustitución de importaciones” en el marco de la teoría de la dependencia sostenida por autores como Prebisch (1949).

En Bolivia se ha detectado una intención similar de generar ciencia para servir a la nación y no necesariamente para contribuir al conocimiento “universal” (McGurn, 2010). Esto sucede como estrategia para evitar la fórmula de importar intereses de investigación, máquinas, científicos. Es decir, de dejar atrás una estructura de base tecnológica exógena (Sagasti, 2011, p.23) que produce en función de intereses alejados de las necesidades locales (fuga interior de cerebros según Polanco, 1986). En otras palabras, se busca evitar una suerte de “mimetismo de la periferia, que lleva a copiar hasta los peores productos y procesos del centro” (Arocena, 1995, p.45). Estas distorsionadas estructuras existirían, entre otras razones, gracias a la diseminada idea de que hay unas ciencias universales, en las que los científicos de todo el mundo participarían en igualdad de condiciones, aunque en realidad lo que existiría sería “una correlación inequívoca entre los centros de poder a nivel político y económico y los lugares desde donde se deciden las cuestiones que se consideran pertinentes desde el punto de vista científico” (De Greiff, 2002).

Las críticas a la dependencia tecnocientífica no son novedosas (Polanco, 1986; Núñez, 1999; Sagasti, 2011). El hecho de que ciertas estructuras de la tecnociencia, en sus articulaciones local-global y Sur-Norte, construyen dependencia y no siempre representan soluciones, ha sido identificado, por ejemplo, en los procesos de transferencia de tecnología de la Revolución Verde con sus negativas consecuencias socioeconómicas y ambientales (Bajaj, 1988; McNeill, 2003, p.273-277).

¿Pero hasta qué punto es posible que las declaraciones e intenciones de Bolivia, Ecuador y otros Estados se materialicen en procesos de excelencia tecnocientífica local? Para averiguarlo, escogimos indagar sobre el desarrollo y aplicación de una biotecnología orientada a solucionar un problema ambiental local: la biorremediación de suelos amazónicos contaminados por petróleo. El caso resultaba interesante por tratarse de una biotecnología desarrollada en un Estado altamente dependiente del petróleo – el Ecuador –, y al mismo tiempo inserta en un sistema sociotécnico global, tradicionalmente identificado con impactos ambientales negativos y con la movilización de grandes cantidades de dinero, negociaciones políticas y geopolíticas, tecnología etc.

Nos preguntamos si esta biotecnología contestó eficientemente la dependencia y los instrumentos de la gobernanza global de la tecnociencia en el siglo XXI y si pudo erigirse en algo más parecido a una “tecnología social”, de acuerdo con lo planteado por Thomas (2009). Reinterpretando a Freire (1976), quisimos saber si la biorremediación era una “tecnología de la liberación”, partiendo de que la tecnología puede ser liberadora siempre y cuando se localice, pero también puede tener el efecto contrario: el de perpetuar estructuras que legitiman y promueven las desigualdades a diferentes escalas. Indagamos si la biorremediación, en la forma en que circuló en el Ecuador, perpetuó o no, reinventó o no, modelos tradicionales de

dependencia científica, si generó más problemas que soluciones o si fue un acto de excelencia científica en la periferia (Cueto, 1989),<sup>1</sup> de transición hacia un modelo diferente de entender y aprovecharse de la tecnociencia. ¿Fue este otro típico caso de base tecnológica exógena o de fuga interior de cerebros? ¿Podría tratarse de otro fomento de biobraceros, es decir, de técnicos y científicos que realizan muy poca investigación innovadora, menos aún teoría, cuyo potencial está destinado a la aplicación y fortalecimiento de paradigmas construidos en otros territorios, dependientes de conocimientos y tecnología deslocalizada (Cuvi, 2013)? ¿Hubo alrededor de la biorremediación un núcleo científico que se implantó, prosperó y dio frutos, dando lugar a una “isla de competencia” (Oliveira, 1985)? ¿Fue un sistema sociotécnico que implicó la aplicación de las capacidades humanas, los recursos económicos y la biodiversidad local a la resolución de un problema ambiental? En principio nos pareció que la biorremediación sería un caso de desarrollo de una biotecnología pertinente o apropiada (Sagasti, 2011, p.114).

Coincidimos en que el debate acerca de la investigación científica debe insertarse en una crítica constructiva de los modelos de desarrollo que tienda a evitar el desperdicio de los recursos humanos y materiales para que la ciencia, en ciertos territorios, deje de ser periférica tanto interna como internacionalmente y, “más grave aún, satelital” (De Greiff, 2002). Pensamos que este estudio permite analizar a un nivel micro cómo se aprovechan esos recursos y también – como veremos –, cómo y por qué se desperdician. Puede ayudar a entender los rasgos del proceso de institucionalización que facilitan u obstaculizan que la ciencia moderna prospere en contextos periféricos (Lafuente, Ortega, 1992, p.98).

Mirar casos locales para debatir sobre el hecho tecnocientífico es pertinente además si se consideran que una misma tecnociencia no tiene efectos similares en diferentes contextos (Kranzberg, 1986; Núñez, 1999; Nieto-Galán, 2000). Está en línea con la aproximación constructivista de los estudios de la ciencia que propone que “algunos de los valores más importantes que gobiernan la práctica científica son bastante locales” (Golinski, 2005, p.22), aunque una indagación y explicación situada no signifique eludir el análisis de las complejas articulaciones local-global y Sur-Norte.<sup>2</sup> Esta investigación arroja luces sobre cómo la tecnociencia se inserta, imbrica y relaciona local y globalmente con otras capas de la cultura como la economía, la política, las ideologías, el poder, las instituciones académicas y de investigación, la educación etc. La tecnociencia no está más allá de la cultura, sino que es cultura vinculada con las pasiones e intereses locales y geopolíticos, con el poder, por lo cual adquiere propiedades emergentes en cada caso.

Los estudios críticos sobre la ciencia y la tecnología tienen una tradición importante desde la década de 1970, con aproximaciones más radicales como la de Feyerabend (1982) u otras asociadas con el programa fuerte y la sociología constructivista del conocimiento científico, orientada hacia aspectos como el estudio de las controversias, el enfoque naturalista de investigación y el abordaje de la ciencia como cultura (Golinski, 2005). Compartimos la base de esta propuesta sin que ello signifique una negación de la pertinencia (y necesidad) del conocimiento y de los artefactos tecnológicos para la humanidad. De Kuhn (2001), tomamos la idea de considerar los momentos de ruptura y cambio, retomada entre otros por Latour (2008), quien añade la propuesta de indagar las asociaciones entre actores, incluidos los no humanos, en simetría. Esta consideración de la “agencia de lo no humano” también proviene de la historia ambiental (Worster, 1988).

En el estudio se alude a la (compleja y criticada) idea de periferias de la ciencia, visitándola no desde un modelo de déficit sino a través de casos de excelencia científica (Cueto, 1989) que habrían sido poco estudiados (De Greiff, Nieto, 2005, p.63). Destacar la excelencia donde la hubiera nos parece necesario entre otros aspectos porque la idea de periferia científica construye imágenes deformadas de la historia y de la contemporaneidad (Restrepo, 2000), algo que no parece positivo para el desarrollo de sistemas de pensamiento endógenos. Y si bien nos adscribimos a un lenguaje que alude a la “circulación” de ideas y tecnologías (en vez de meras “difusiones” y “transferencias”), no significa que pretendamos echar una cortina de humo sobre una realidad que persiste, esto es el uso de los términos centro y periferia en el lenguaje y en el imaginario, en diferentes ámbitos académicos, por lo menos desde el polémico artículo de Basalla (1967)<sup>3</sup> y que las transferencias de tecnología existen, como se verá más adelante.

Seguimos la orientación de entender a la ciencia como política, indagando los procesos científicos como parte de las relaciones de poder. Coincidimos en que “el conocimiento científico y la tecnología son inseparables del ejercicio de la autoridad, del control y de la dominación” y que es necesario investigar “las prácticas científicas en sí mismas para poder hacer visibles sus consecuencias políticas” (De Greiff, Nieto, 2005, p.61).

Finalmente, el artículo se inserta en el amplio debate sobre las biotecnologías en la actualidad. Pese a sus promesas, algunas de estas formas de la tecnociencia no han cumplido, ni mucho menos, con lo que se propusieron; más bien han generado algunas amenazas (Bud, 1993, p.126). En parte por ello se requiere conocerlas, para evaluar mejor los mecanismos para su gobernanza (véase entre otros: Jasanoff, 2006; Rifkin, 2009).

Los abordajes teóricos anotados antes estuvieron reflejados en las técnicas aplicadas: análisis de textos, líneas del tiempo, observación, mapa de actores y entrevistas. Las fuentes textuales incluyeron: bibliografía sobre biorremediación (que es escasa, pues no se ha realizado ninguna investigación sobre este tema desde la historia de la ciencia o desde los estudios CTS); informes de una consultora ambiental; notas de prensa; tesis de pregrado; informaciones de la empresa estatal de petróleos (Petroecuador) y referencias acerca de la industria petrolera en el Ecuador. Las entrevistas fueron realizadas a científicos/as y gestores de universidades donde se realizó la investigación sobre biorremediación, a un/a funcionario/a de una consultora dedicada a la remediación de contaminación por petróleo y a un/a funcionario/a de la compañía estatal de petróleos. La visita de campo ocurrió en la Estación Sacha Central, en la Amazonía, donde está el Centro de Investigación de Tecnologías Ambientales (Citvas). Como ambos autores fuimos estudiantes en la Escuela de Biología de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (Puce) durante la década de 1990, ciertas informaciones sobre esa institución las conocemos de primera mano.

