



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS POLÍTICAS Y SOCIALES

Construcción sociotécnica de un microorganismo para mejorar la recuperación de hidrocarburo

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LICENCIADA EN SOCIOLOGÍA
P R E S E N T A:
CRISTINA ERÉNDIRA CABRERA MUÑOZ

ASESORA: DRA. REBECA DE GORTARI RABIELA



CIUDAD UNIVERSITARIA

MÉXICO D.F. 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS / DEDICATORIAS

Agradezco vivamente al equipo de investigadores del IMP que me permitió seguir sus pasos y movimientos y me brindó explicaciones pacientes, abundantes y detalladas de su quehacer, sin su colaboración no existiría este documento.

Agradezco mucho a mi asesora, la Dra. Rebeca De Gortari, por todo su apoyo, apuntalamiento, paciencia, generosidad, bondad y decencia.

Agradezco también al Dr. Eduardo Robles Belmont, a la Dra. Adriana Murguía Lores, y a los Maestros Makoto Noda Yamada Y Silverio Chávez López, por enriquecer con su lectura este trabajo.

Dedico esta tesis y todo esfuerzo mío a Edgar Gerardo (Ignacito) con todo mi amor y a mi tía Ana, sin cuyo decidido apoyo y guía este documento no existiría. A Nachita con mucho cariño. A la memoria de mi papá Rubén, con gratitud por su bondad y dulzura. A mi mamá Lupe, sus historias de fractales, mariposas y caos influyeron mucho en este trabajo. A mi tío Gerardo por su generosidad y cariño. A mi abuelita, tíos, tías, sobrino y hermanos. A la memoria de mi primo Fer.

A Víctor Saspe (Pérsimo) por todo lo que me has dado, por contar contigo invariablemente. Te llevo conmigo siempre.

Agradezco el apoyo y amistad de Ivonne y América Andreu, de Magdalena Torres Prieto, de Susana Barrón Juárez, de mi querida amiga Alicia Mendoza, de Edgardo García y de todos mis amigos y amigas.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	6
I.Planteamiento de la investigación y orientación metodológica	8
I.II.Justificación	8
I.III Planteamiento del objeto de estudio	9
I.IV Objetivos de la investigación	10
I.V Premisas teóricas e hipótesis	12
I.VI Orientación teórica y metodologica de la investigación	12
I.IV.I Sobre los estudios sociales de la ciencia	12
I.VI.II Orientación metodológica de la investigación	21
I.VII Desarrollo de la tesis	24
CAPÍTULO I. EL PETRÓLEO	25
I.I Antecedentes	29
I.II Recuperación de hidrocarburo	37
I.III Recuperación terciaria y /o mejorada de hidrocarburo.....	38
CAPÍTULO II. EL PETRÓLEO DEBE SER RECUPERADO	40
II.I EOR – IOR ¿De qué se trata?	43
II.II ¿Cuánto aceite se puede recuperar por EOR-IOR?	44
II.III Potencial de aplicación IOR-EOR en México	44
II. IV MEOR.....	46
II. V El paleocanal de Chicontepec.	49
ENTREACTO SITUACIONAL I. CAMBIO ADMINISTRATIVO EN EL IMP	51
CAPÍTULO III. EL PETRÓLEO PUEDE SER RECUPERADO VÍA MICROBIANA	50
III.I El proyecto	55
III.II Formulación de la idea.....	60

III.III Sobre la burocracia.....	61
III. IV El grupo de investigación.....	68
ENTREACTO SITUACIONAL II. LA GUERRA DE LOS TACONES.....	75
CAPÍTULO IV QUE EL PETROLEO SEA RECUPERADO VÍA MICROBIANA.....	78
IV. I El laboratorio.....	78
IV. II Espacio físico.....	81
IV. III Subgrupos. Funciones. Sedes.....	83
IV. IV Discusión teórica.....	87
IV. V El microorganismo.....	89
IV. VI Universo de objetos.....	92
IV. VII Apartado de sociología visual.....	96
IV.VII.I IMP.....	96
IV.VII.II Paisaje local.....	97
IV.VII.III Oficina.....	99
IV.VII.IV Laboratorio.....	101
IV.VIII Interacción investigadores – objetos – microorganismo.....	109
IV.IX Ver.....	115
IV.X Representación y papeles - traductores.....	118
CONCLUSIONES.....	128
ANEXOS.....	140
Anexo I. Guión etnográfico para el trabajo de campo:.....	141
Anexo II. Guión de entrevista inicial al jefe de proyecto.....	142
BIBLIOGRAFIA.....	143