En el análisis de los datos priorizamos la identificación de períodos de crisis/cambio y tratamos de establecer qué las desencadenó, sin importar su índole (científica, tecnológica, institucional, legal, ambiental, económica, política etc.). La línea del tiempo y el mapa de actores permitieron ubicar a los protagonistas en el período de dos décadas y detectar sus asociaciones, rupturas o cambios importantes.

El artículo continúa con una breve historia de la biorremediación en el mundo, de la contaminación por petróleo en la Amazonía ecuatoriana y de los conflictos socioambientales

que ha generado. Luego se presenta la historia de la innovación, investigación y aplicación de esa biotecnología entre 1994 y 2014. El “halo de inhibición” fue la metáfora que emergió del trabajo. Está inspirada en el fenómeno que ocurre en el laboratorio cuando una mancha de bacterias se extiende sobre el petróleo, desde el centro de la caja petri hacia los bordes; este es el indicador de que esa bacteria es útil para los procesos de biorremediación (Figura 1). En esta historia, en ocasiones, la inhibición ocurrió para detener los procesos de innovación e investigación científica y tecnológica. Al final del artículo nos apropiamos y giramos la metáfora para referirnos al papel que podrían desempeñar las instituciones que gestionan la ciencia y la tecnología para crear un halo de inhibición que permita limpiar la sociedad.

### **La biorremediación de contaminación con petróleo**

Si bien se ha realizado biorremediación de hidrocarburos desde hace 70 años (Zobell, 1946),<sup>4</sup> el tema adquirió momentum a partir del derrame de crudo del barco Exxon Valdez en Alaska en 1989; fue entonces cuando se aplicaron por primera vez técnicas de biorremediación a gran

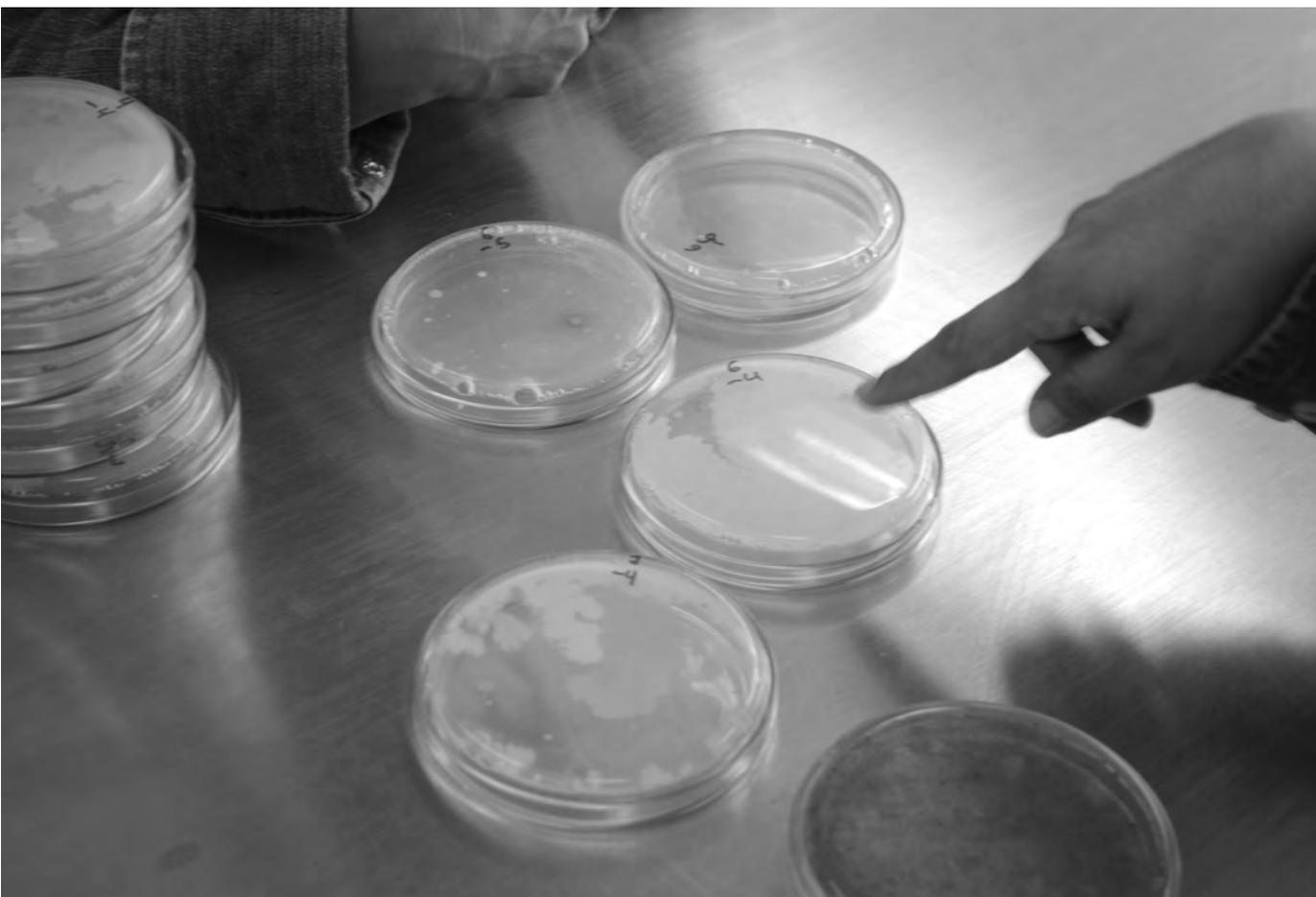


Figura 1: Halos de inhibición en cajas petri, Citvas (foto de dic. 2012)

escala en ecosistemas marinos (Atlas, Hazen, 2011). En los mares, dado que los hidrocarburos regularmente escapan desde sus reservas subacuáticas al ambiente, hay cientos de especies de bacterias, archaea y hongos que los usan como fuente de carbón y energía.

La mayoría de hidrocarburos de petróleo son biodegradables bajo condiciones aeróbicas, aunque algunos presentan rangos de biodegradación imperceptibles. Los crudos livianos son más rápidamente biodegradados. Los hidrocarburos policíclicos aromáticos, extremadamente tóxicos para plantas y animales, son convertidos por las bacterias en biomasa, CO<sub>2</sub> y agua, aunque para ello pueden requerir aportes iniciales de oxígeno y enzimas. También puede ocurrir degradación anaeróbica, pero mucho más lenta (Atlas, Hazen, 2011, p.6709).

Hoff (1993, p.477) propuso – basada en el tema marino – una periodización de tres etapas en torno a la biorremediación hasta 1993:

- (1) pre-1989, principalmente un periodo de investigación, cuando la biorremediación era poco conocida fuera de las comunidades de la microbiología o de manejo de residuos peligrosos ...
- (2) 1989-1991, ... cuando la biorremediación como tecnología concitó amplia atención e interés. Al final de [este] periodo, vino un momento de desilusión pues la promesa de la tecnología no siempre nació de su aplicación en situaciones reales; y
- (3) 1992 hasta el presente. Durante este tiempo, la biorremediación ha alcanzado un cierto nivel de aceptación, con expectativas más realistas que antes, pero el nivel de interés y atención ha disminuido considerablemente.

En la Amazonía ecuatoriana, la biorremediación se aplica desde la década de 1990 para tratar los suelos contaminados con petróleo desde c.1970 hasta los derrames en la actualidad. Mucha parte del crudo, mezclado con el suelo, no puede ser recuperado para tratarlo en una estación y reinyectarlo a la producción, por lo cual es recogido con palas mecánicas y volquetas y luego transportado a explanadas para su biorremediación. En las explanadas se usan sobre todo dos técnicas para remediar el suelo: compostaje y *landfarming*. La elección de la técnica depende especialmente de la cantidad de lluvia, suelo y maquinaria disponible (Petroecuador, 2011, p.27; Entrevista 1, Entrevista 3, Entrevista 4). El compostaje se hace en grandes pilas que son removidas con maquinaria para que la pila se oxigene; en el *landfarming* las pilas son menos altas y la aireación es estática. En ambos casos se agrega a esos suelos grandes cantidades de microorganismos y moléculas producidas en el laboratorio (bacterias, levaduras, hongos, mohos, enzimas, componentes celulares) para que aceleren la degradación de los hidrocarburos. Las bacterias son producidas mediante un aparato llamado biorreactor. A veces se agregan nitrógeno y fosfatos para ayudar a las bacterias, que tienen alta disponibilidad de carbono en el sustrato pero no de los otros elementos (Atlas, Hazen, 2011, p.6709; Entrevista 1, Entrevista 3, Entrevista 4).

Las bacterias son el grupo de microorganismos más usado para la biorremediación. Son colectadas en el campo, especialmente en sitios donde ha habido derrames, llevadas al laboratorio, identificadas hasta el máximo taxón posible, y colocadas en cajas petri junto con hidrocarburos para determinar su capacidad degradadora. Si en la caja petri aparece el halo de inhibición, significa que esa bacteria es capaz de “comer” hidrocarburos (Entrevista 3). Algunas bacterias pueden ser asociadas en consorcios, que son grupos que actúan de manera conjunta y aceleran los procesos.

## La contaminación con petróleo en la Amazonía ecuatoriana

Hasta comienzos de la década de 1970, el Ecuador era un país agrícola por excelencia: por un lado había monocultivos, orientados a los mercados externos, y por el otro había una producción diversificada para los mercados locales. La mayoría de la población vivía en el área rural, había poca industrialización y la actividad pesquera industrial estaba en estado incipiente. Pero tras el hallazgo de crudo en la Amazonía norte, en 1967, se convirtió en un Estado petrolero. Desde entonces se han promovido actividades de exploración, explotación, transporte y, en menor medida, de refinación de crudo, a veces a cargo de compañías extranjeras, a veces con más participación de la compañía estatal de petróleos.

El complejo tecnológico de donde se extrae el crudo tiene su epicentro entre las ciudades de Lago Agrio, Coca y Shushufindi, sobre y rodeado por territorios ocupados ancestralmente por pueblos indígenas. Este complejo contiene oleoductos y poliductos, estaciones de bombeo y tratamiento, residencias, carreteras, helipuertos, aeropuertos, pueblos y ciudades etc.; el petróleo, que es para la exportación, pasa por encima de la cordillera de Los Andes y desciende hasta el puerto de Esmeraldas a través del Oleoducto Transecuatoriano y del Oleoducto de Crudos Pesados.

La historia crítica de la actividad petrolera en el Ecuador de las últimas cuatro décadas ha enfatizado sus consecuencias negativas, ambientales, sociales, culturales y en la salud de las personas.<sup>5</sup> Muchas reflexiones recientes han estado asociadas con la denuncia judicial de la multinacional Chevron (antes Texaco) por las afectaciones causadas, desde el inicio de sus operaciones en 1967, al suelo, agua, biodiversidad y a la salud de los habitantes de la Amazonía norte. Durante poco más de dos décadas, Texaco ocasionó una gran contaminación mediante “piscinas” (formadas con el crudo que sale al perforar un pozo), derrames por roturas de los ductos y vertidos de aguas de formación que contienen metales pesados. Cuando Texaco terminó su contrato en 1990, dejó cerca de medio millón de hectáreas de suelo contaminado, así como instalaciones que seguían vertiendo aguas de formación a los riachuelos y ríos. Ante esta suciedad y las graves afectaciones a la salud (algunos peritajes sugieren la incidencia de ciertos tipos de cánceres inusuales), un grupo de abogados estadounidenses, en alianza con ecuatorianos, promovieron la organización de pueblos indígenas y campesinos afectados, para que presentasen, en 1993, una demanda colectiva contra Texaco en las cortes de Nueva York, alegando que las decisiones que habían llevado a la contaminación fueron tomadas en EEUU, contraviniendo las leyes de ese país. Se exigía la remediación de la contaminación e indemnizaciones por las afectaciones a la salud y al ambiente. Desde entonces, el juicio ha tenido todos los ingredientes de una novela de suspenso, moviéndose entre cortes estadounidenses, ecuatorianas, de otros países e instancias internacionales. Entre los últimos sucesos, en 2011, una corte ecuatoriana sentenció a Chevron a pagar nueve mil millones de dólares para efectuar la remediación de sus daños ambientales, valor que se duplicó cuando la compañía no presentó disculpas públicas a los afectados. La dificultad de ejecutar esa sentencia es que Chevron no tiene activos en el Ecuador, por lo que se ha pedido su embargo en naciones que incluyen Brasil, Argentina y Canadá. En marzo de 2014, Chevron consiguió que se prohibiera el embargo de sus activos en los EEUU y ha acudido a instancias como el Tribunal de La Haya para que la responsabilidad del pago decretado por las cortes ecuatorianas

sea transferida al gobierno del Ecuador. Y en agosto de 2015 una corte estadounidense dictaminó que Ecuador debe de pagar una indemnización de 96 millones de dólares a Chevron basada en un tratado bilateral de inversiones firmado por ambos países en 1993, sentencia que el Ecuador ha rechazado.

Este “juicio del siglo”, junto con la difusión en los medios de comunicación de los impactos de algunos derrames de crudo en áreas protegidas desde la década de 1980 y de los episodios de contaminación que ocurren a menudo hasta la actualidad, fueron decisivos para llamar la atención nacional sobre las consecuencias negativas de la actividad petrolera. En más de un sentido consiguieron que mucha de la población de un país rentista del petróleo asumiera que su riqueza económica ha estado asociada con una pérdida localizada de salud y calidad de vida y con la afectación a la Amazonía. En parte como respuesta a ese espíritu y a las presiones sociales, así como a los convenios internacionales en esta materia, en 1999 se reformó la legislación, obligando a las empresas a remediar la contaminación que generan (Ecuador, 2001). Y aunque esto por sí solo no representa una garantía de que la remediación ambiental vaya a ser ejecutada, generó un auge de la remediación ambiental, que incluye procesos de biorremediación.

## **Dos décadas de biorremediación en el Ecuador**

Situamos la circulación de la biorremediación en el Ecuador a partir de 1994, en una coyuntura doble: cuando había sido legitimada en los EEUU y cuando la contaminación de la Amazonía se había convertido en blanco de demandas legales y denuncias públicas a nivel nacional e internacional. Por entonces nada se conocía sobre biorremediación de suelos amazónicos (Entrevista 4), pero la tecnología fue considerada como potencialmente positiva para prevenir y mitigar problemas en zonas que estaban bajo mayor vigilancia como el Parque Nacional Yasuní, donde empezó a operar la compañía petrolera Maxus en 1992.

El contexto político y económico del Ecuador a fines de la década de 1990 y hasta el año 2005 podría describirse como inestable (con destituciones sucesivas de presidentes, un feriado bancario y dolarización) y neoliberal (con políticas de privatización y apertura a capitales multinacionales, débil participación del Estado en los beneficios y operaciones, y confianza en el mercado como regulador). En este contexto, nos parece que la biorremediación no solo llegó como una forma de mitigar la contaminación, sino también como una oportunidad novedosa de actuar en el ámbito petrolero y obtener parte de sus beneficios, de paso “enverdeciendo” la imagen de la industria. Habría sido una acción motivada por una mezcla de intereses políticos, económicos y ambientales, a la que concurrió la tecnociencia.

La idea de usar microorganismos para biorremediar la contaminación por petróleo circuló mediada por técnicos extranjeros, llevados por la petrolera Maxus en la década de 1990: se quería difundir una tecnología que había ganado momentum a raíz de su aplicación masiva en la contaminación marina. Hacia 1994, Maxus organizó una serie de actividades que incluían conferencias impartidas por el experto Ronald Atlas; a estas reuniones fue invitada gente de la Escuela de Biología de la Puce (Entrevista 4).

Creemos que el interés de Maxus podría situarse en el hecho de que esta empresa había comenzado a explotar petróleo en el Parque Nacional Yasuní, bajo una fiscalización intensa de

grupos ambientalistas. En el interés de la Escuela de Biología de la Puce pudo influir la estrecha relación que había establecido con Maxus, realizando consultorías durante la penetración de la petrolera en el área protegida (observaciones en la década de 1990), y luego recibiendo unas instalaciones para una estación científica.

Tras los talleres organizados por Maxus, en una parte de los aproximadamente 90m<sup>2</sup> que ocupaba el Laboratorio de Bioquímica de la Escuela de Biología de la Puce, se comenzaron a realizar investigaciones sobre degradación de crudo usando microorganismos. Participaban el director de dicho laboratorio junto con estudiantes y becarios (observaciones en década de 1990). El trabajo al principio fue básico: coleccionar microorganismos y testar su capacidad de digerir crudo. El paso al campo ocurrió hacia 1998, cuando el proyecto Explotación Petrolífera y Desarrollo Sostenible en la Amazonía Ecuatoriana (Petramaz), financiado por la Comunidad Europea, contrató a la Escuela de Biología para remediar suelos en el área protegida Cuyabeno. Petramaz consideró que el grupo de la Puce tenía algo de experiencia para hacer la primera gran intervención de biorremediación en el Ecuador. Los resultados fueron positivos e infundieron confianza y experiencia en el grupo, liderado por un joven investigador quien se hizo cargo de la línea de investigación (Entrevista 4). Hubo nuevos contratos con empresas privadas y con Petroecuador, incentivados por la ley que desde 1999 obligaba a realizar la remediación. Un solo contrato podía alcanzar sumas mayores a los veinte millones de dólares (Petroproducción, 2006), recursos económicos que se tradujeron en un crecimiento de la infraestructura del Laboratorio de Bioquímica, que pasó a ocupar 300m<sup>2</sup> que fueron construidos como quinto piso del edificio norte de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, espacio inaugurado en 2002. Se hicieron investigaciones básicas y experimentales, como el aislamiento de la peligrosa y tóxica *Enterobacter cloacae*, prospectada donde se mezclan los vertidos y las heces de la Refinería Esmeraldas (en la Costa), bacteria con la cual se ensambló un organismo transgénico, al transferir sus genes a *E. coli*. El laboratorio funcionaba con tecnologías importadas (secuenciador, cromatógrafo de gas, cámaras de flujo, refrigeradora, reactivos etc.). Se hicieron varios cursos con especialistas (Entrevista 4).