I- INTRODUCCIÓN

La construcción sociotécnica de un microorganismo para mejorar la recuperación de hidrocarburo en los yacimientos petroleros de Chicontepec es el tema de la presente tesis de investigación. Por un lado, los productos científicos y tecnológicos son realizaciones que impactan, modifican y transforman el entorno en el que se inscriben. Al mismo tiempo, se concatenan a otras producciones de laboratorio eslabonando, encadenando y desencadenando multidireccionalmente, con su aparición, toda suerte de hechos de la vida material y social. Por otro lado, el petróleo no solo es la fuente de energía imperante a nivel mundial, también, subyace a los escenarios en los que se desenvuelven nuestras vidas y es el material componente de una enorme cantidad de artículos de uso cotidiano. No existe escena de la vida en la que el petróleo esté ausente. Además, nada como el aceite está tan mediado por intereses variados, provenientes, también, de lugares y entes heterogéneos. Así, el análisis se centra en el proceso de construcción sociotécnica de un microorganismo que mejore la recuperación de hidrocarburo, buscando identificar aquello que posibilita la investigación y el desarrollo científico y tecnológico en este sector, qué actores, relaciones y escenarios intervienen, y cómo se articulan durante el proceso de su fabricación.

En México, al menos hasta el momento en que estas líneas son escritas, los ingresos de la federación dependen en medida considerable de la explotación y venta de hidrocarburos, por lo que es considerado un bien estratégico. Sin embargo, la producción y las reservas petroleras conocen un declive y este fenómeno se explica en buena medida por la intensidad de la extracción y por la falta de desarrollo e implementación de nuevas tecnologías para la recuperación del aceite remanente en reservorios, que oscila entre un 70 y 80 por ciento de la producción total de un yacimiento, después de las primeras dos fases de recuperación de hidrocarburo.

Aun cuando este trabajo describe algunas de las dificultades inherentes al trabajo científico, esta tesis no se trata sobre la imposibilidad de hacer ciencia en México, sino justo lo contrario, de las posibilidades de acción y emergencia de un producto tecnocientífico y de todo lo que ha de alinearse para volver posible y real a un microorganismo dotado de la capacidad de soportar las condiciones de un yacimiento (altas presiones, temperatura y salinidad) y que reduzca la viscosidad del petróleo desincrustándolo de las rocas de Chicontepec.

Para lograr nuestro objetivo se ha utilizado el marco teórico provisto por los estudios sociales de la ciencia, en específico, nos hemos allegado del enfoque constructivista (Knorr-Cetina), de la teoría del actor –red y de la sociología de la traducción (Latour; Callon) actualizados por Vinck. En el aspecto metodológico, siguiendo a los mismos autores, se realizó una investigación etnográfica, de la que se hablará en el apartado de metodología, haciendo una incursión a los escenarios en donde se desarrolla el trabajo científico, atestiguando el proceso de estabilización y construcción del microorganismo, para dar cuenta de la especificidad local y de la relación contextual existente en la producción tecnocientífica.

Por lo tanto, al analizar las condiciones de posibilidad de la producción científica y el proceso por el cual esto ocurre, es de particular interés para este trabajo: I)el carácter relacional y contextual del proceso de construcción del objeto científico, identificando las prácticas situadas de los investigadores del proyecto; II)abonar a la consideración de los objetos e instrumentos en la acción, para dar cuenta de dichas prácticas; III)identificar la red de entes heterogéneos que la creación de este microorganismo articula y la traducción de intereses, desplazamientos y (re) configuraciones a que da lugar.