Todo fluía hasta que las relaciones entre el grupo de investigación y la universidad se deterioraron, cuando la Puce, al parecer, subió los gastos indirectos (*overhead*). El grupo de investigadores se separó de la Escuela de Biología y creó una consultora ambiental, ofertando servicios de remediación que incluían los de biorremediación, siendo durante un tiempo el único proveedor. En el laboratorio de la consultora se continuó con la investigación, se inscribieron patentes sobre procesos y productos y se invirtió en la importación de costosas maquinarias, incluyendo un sistema *windrowing*, al parecer más eficiente que los tradicionales compostaje y *landfarming* (Entrevista 4). Por su parte, en la Puce no se continuó con la línea de investigación y la universidad se quedó afuera de la ecuación; en 2009 el Laboratorio de Bioquímica pasó a ser el Centro Neotropical para la Investigación de la Biomasa (CNIB), ya sin relación alguna con los aspectos de biorremediación.

Ante el éxito de la consultora ambiental aparecieron nuevas empresas remediadoras. En 2006 eran seis las empresas autorizadas para contratar con Petroecuador, aunque otras querían entrar en el negocio. La competencia fue intensa: las nuevas pugnaban por entrar y obtener contratos, las establecidas impugnaban a las recién llegadas, aduciendo que carecían de capacidad técnica y que solo tenían vínculos con funcionarios de la estatal de petróleos.

Durante la Entrevista 4, un funcionario/a de la consultora ambiental que estaba presente mencionó que

empezaron a proliferar ... las remediadoras, sin tener tecnología; el único requisito era tener alguna palanca ahí en Petroecuador ... detrás de los accionistas, de los socios ... siempre había una que otra persona de Petroecuador que estaba impulsando eso, o el amigo del amigo de una persona de Petroecuador.

El negocio era importante: según una noticia del diario *El Comercio* de Quito, entre 2004 y 2006, el Distrito Amazónico de la estatal de petróleos facturó más de setenta millones de dólares en limpieza y remediación (Sallo, 28 sep. 2006). Pero este mercado comenzó a desmoronarse cuando se cuestionó públicamente el aumento de atentados contra los ductos y se lo relacionó con la existencia de fondos para remediación. Los atentados ocurrían desde antes, pero su número aumentó cuando aparecieron las actividades de remediación. Según la organización Acción Ecológica (2006), en 2003, hubo 34 atentados, número que subió a setenta en 2005. Uno de los detonantes finales de este escándalo fue el derrame de agosto de 2006 en el área protegida Cuyabeno que tuvo una amplia cobertura mediática y que puso en el debate la supuesta vinculación entre atentados y empresas remediadoras. Un ex presidente de Petroecuador habría dicho que:

Es un secreto a voces que varios funcionarios de Petroproducción mantienen relaciones o son accionistas por terceros dentro de remediadoras, por esto las remediadoras manejan información de derrames y ofertas de las diferentes empresas ... Y sin embargo se culpa a los campesinos argumentando que ellos rompen la tubería para recibir compensaciones (Acción..., 2006, p.8).

Es así como parece que comenzaron a tener más agencia las amistades, las relaciones clientelares, que una ética de restauración ambiental. Es aquí donde la tecnociencia – la biotecnología para remediar esa contaminación – mostró sus estrechas imbricaciones con la política y el poder; se volvió política y poder.

La supuesta asociación entre atentados y contratos “a dedo” se constituyó en el argumento para impedir nuevas contrataciones externas, dando paso a un discurso centralizador de las operaciones de remediación en Petroecuador. Las empresas acreditadas continuaron siendo contratadas para gestionar residuos de la exploración, elaborar planes de manejo, realizar evaluaciones de impacto y manejo de residuos etc., pero ya no para remediación (Entrevista 4). Nos parece que se trastocó la dinámica de lo que apuntaba a ser un motor de la remediación ambiental, de la ciencia y la tecnología, de la economía etc. Lo que 10 años antes comenzó como una alianza entre una petrolera privada y una universidad privada sin fondos ni capacidades (Maxus-Puce) pasó a ser una relación entre consultoras ambientales y la estatal de petróleos por contratos millonarios. Luego de eso, la alianza fue suspendida por las dudas en torno a la contratación.

Después la empresa estatal se lanzó a administrar por sí misma el proceso de innovación y aplicación de la biotecnología, en coincidencia con un momento político de crecimiento del Estado en el Ecuador (desde 2006). Pero esta ha sido solo la primera parte de la historia: la actitud inhibidora de la estructura institucional de la empresa estatal de petróleos también estuvo presente en otros sucesos que ocurrieron paralelos a la relación Puce-Maxus-Petroecuador-consultoras ambientales.

Casi al mismo tiempo que la Escuela de Biología hizo su alianza con Maxus y luego con Petramaz (a fines de la década de 1990), funcionarios de Petroecuador habían promovido un programa de investigación en biorremediación con la Universidad Central del Ecuador (UCE), situada en Quito. En 1996, Petroecuador suscribió un convenio con la Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental (Figempa), donde se instaló un laboratorio para investigar la biorremediación (Entrevista 1, Entrevista 2).

En el laboratorio de la Figempa participaron químicos, bioquímicos, microbiólogos, farmacéuticos e ingenieros de petróleo de la UCE. Tuvieron ambiciosos objetivos, especialmente en las investigaciones sobre filosilicatos y bacterias. Se llegó a aislar una bacteria bautizada como “Rambo”, capaz de actuar sobre los hidrocarburos más recalcitrantes a la biodegradación. Se hicieron innovaciones, como un medio de cultivo para producir biomasa o un biotanco para reproducir a gran escala las bacterias y sustituir al costoso biorreactor. Sin embargo, esas innovaciones fueron poco a poco dando paso a la tradicional dependencia de tecnología, por ejemplo en forma de la importación de un biorreactor, o la realización de análisis de laboratorio en EEUU (Entrevista 1).

El convenio entre Petroecuador y la UCE duró 9 años y hemos dividido sus actividades en tres etapas: entre 1996 y 1997 se dedicaron a la recolección e identificación de bacterias (lo mismo que habían hecho en la Puce); de 1998 a 1999 se investigó su especificidad para degradar hidrocarburos, realizando más de nueve mil ensayos en el laboratorio con suelos contaminados traídos desde la Amazonía; y entre 2000 y 2004 la investigación se trasladó al Laboratorio de Ciencias Biotecnológicas (Lacib), en la Estación Sacha Central, para realizar experimentos en el campo en un espacio de aproximadamente 150m<sup>2</sup> junto a las plantas de tratamiento de crudo recuperado. Allí trabajaron los técnicos hasta 2004, cuando se terminó el convenio (Entrevista 1, Entrevista 2).

No están claras las razones que tuvo Petroecuador para terminar el convenio con la UCE; al parecer pudo ser algo tan simple como que un director (en buena medida asesorado por técnicos) afirmó en 2004 que no era prioritaria la investigación y que la estatal de petróleo podía hacerse cargo de la remediación (Entrevista 1). Tiempo después ocurrieron los cuestionamientos de la contratación de empresas privadas para realizar esos trabajos. Con las respectivas distancias de escala y alcance, esta incertidumbre sobre las motivaciones para terminar un proceso científico de excelencia también ha ocurrido en instituciones como el Instituto de Química Agrícola de Rio de Janeiro (Faria, 1997). Buscando en capas profundas, pensamos que pudo incidir el rechazo, desde la industria petrolera, a algo que venía con los prefijos “bio”, “eco” y la palabra “ambiental”, así como el control de un proceso que paga sumas millonarias. Sin duda fue algo más complejo (no pudimos entrevistar al ingeniero más cercano al proceso de transición), pero lo cierto es que de un día para el otro se terminó con un programa prometedor que contaba con años de investigación y experiencia.

Petroecuador canceló la relación con la UCE y con las remediadoras, pero como es una política de Estado remediar la contaminación, comenzó en 2005, a través de su filial Petroproducción, el Proyecto de Eliminación de Pasivos Ambientales en el Distrito Amazónico (Pepda), para la limpieza de piscinas y derrames. Para ello contrató a jóvenes recién graduados de biotecnología de la Escuela Politécnica del Ejército (Espe), universidad ubicada a unos 20km de Quito. Y aquí ocurrió una ruptura clave. En el proceso de cambio se perdió la data,

la metadata, las bacterias, los métodos, los procesos etc. por los cuales Petroecuador había invertido en la UCE (Entrevista 3). Se perdió la posibilidad de pasar a un cuarto momento, de producción industrial (Entrevista 1), basada en 9 años de investigación, pues los científicos contratados empezaron desde cero (Entrevista 3). Una evidencia de esta repetición de las investigaciones consta en una presentación de los técnicos del Pepda, realizada en las Jornadas de Biología de 2008, en la que expresaron que:

En un proceso continuo, de 20 meses de duración, se han aislado, identificado y caracterizado microorganismos en suelos contaminados ... potencialmente degradadores de hidrocarburos ... adicionalmente se realizaron estudios de relación entre cepas para la formación de asociaciones ... Producto de este trabajo, se cuenta actualmente con un banco de 166 cepas de bacterias con capacidad comprobada (Hidalgo et al., 2008).