Dichas premisas teóricas permiten delimitar nuestro objeto de estudio de forma más precisa: pretendemos dar cuenta del proceso por el cual se construye una red sociotécnica articulada en función de la producción de un microorganismo para mejorar la recuperación de hidrocarburo, poniendo el lente en los distintos actores y escenarios intervinientes, en el proceso mismo de fabricación, en las prácticas

locales de los investigadores y los objetos e instrumentos de los cuales se acompañan y los desplazamientos y traducciones por los cuales este proyecto es generado y a su vez, los que su producción genera.

El estudio se llevó a cabo a través de una investigación etnográfica en el Instituto Mexicano del Petróleo, al interior de un equipo de investigación, cuya empresa es la creación del microorganismo con las propiedades antes descritas.

I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN Y ORIENTACIÓN METODOLÓGICA

I.II.JUSTIFICACIÓN

Como se ha mencionado, la ciencia y sus producciones son un componente y transformador del entorno, cuyo impacto lo modifica continuamente, a veces, en formas insospechadas. A pesar de ello, la mayoría de la población se mantiene ajena al proceso de producción y construcción de conocimientos hechos por la ciencia, buscando sus explicaciones solo en momentos coyunturales o de crisis, o cuestionándola, literalmente, cuando la bomba ya ha estallado. A pesar de sus implicaciones en la (re)transformación de las sociedades, los análisis sobre la ciencia y sus producciones, desde la perspectiva de las ciencias sociales, son escasos a nivel nacional.

Por su parte, el petróleo, además de ser un recurso natural estratégico en términos económicos y simbólicos, le insufla vida a un modo de producción que literalmente lo necesita para existir, en una suerte de relación simbiótica. Su transformación en energía echa a andar los mecanismos de la producción y reproducción de la vida material, tal y como ahora la conocemos y un sinnúmero de variables previstas o imprevistas de este mundo instilado, hecho por y de petróleo. Somos, estamos petrolizados, aunque jamás pensemos en ello, ni nos importe.

Unidas, las variables del petróleo y de la investigación científica, dan lugar a diversas propuestas de investigación, de las que poco sabemos, aún a pesar de

ser un país productor. Incluso, considero que en los escasos debates sobre la reforma energética, se discutió poco el papel del desarrollo científico y tecnológico en el sector.

No obstante, los científicos son capaces de desplegar una cadena de acciones tales que, el petróleo cuando interactúa con un determinado microorganismo, cambia su comportamiento: de estar incrustado en las rocas que componen el subsuelo y en estado viscoso, fluye hacia el exterior, modificando todo el entorno. Por ello, consideramos pertinente realizar un análisis de la producción tecnocientífica en el sector, particularmente útil en el contexto de la reforma energética. Además, el hecho de que el petróleo sea un recurso natural no renovable y finito, y de que la generación de energía se esté orientando hacia otras fuentes, hacen de este trabajo un registro del proceso de construcción de un prototipo destinado a insuflar vida a una forma de producción energética, que eventualmente desaparecerá.

Por otra parte, la investigación y el desarrollo científico y tecnológico, las condiciones en que se lleva a cabo y las instituciones, actores y escenarios que lo posibilitan deben ser analizados en el contexto local, por las implicaciones que su trabajo tiene para la sociedad en la que se inscribe y porque su acción conjunta singulariza un modo de hacer y construir un espacio, un conocimiento y un producto tecnocientífico. Así, este trabajo expone una particular forma de saber / hacer ciencia en México, siendo también éste un tema poco abordado desde una perspectiva sociológica a nivel nacional.

I.III PLANTEAMIENTO DEL OBJETO DE ESTUDIO

Se estima que más de la tercera parte de las finanzas de la federación provienen de la renta petrolera, y al mismo tiempo, se sabe que este es un recurso finito, cuya producción ha ido declinando, por lo que se dibuja un panorama de crisis. Desde el gobierno, por ejemplo, existe el siguiente discurso, utilizado como argumento en favor de la reforma energética: “¿de qué nos sirve tener tanto

petróleo y gas natural enterrado en el fondo del mar si no podemos sacarlo?”¹ que hace alusión directamente al desarrollo científico y tecnológico en la industria petrolera nacional.