Es decir, para 2008, en el Pepda llevaban casi 2 años replicando algo que ya había sido realizado: la prospección, identificación y formación de consorcios bacterianos. Los recién graduados ingenieros en biotecnología, contratados para el Pepda, eran jóvenes entusiastas, sin experiencia, que en medio del olor a crudo, tubos de petróleo y mecheros que queman gas día y noche, se hicieron cargo de un proyecto de gran envergadura. Petroecuador ni siquiera intentó aprovecharse del personal de la UCE (Entrevista 1) o de los ex investigadores de la Puce para dirigir el laboratorio ni promovió cursos para transferir conocimientos. Ni siquiera se salvaron las bacterias y consorcios; las investigaciones de los jóvenes profesionales (re)comenzaron desde cero, con la prospección, aislamiento, investigación de capacidades de degradación, propagación (Entrevista 3). Durante esta investigación constatamos que en 2005 se (re)comenzó todo, como si se volviera al año 1996.

Esta pérdida de capacidades y materiales obedecía en parte a que en el convenio Petroecuador-UCE había cláusulas de confidencialidad que impedían la divulgación de resultados y metodologías. Tampoco se patentaron los procesos o productos de 9 años de



Figura 2: Biorreactor abandonado del Lacib (foto de dic. 2012)



Figura 3: Las antiguas instalaciones del Lacib (foto de dic. 2012)

investigación e innovación (Entrevista 1). Todo esto construyó un halo que llevó a inhibir un proceso tecnocientífico de biorremediación.

El Pepda tenía el reto de remediar décadas de contaminación (la dejada por Texaco entre 1967 y 1990, y los incidentes desde entonces), pero avanzó lento y poco, asunto que fue justificado por la falta de infraestructura. Ante eso, en 2007, se presentó un proyecto para ampliar el laboratorio a uno de 892m<sup>2</sup> (seis veces mayor que el Lacib), con una inversión de más de tres millones de dólares, obra que se construyó durante 2 años y que fue bautizada como Centro de Investigación de Tecnologías Ambientales (Citvas) (Entrevista 3). Tras estar listo, el Citvas demoró 1 año más en ser inaugurado, pero finalmente comenzó a operar en el 2010 con laboratorios de bacteriología, ficología, biología molecular, química ambiental, micorrizas, y fitología (Petroecuador, 2011). Era una infraestructura mejor equipada que el Lacib, pero cuya principal limitación era la falta de personal para operarlo: a fines de 2012, si bien tenía espacio para más de veinte investigadores, constatamos durante nuestra visita que allí trabajaban apenas seis. Y ese escaso personal tenía problemas para realizar investigación, pues gran parte de su tiempo estaba dedicado a las tareas de remediación en el campo (Entrevista 3). Observamos unos laboratorios casi vacíos.

Otra limitación del Citvas fue su dependencia tecnológica. Fue equipado con maquinarias importadas que, en casos como el del biorreactor de cien litros de capacidad, podrían haberse manufacturado localmente (Entrevista 3). Pero los ingenieros de Petroecuador realizaron pedidos con especificaciones orientadas a adquirir tecnología europea (Entrevista 3), adquiriendo de paso un problema de sostenibilidad, pues nadie sabía reparar estas máquinas: observamos que el biorreactor del Lacib, dañado desde hace años, estaba en una bodega y no había sido reparado. La máquina por la que se pagó cientos de miles de dólares reposaba abandonada en las viejas instalaciones y se había comprado una nueva para el Citvas (Figuras 2, 3, 4 y 5).

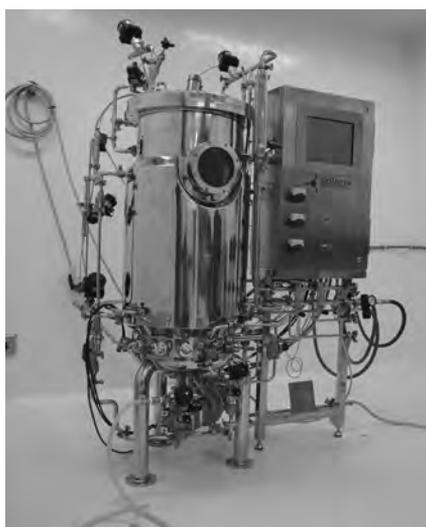


Figura 4: El nuevo biorreactor del Citvas (foto de dic. 2012)



Figura 5: Instalaciones del Citvas (foto de dic. 2012)

La capacidad de los investigadores del Citvas a fines de 2012, tras 7 años de (re)adquirir experiencia, era mayor, algo esperado de la replicación de un proceso tecnológico que ya había sido desarrollado por dos grupos de investigación independientes (Puce y UCE). Pero nos pareció que persistían problemas como la falta de una base de datos (de organismos y documentos) que permitiera continuidad en caso de movimiento de personal. Y era hasta cierto punto preocupante, desde el punto de vista de los autores, que el banco de bacterias no contara con una copia (Entrevista 3): un corte de luz, un descuido humano, incluso espionaje industrial, podrían dar al trasto (otra vez, aunque por otras razones) con años de trabajo. Petroecuador no parecía interesado en mantener, ni siquiera, los protocolos básicos de innovación en biotecnología.

La relación del Pepda con las universidades fue dispersa. Se desarrollaron tesis sobre biorremediación en varias universidades, a veces con fondos del Programa, pero sin una orientación visible, sin líneas de trabajo que las articularan, sin claridad en relación con los tutores. Los trabajos parecían haber construido más capacidades individuales que conjuntas, por la poca sistematización e institucionalización para el intercambio de resultados. En algunas tesis se repitieron resultados, se reinventaron experimentos, no hubo citación cruzada y prevalecía una legitimación de la capacidad científica sustentada en autores, textos y revistas extranjeras, invisibilizando totalmente dos décadas de investigación local en biorremediación de suelos amazónicos.

El Pepda tampoco cambió el desinterés de Petroecuador en torno a las patentes. Una persona entrevistada mencionó que “no queremos patentar nada” (Entrevista 3), algo difícil de entender en el mundo de la biotecnología del siglo XXI. Justificó esa idea diciendo que no era el objetivo patentar o publicar, sino remediar. Tampoco se habían publicado resultados científicos (Entrevista 3), otra manera de establecer prioridad (aunque no propiedad).

Finalmente, la actividad técnica del Pepda fue cuestionada por parte de los abogados involucrados en la demanda contra Chevron (Redacción..., 16 dic. 2006). No se había remediado el suelo contaminado y si ya nos parece lamentable que se necesite de una tecnología para remediar lo que otra hizo de forma ineficiente y peligrosa, lo es mucho más que hasta ahora no se haya conseguido de forma total. Entre 2005 y 2013, Petroecuador (a través de Petroproducción) había eliminado, taponado y reconfigurado paisajísticamente apenas 538 fuentes de contaminación en la Amazonía (derrames, piscinas y fosas), correspondientes a 260.549m<sup>2</sup>. Esto se hizo a través del Pepda y del Plan de Restauración Integral de Pasivos Ambientales en el Distrito Amazónico (Pripa) que comenzó a funcionar en 2012 (Ecuador, 2014, p.6).<sup>6</sup> Desde 2013 estas actividades continúan a través del Proyecto Amazonía Viva, a cargo de Petroamazonas (otra empresa de Petroecuador). A través de Amazonía Viva se propone la limpieza y rehabilitación de 2.550 fuentes de contaminación identificadas en la Amazonía y la descontaminación de más de 5.300.000m<sup>3</sup> de suelos (citado en Ecuador, 2014, p.3).

La biorremediación no ha perdido vigencia, interés y pertinencia; por el contrario, parece tener mayor apoyo político por varias razones. Una es que de acuerdo con la Constitución ecuatoriana de 2008, que reconoce los derechos de la naturaleza, “la naturaleza tiene derecho a la restauración” (art. 72), por lo cual la reparación integral de la contaminación es entendida como una política de Estado. Otra es la reciente campaña internacional impulsada por el

Ecuador en contra de Chevron, llamada “La mano sucia de Chevron”, que ha concitado el apoyo de políticos, artistas, entre otros.

### **Sobre los halos de inhibición de la biorremediación**

El petróleo ha tenido una doble faz en el Ecuador: ha causado contaminación y al mismo tiempo ha sido una decisiva fuente de divisas desde hace 40 años. En este escenario pensamos que la tecnociencia de la remediación ambiental, originada en el norte sobre todo en torno a ecosistemas marinos, circuló como un intermediador eficaz, pues no cuestionaba la lógica del petróleo, minimizaba las críticas al enverdecer a la industria, se sostenía en un marco legal nacional e internacional y encajaba como un negocio más en un sistema capitalista. Pero los microorganismos, biorreactores, biotecnología, máquinas para remover el suelo etc., fomentadas como potenciales mitigadores no fueron suficientes para solucionar la contaminación: fueron más decisivas las agencias institucionales y voluntades políticas en torno a esa tecnociencia. Esto arroja algunas pistas sobre las estructuras institucionales en las que circulan las biotecnologías en el contexto estudiado.

La empresa estatal de petróleos, responsable de la mayor cantidad de derrames en la actualidad, y heredera de zonas contaminadas en el pasado, fue protagonista de esta historia. Allí se tomaron decisiones, se delinearon modelos de contratación, se expidieron normativas, se realizaron convenios, se dieron apoyos o desincentivos etc. Pero careció de capacidad para gestionar un proceso de investigación, innovación y aplicación de tecnologías de biorremediación que debían ser localizadas por tratarse de un impacto ambiental específico. Se rompieron lazos con las universidades por razones desconocidas y luego con las empresas por denuncias de corrupción. Cuesta encontrar una buena razón que justifique el haber comenzado un mismo proceso de investigación dos veces desde cero (tres si se considera también las investigaciones de la Puce, aunque estas no fueron financiadas directamente por Petroecuador); alguna pista puede radicar en la idea de que los técnicos son fácilmente reemplazables, que solo deben seguir un manual. Aun así, esto no explica la falta de contratación de investigadores en el Citvas, por lo menos hasta fines de 2012. Por ello no se debería descartar, desde nuestro punto de vista, la influencia del rechazo en torno al pensamiento ambiental, dada la confrontación entre “ambiente” y “petróleo” que ha sido escenificada de diferentes modos en el Ecuador, especialmente a partir de la salida de Texaco en 1990 y que continúa siendo fuente de conflictos entre el Estado, compañías privadas y movimientos sociales, indígenas, campesinos, urbanos. ¿Cuánto influyó la dicotomía ambiental y petrolera? ¿Los funcionarios de Petroecuador desmovilizaron y boicotearon deliberadamente una iniciativa que tenía un componente de remediación? ¿Por qué se apoyó el desmantelamiento de los resultados de la UCE? ¿Protagonismo y concentración del poder a cualquier costo?

De cualquier modo, si acaso hubo buenas intenciones, ciertamente se careció desde la estatal de petróleos de un entendimiento de la ciencia y la tecnología como artefactos culturales complejos que requieren de una gestión especializada. La tradición de los funcionarios-ingenieros de Petroecuador ha sido la de llevar cuentas, importar tecnología y construir infraestructuras para sacar crudo, no la de sostener un proceso de innovación.

Estos funcionarios han sido braceros de la industria petrolera global, no innovadores, y pudieron pensar que los biotecnólogos no podían ser sino biobraceros, personas destinadas a aplicar tecnologías que llegan a la Amazonía en paquetes, en cajas negras (y de otros colores), pero no personas que pueden idear esos paquetes y construirlos. En biobraceros se convirtieron los científicos del Citvas: técnicamente capaces, funcionales a una idea incuestionable, trabajadores de un centro de investigación donde, en 6 años, se hizo poca investigación novedosa, menos innovación, y donde las patentes y difusión del conocimiento no fueron parte de los objetivos.

Creemos que no ha sido la costumbre entre los burócratas del petróleo en la Amazonía ecuatoriana, ingenieros o no, el pensar en innovación, menos aún entender la necesidad de la continuidad en un proceso de investigación tecnocientífica. Insertos en una matriz tecnológica dependiente, no reconocieron el interés de fortalecer procesos de excelencia científica local. Los trabajos realizados entre 1996 y 2004 por la UCE, pagados por la estatal de petróleos, contaban con cláusulas de confidencialidad estrictas que ni siquiera permitían la transferencia local de conocimiento. Tal confidencialidad se entendería si hubiese existido un aprovechamiento confidencial de los resultados o un proceso de patentes sobre los métodos, pero no se comprende por qué casi no se publicó ni se obtuvieron patentes, por lo menos hasta 2013.

Ni siquiera parece sostenerse la hipótesis de que, en términos monetarios, la biorremediación podría ser presentada como una pérdida y no una ganancia, pues incluso desde un punto de vista economicista, las patentes sobre nuevos organismos, procesos y máquinas habrían dejado ganancias y ahorros. Estas y otras dudas apuntan a la necesidad de indagar más en los imaginarios de los burócratas petroleros y en ideas como que todo se soluciona con infraestructura e importaciones. Es cierto que hubo varios “petroecuatorios”, gerentes que fueron y vinieron, ingenieros, administradores etc., pero también hubo personas que permanecieron durante todo el proceso, cuyos imaginarios son del mayor interés.

No fue por falta de científicos ni de recursos económicos que el proyecto no se consolidó. Predominó una visión ingenua de la tecnociencia, de que se construye a partir de infraestructuras y equipamientos, transferencias y dependencia, de replicación, como sucede en la tradición del altamente sofisticado sistema sociotécnico global del petróleo. Quizás los mejor intencionados creyeron que uniendo especialistas, textos y máquinas, la ciencia y la tecnología funcionarían por sí solas, que serían pródigas gracias a la biodiversidad (las bacterias).

Es hasta cierto punto paradójico que el halo de inhibición que Petroecuador construyó en torno a las capacidades existentes (suspensión de investigaciones de excelencia y de relaciones con otras instituciones) coincidió con el de reformas políticas estatales orientadas hacia el desarrollo endógeno y superar la dependencia cognitiva. Pero Petroecuador – empresa del Estado – no fue el único actor del proceso.

Las universidades que participaron desde la década de 1990 en la biorremediación, públicas o privadas, obtuvieron algunos excelentes resultados aunque no lograron capitalizarlos en el largo plazo mediante programas propios de investigación. En la Puce la motivación provino, primero, de sus alianzas con empresas petroleras internacionales, luego de un proyecto de cooperación internacional y, finalmente, por demandas estatales de remediación. Esto dio

paso a un crecimiento de las capacidades humanas, experiencia e infraestructura, pero en cuanto el grupo de investigación se separó de la universidad, esta institución o no pudo, o no quiso, fortalecer el campo, pese a que tenía un enorme interés ambiental, científico y económico. La línea de trabajo fue extirpada de la matriz académica y convertida en un negocio privado, lo cual no es cuestionable desde el punto de vista empresarial, pero sí del académico, por abandonar una línea prometedora.

La UCE tampoco fue capaz de sostener su proceso cuando estuvo a punto de pasar a la fase industrial, momento que le podría haber significado réditos económicos; comenzó a investigar cuando se lo propusieron desde afuera y, en cuanto le retiraron los equipamientos y recursos, suspendió los trabajos. Ambas universidades estuvieron más a merced de agendas de trabajo externas.

No hubo una capacidad de articular la investigación académica sobre temas específicos. Las tesis de grado no se citaron, ante lo cual no se puede alegar falta de acceso, pues casi todas las tesis están en Internet; se construyó un halo sobre la cultura científica local al no promover la circulación de trabajos. No hubo debate local y como consecuencia, al no dialogar o debatir entre sí los que se iban volviendo expertos, difícilmente podían construir una comunidad científica en torno a la biorremediación de suelos amazónicos. No hubo sistematización ni difusión amplia del conocimiento, en forma de redes o educación y capacitación continua, ni se publicaron libros o artículos en revistas especializadas.

Los científicos fueron dependientes de tecnologías importadas. Se limitaron (¿autolimitaron?) a poner en práctica una idea de que la tecnociencia se realiza con tecnologías importadas, aprovechando lo nativo en forma de biodiversidad con la participación de biobraceros. Esto pese a las experiencias positivas como el biotanque y el desarrollo de medios de cultivo en la UCE. La idea del biotanque no continuó en la UCE porque se importó un biorreactor. Se colocó el énfasis en la prospección, aislamiento, identificación de actividad, reproducción y aplicación, casi en una historia natural, sin invertir mayores esfuerzos en tecnología. No se trató de una completa fuga interior de cerebros pues se trabajó en función de un problema local, pero en este proceso no se sostuvieron las emergentes innovaciones.

Una de las empresas privadas que operó algunos años en remediación hizo investigación, obtuvo patentes y algo publicó. Su experiencia fue una transferencia positiva de conocimiento, desde la universidad a la empresa, de cómo convertir un producto de investigación académica en un buen negocio. Pero esta consultora también tuvo una fuerte dependencia tecnológica. Lamentablemente las empresas remediadoras fueron relacionadas con el aumento de atentados a ductos petroleros y, si bien no hubo juicios, los cuestionamientos públicos fueron aprovechados para dejar de contratarlas, perdiéndose también su experiencia.

Vemos una imbricación profunda entre excelencia y dependencia en un complejo sistema sociotécnico. Todas las instituciones mantuvieron una dependencia de tecnociencia, en primera instancia mediante la importación de ideas para adaptarlas, replicarlas y, luego, sostenerlas con tecnología importada de alto costo.

Tanto el rastro de la contaminación como de las iniciativas de biorremediación conducen en primera instancia a las empresas petroleras Texaco y Maxus, respectivamente, y al proyecto Petramaz (proyecto que remite a los impactos de la cooperación internacional en la

segunda mitad del siglo XX). El petróleo parece capaz de ensuciarlo todo, incluso la ciencia y la tecnología. Si los funcionarios de Maxus que promovieron los primeros talleres sobre biorremediación en la década de 1990 estaban pensando más en generar un negocio que en solucionar un problema ambiental, claramente lo lograron.

¿Fueron las investigaciones y aplicación de la biorremediación de la contaminación por petróleo en la Amazonía ecuatoriana un ejemplo de biotecnología pertinente? Sí y no. Lo fueron porque remediar la contaminación era (y sigue siendo) importante y porque se alcanzó cierta excelencia científica. El error parece haber estado en la forma de implementar el remedio. Por un lado se requerían universidades capaces de sostener programas de investigación, y de científicos que aprendieran a gestionar más allá de limitados programas e intereses de investigación. Se requerían instituciones que contaran con eficientes gestores de la tecnociencia, no solo tecnócratas enfocados en construir infraestructuras creyendo ciegamente en las transferencias de tecnología, como si la tecnología fuese un “medio” neutral. Y en todo momento parece haberse requerido, en diferentes escalas, voluntad política. En la Entrevista 4 se dijo:

creo que es claro que hay la gente y la capacidad en el país para poder generar este tipo de tecnologías, que antes no se creía. El fracaso o la desilusión por decirlo así [es por] la influencia política en la parte de investigación. La parte científica y la política no se llevan, o deberían ser manejadas independientemente.

En la misma línea, Baiardi y Santos (2005, p.717) concluyen su análisis sobre el desarrollo científico en Bahía (periferia de la periferia) anotando que además de una serie de adecuaciones institucionales, de relaciones entre Estado, empresa y academia, el cambio depende, sobre todo, de capital social, voluntad política, compromiso de los actores y valores institucionales como la colaboración y la confianza.

Arocena (1995, p.45) ha señalado algunos factores que impiden el desarrollo de una capacidad tecnológica autónoma en las periferias. Con algunos nos parece necesario concordar a la luz de este caso:

La débil competencia del Estado, que debe cumplir uno de los papeles protagónicos, y su poca capacidad para aplicar y hacer aplicar decisiones de naturaleza tecnológica.

La modalidad de la racionalidad existente, según la cual es mejor negocio importar tecnología que producirla localmente.

La dependencia cultural, según la cual toda tecnología extranjera es mejor... por ser extranjera.

La escasa articulación entre los protagonistas del proceso: funcionarios del Estado, empresarios y gerentes y científicos y técnicos.

También suenan acertadas las ideas de Sagasti (2011, p.144), que incluye entre las razones de la falta de logros en ciencia, tecnología e innovación en la segunda mitad del siglo XX, a las “estructuras económicas desarticuladas internamente y sesgadas hacia el exterior [que] obstaculizaron la creación de espacios propios para el desarrollo de capacidades científica, tecnológicas y de innovación”.

Sin duda este es un debate lleno de propuestas, algunas más focalizadas a sistemas nacionales, como las acciones propuestas por Baiardi (2001) para superar la condición periférica en

el caso brasileño que incluyen “proponer soluciones para las tendencias en la injusta división internacional del trabajo de investigación que amenaza con consolidar los desequilibrios en el desarrollo del conocimiento ... [y] la consolidación de mecanismos de control social”.

### **Consideraciones finales**

Hubo capacidad científica y tecnológica que pudo orientarse hacia la innovación. Y hubo inversión económica. Pero quedaron dudas en la gestión de esa capacidad, en las decisiones tomadas. Parece necesario trabajar en la administración localizada, aunque aprovechando las reglas del juego global en torno a la tecnociencia, como las patentes y las especializaciones productivas. No parece servir por sí sola la idea de que por tener biodiversidad e inversión se puede generar bioconocimiento. Se requieren abordajes más complejos para construir un halo de inhibición en torno a las biotecnologías en América Latina, pero no que las destruya, sino que las proteja y potencie de modo que cumplan su promesa de mejorar nuestras vidas. De otro modo, estamos ante discursos muy emocionantes pero vacíos de contenido y, peor aún, de materialidad.

En el contexto estudiado, y nos atrevemos a pensar que en muchos otros enclaves petroleros, no parece conveniente que los procesos de investigación e innovación para la remediación ambiental de contaminación recaigan directamente en las empresas petroleras. No solo porque su historia no es la de instituciones de investigación con sensibilidad ambiental, sino porque en un asunto peliagudo como la contaminación, no parece apropiado que el mismo actor sea financista, juez, cómplice, empresario etc. Parece un error que la limpieza de la suciedad y su fiscalización queden a cargo de quien ensucia. En vez de limpieza se generó replicación de investigaciones con fondos públicos, poca o ninguna transferencia de información, dudas sobre la licitud de ciertas actividades, entre otros. La estatal de petróleos por momentos construyó un halo de inhibición destructivo de la ciencia y la tecnología de remediación de la contaminación, sin comprender, menos aún ser capaz de gestionar, las capacidades científicas y tecnológicas.

Parece que además de contar con buenos científicos es necesario crear, renovar y fortalecer políticas basadas en el conocimiento de los procesos endógenos, mirando casos puntuales y no solo soñando en aplicar teorías globales sobre el desarrollo de la ciencia o replicar los éxitos (económicos) de otros territorios y Estados. Hay que fijarse en lo que es realmente pertinente o apropiado, no solamente si lo parece. Quizás sean necesarios comités locales de ética para supervisar estas decisiones, en línea con lo propuesto por Baiardi (2001). No fiscalizadores internacionales, sino comités locales que velen porque los programas de ciencia y tecnología sean sociales, apropiados y apropiables localmente en primera instancia, porque se sostengan aquellos con buenos resultados y se sancionen las ineficiencias. Quizás se requieren reformas mayores en los sistemas de ciencia, tecnología y producción de conocimiento que estarían perpetuando la fuga interior de cerebros, la dependencia, la formación de biobraceros y gestores que están confortables en un lugar en el cual ni la innovación ni el mantenimiento de programas científicos, independientes y de largo plazo, parecen necesarios. Se requieren políticas que promuevan la innovación sobre la transferencia, que eludan la idea de que con inversiones e infraestructuras se soluciona todo *per se*, que fomenten patentes de procesos y

productos (aunque la idea de las patentes sobre la vida sea cuestionable, al no hacerlo se tiene el riesgo de que ese conocimiento sea ilegalmente apropiado mediante biopiratería). Sagasti (2011, p.178-182) incluye entre sus líneas macro la consideración de los conocimientos y técnicas tradicionales y la especificidad territorial. Análisis sobre procesos locales pueden arrojar otra serie de ideas sobre factores más finos que permiten/impiden la consolidación de comunidades científicas de excelencia en la periferia.

Más allá de los cuestionamientos, hasta cierto punto éticos, pero sobre todo políticos e institucionales, que emergen desde este estudio, consideramos que la biorremediación puede apoyar a la restauración ecológica y cuidar la salud de quienes habitan en los sitios contaminados. Esto es un mandato de la Constitución del Ecuador de 2008, en la cual se reconocen los derechos humanos y de la naturaleza. La biorremediación es una tecnociencia que puede ser social y liberadora, pero como toda tecnología, actuará según quién la promueva, cómo y para qué.

#### AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue realizada con ayudas del Fondo de Desarrollo Académico de Flacso Ecuador (Proyecto "Estudio sociotécnico de la biotecnología en el Ecuador", IP 656), y de una beca de la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (Senescyt) para el proyecto "Las ciencias de la vida en el Ecuador (1850-2000)". Agradecemos también a los lectores pares y editores de la revista *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*, por sus atinadas críticas y sugerencias a este texto.

#### NOTAS

<sup>1</sup> La idea de excelencia científica (analizada en conjunto con la de periferia científica) "quiere resaltar que no toda la ciencia de los países atrasados es marginal al acervo mundial del conocimiento y que el trabajo científico tiene en estos países sus propias reglas que deben ser entendidas no como síntomas de atraso o modernidad, sino como parte de su propia cultura y de las interacciones con la ciencia internacional" (Cueto, 1989, p.29).

<sup>2</sup> Nuestro énfasis en lo local no significa una inconsciencia de que los procesos estudiados tienen repercusiones en espacios lejanos (véase De Greiff, Nieto, 2005, p.60, 62). Investigar ese aspecto estuvo más allá del alcance de este artículo.

<sup>3</sup> Incluso se habla de "semiperiferias" (Ledesma, 2009) y "periferias de la periferia" (Baiardi, Santos, 2005).

<sup>4</sup> Un sonado caso en este ámbito fue el de *Diamond vs. Chakrabarty*, que tras un fallo de la Corte Suprema de Justicia de EEUU en 1980, abrió el camino a las patentes sobre la vida, pues se aprobó patentar una bacteria producida con bioingeniería para consumir manchas de aceite (Kevles, 1998).

<sup>5</sup> Un trabajo pionero fue el de Kimerling (1993). En relación con los impactos sobre la biodiversidad, véase Bravo (2007).

<sup>6</sup> Véase también en la web <http://amazoniaviva.ambiente.gob.ec:8114/index.html>.

#### REFERENCIAS

##### ACCIÓN...

Acción Ecológica. La remediación ambiental, un perverso negocio. *Alerta Verde: Boletín de Acción Ecológica*, n.148. 2006.

##### AROCENA, Rodrigo.

*La cuestión del desarrollo vista desde América Latina: una introducción*. Montevideo: Eudeci. 1995.

##### ATLAS, R.M.; HAZEN, T.C.

Oil biodegradation and bioremediation: a tale of the two worst spills in U.S. history. *Environmental Science & Technology*, v.16, n.45, p.6709-6715. 2011.

##### BAIARDI, Amílcar.

Elementos de uma proposta de fomento à cultura de C&T. In: Seminário Nacional de História da

- C&T, 8., 2001. *Cadernos de resumos...*  
Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de História da Ciencia e da Tecnologia. 2001.
- BAIARDI, Amílcar; SANTOS, Alex Vieira dos.  
Ciência-tecnologia-produção: cultura e vicissitudes da ciência periférica. *Bahia: Análise & Dados*, v.4, n.14, p.707-718. 2005.
- BAJAJ, J.K.  
Science and hunger: a historical perspective on the Green Revolution. In: Sardar, Ziauddin (Ed.). *The revenge of Athena: science, exploitation and the Third World*. London: Mansell. p.131-156. 1988.
- BASALLA, George.  
The spread of western science. *Science*, n.156, p.611-621. 1967.
- BRAVO, Elizabeth.  
Los impactos de la explotación petrolera en ecosistemas tropicales y la biodiversidad. Acción ecológica, Quito. Disponible en: [http://www.inredh.org/archivos/documentos\\_ambiental/impactos\\_explotacion\\_petrolera\\_esp.pdf](http://www.inredh.org/archivos/documentos_ambiental/impactos_explotacion_petrolera_esp.pdf). Acceso en: 20 jun 2013. 2007.
- BUD, Robert.  
*The uses of life: a history of biotechnology*. Cambridge: Cambridge University Press. 1993.
- CUETO, Marcos.  
*Excelencia científica en la periferia: actividades científicas e investigación biomédica en el Perú 1890-1950*. Lima: Grade; Concytec. 1989.
- CUVI, Nicolás.  
Hegemonías culturales e impertinencias tecnológicas: reflexiones en torno a la potencial introducción de transgénicos en el agro ecuatoriano. *Ecuador Debate*, n.88, p.131-146. 2013.
- DE GREIFF, Alexis.  
Entre lo global y lo local: ¿cuál comunidad científica internacional? *Revista Trans*, n.2, p.118-133. 2002.
- DE GREIFF, Alexis; NIETO, Mauricio.  
Anotaciones para una agenda de investigación sobre las relaciones tecnocientíficas Sur-Norte. *Revista de Estudios Sociales*, n.22, p.59-69. 2005.
- ECUADOR.  
Ministerio del Ambiente. Informe relativo a fuentes de contaminación eliminadas en la Amazonía ecuatoriana, en el marco de la política pública de reparación integral del Ministerio del Ambiente. Informe No.043-MC-Sinpas-2014. Quito: Programa de Reparación Ambiental y Social, Ministerio del Ambiente. 2014.
- ECUADOR.  
Gobierno Nacional. Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hicrocarburíferas en el Ecuador. Decreto Ejecutivo 1215, Registro Oficial 265 del 13 de febrero. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/RAOHE-DECRETO-EJECUTIVO-1215.pdf>. Acceso en: 2 jun. 2013. 2001.
- ENTREVISTA 1.  
Investigador/a 1 del Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental (Figempa) de la Universidad Central del Ecuador. Entrevista concedida a Monserrathe Bejarano. Grabación en formato MP3 (2h). nov. 2012.
- ENTREVISTA 2.  
Investigador/a 2 de la Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental (Figempa) de la Universidad Central del Ecuador. Entrevista concedida a Monserrathe Bejarano. Se tomaron notas pues el/la entrevistado/a no accedió a ser grabado/a (1h20min). nov. 2012.
- ENTREVISTA 3.  
Investigador/a del Citvas. Entrevista concedida a Nicolás Cuvi y Monserrathe Bejarano. Grabación en formato MP3 (2h35min). dic. 2012.
- ENTREVISTA 4.  
Investigador/a de consultora ambiental. Entrevista concedida a Monserrathe Bejarano. Grabación en formato MP3 (58min). dic. 2012.
- FARIA, Lina Rodrigues de.  
Uma ilha de competência: a história do Instituto de Química Agrícola na memória de seus cientistas. *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*, v.4, n.1, p.51-74. 1997.
- FEYERABEND, Paul.  
*La ciencia en una sociedad libre*. Madrid: Siglo Veintiuno. 1982.
- FREIRE, Paulo.  
*Pedagogía del oprimido*. México: Siglo XXI. 1976.
- GOLINSKI, Jan.  
*Making natural knowledge: constructivism and the history of science*. New York: Cambridge University Press. 2005.
- HIDALGO, Daniel et al.  
Bacterias nativas degradadoras de hidrocarburos en las provincias de Orellana y Sucumbíos para su uso en procesos de biorremediación de suelos contaminados. Ponencia presentada en las 32. Jornadas Nacionales de Biología, 2008, Loja, Ecuador. Disponible en: <http://memorias.utpl.edu.ec/sites/default/files/documentacion/intjorbio2008/utpl-jornadasnacionales-biologia-2008-HidalgoDaniel.pdf>. Acceso en: 20 jul. 2013. 2008.
- HOFF, Rebecca Z.  
Bioremediation: an overview of its development and use for oil spill cleanup. *Marine Pollution Bulletin*, v.26, n.9, p.476-481. 1993.

JASANOFF, Sheila.

Biotechnology and empire: the global power of seeds and science. *Osiris*, v.1, n.21, p.273-292. 2006.

KEVLES, Daniel J.

Diamond vs. Chakrabarty and beyond: the political economy of patenting life. In: Thackray, Arnold (Ed.). *Private science: biotechnology and the rise of the molecular sciences*. Philadelphia: University of Pennsylvania Press. p.65-79. 1998.

KIMERLING, Judith.

*Crudo amazónico*. Quito: Abya-Yala. 1993.

KRANZBERG, Melvin.

Technology and history: "Kranzberg's laws". *Technology and Culture*, v.3, n.27, p.544-560. 1986.

KUHN, Thomas S.

*La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica. 2001.

LAFUENTE, Antonio; ORTEGA, María L.

Modelos de mundialización de la ciencia. *Arbor: Ciencia, Pensamiento y Cultura*, v.142, n.558-560, p.93-117. 1992.

LATOURE, Bruno.

*Reensamblar lo social: una introducción a la teoría del actor-red*. Buenos Aires: Manantial. 2008.

LEDESMA, Ismael.

*Biología, institución y profesión: centros y periferias*. México: Ediciones de Educación y Cultura. 2009.

McGURN, Katherine.

The localism of bolivian science: tradition, policy, and projects. *Latin American Perspectives*, v.3, n.37, p.160-175. 2010.

McNEILL, John.

*Algo nuevo bajo el sol: historia medioambiental del mundo en el siglo XX*. Madrid: Alianza Editorial. 2003.

NIETO-GALÁN, Agustí.

¿Cómo escribir la historia de la tecnología en España? *Revista de Historia Industrial*, n.18, p.203-217. 2000.

NÚÑEZ, Jorge.

*La ciencia y la tecnología como procesos sociales: lo que la educación científica no debería olvidar*. La Habana: Editorial Félix Varela. Disponible en: <http://www.oei.es/salactsi/nunez00.htm>. Acceso en: 14 ago. 2015. 1999.

OLIVEIRA, João Batista Araujo e.

*Ilhas de competência: carreiras científicas no Brasil*. São Paulo: Brasiliense. 1985.

PETROECUADOR.

*Manual de restauración ambiental*. Quito: Gerencia de Salud y Ambiente de Petroecuador. 2011.

PETROPRODUCCIÓN.

Petroproducción, matriz Quito. Órdenes de trabajo. Lista pública de precios. 28 ago. 2006. Quito. 2006.

POLANCO, Xavier.

La ciencia como ficción: historia y contexto. In: Saldaña, Juan José (Ed.). *El perfil de la ciencia en América*. México: SLHCT. p.41-56. 1986.

PREBISCH, Raúl.

*El desarrollo económico de la América Latina y algunos de sus principales problemas*. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina. 1949.

REDACCIÓN...

Redacción Nueva Loja. Petroproducción limpió 50 piscinas que dejó Texaco. *El Comercio*. Disponible en: [http://www.elcomercio.com.ec/noticias/Petroproduccion-limpio-piscinas-dejo-Texaco\\_0\\_133189601.html](http://www.elcomercio.com.ec/noticias/Petroproduccion-limpio-piscinas-dejo-Texaco_0_133189601.html). Acceso en: 30 mar. 2013. 16 dic. 2006.

RESTREPO, Olga.

La sociología del conocimiento científico o de como huir de la "recepción" y salir de la "periferia". In: Obregón, Diana (Ed.). *Culturas científicas y saberes locales*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. p.197-220. 2000.

RIFKIN, Jeremy.

*El siglo de la biotecnología: el comercio genético y el nacimiento de un mundo feliz*. Barcelona: Paidós. 2009.

SAGASTI, Francisco.

*Ciencia, tecnología, innovación: políticas para América Latina*. Lima: Fondo de Cultura Económica. 2011.

SALLO, Ángel.

USD 72 millones para sanar la tierra. *El Comercio*. Disponible en: [http://www4.elcomercio.com/noticias/USD-millones-sanar-tierra\\_0\\_131390011.html](http://www4.elcomercio.com/noticias/USD-millones-sanar-tierra_0_131390011.html). Acceso en: 1 jun. 2013. 28 sep. 2006.

THOMAS, Hernán E.

Tecnologías para inclusão social e políticas públicas na América Latina. In: Otterloo, Aldalice et al. *Tecnologias sociais: caminhos para a sustentabilidade*. Brasília: Rede de Tecnologia Social. p.25-81. 2009.

WORSTER, Donald.

Appendix: doing environmental history. In: Worster, Donald (Ed.). *The ends of the earth: perspectives on modern environmental history*. New York: Cambridge University Press. p.289-307. 1988.

ZOBELL, C.E.

Action of microorganisms on hydrocarbons. *Bacteriology Reviews*, v.10, n.1-2, p.1-49. 1946.