La producción científica y tecnológica en el sector energético conoce una situación particular a nivel nacional, que consideramos se expresa en los distintos proyectos de investigación existentes, de entre los cuales analizamos uno que se inscribe dentro de la investigación básica orientada a la recuperación de hidrocarburo. Se trata de un proyecto presentado en un centro público de investigación en materia petrolera, por un equipo de científicos provenientes de distintas disciplinas, que, básicamente, trata de dotar a un microorganismo de ciertas propiedades para que mejore la recuperación de aceite.

Las preguntas que nos hicimos, y que desembocaron en este trabajo fueron: ¿qué posibilita la investigación y el desarrollo científico y tecnológico en este sector y cuál es el proceso por el cual esto ocurre? ¿Qué actores, escenarios y relaciones intervienen y cómo se articulan? ¿Cómo ocurre el proceso mismo de fabricación, de qué se trata el trabajo del científico/a, cuáles son sus prácticas? ¿Cómo se negocia día a día la existencia de un microorganismo en un equipo compuesto por científicos procedentes de diferentes áreas, cómo ocurre la traducción interdisciplinaria y el mutuo entendimiento y cómo esto se traduce en un microorganismo con determinadas propiedades? ¿A qué obedece, en el proyecto, la distribución de recursos y espacios, cómo se usan los laboratorios y los diversos objetos ahí existentes?

I.IV OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Generales:

1. Identificar, en el marco del proyecto de investigación, aquello que posibilita la investigación y el desarrollo científico y tecnológico, qué actores y escenarios intervienen y cómo se articulan para generar

¹ Véase el siguiente spot, emitido por la presidencia de la república:
<https://www.youtube.com/watch?v=85GyGT8Si0g&feature=youtu.be>

conocimiento y tecnología para la industria petrolera nacional, en el Instituto Mexicano del Petróleo.

2. Analizar el proceso de producción tecnocientífica de un microorganismo para mejorar la recuperación de hidrocarburo y las prácticas situadas del grupo de investigadores que lo llevan a cabo; la interacción entre el laboratorio y sus instrumentos, el grupo de científicos y el microorganismo.

Específicos

1. Identificar los entes gubernamentales intervinientes en la conducción de la industria petrolera nacional.
2. Caracterizar la problemática nacional en torno al petróleo.
3. Conocer las fases y los métodos del proceso de producción del hidrocarburo.
4. Conocer la trayectoria y conformación del proyecto de investigación y del grupo de trabajo, sus protagonistas, roles e identidades.
5. Identificar el papel que juega la burocracia en la producción tecnocientífica en el IMP, en tanto centro público de investigación.
6. Conocer empíricamente, a través de la realización de una etnografía, el proceso de producción tecnocientífica del microorganismo.
7. Analizar la interacción entre los investigadores, los instrumentos de trabajo y el microorganismo y el resultado de dicha interacción.
8. Identificar los mecanismos por los cuáles se produce el entendimiento interdisciplinario.

I.V PREMISAS TEÓRICAS E HIPÓTESIS

Este trabajo siguió ciertos presupuestos teóricos provenientes de los estudios sociales de la ciencia. Con base en la revisión bibliográfica, se establecieron cuatro líneas generales que orientaron la investigación, a saber:

1. Las producciones tecnocientíficas ocurren como consecuencia de cadenas de traducción de intereses y producen desplazamientos. (Latour)
2. Se encuentran en el núcleo de una red de actores heterogéneos. (Callon)
3. Son realizadas de forma relacional y contextual. (Knorr-Cetina)
4. Se estabilizan con otros objetos, que deben considerarse a fin de explicar las prácticas situadas de los científicos que las realizan. (Vinck)

Los enunciados anteriormente expuestos, a su vez, posibilitan el establecimiento de las siguientes hipótesis de trabajo:

1. Existe un entramado de actores e instituciones heterogéneos interesados en la recuperación de hidrocarburo, que han de articularse entre sí para posibilitarla, a través de la producción de un microorganismo encargado de tal empresa.
2. La producción del microorganismo ocurrirá a través de la acción e interacción cotidiana y situacional de un conjunto determinado de investigadores y de objetos, quienes en conjunto configuran una producción tecnocientífica particular.

I.VI ORIENTACIÓN TEÓRICA Y METODOLOGICA DE LA INVESTIGACIÓN

I.IV.I SOBRE LOS ESTUDIOS SOCIALES DE LA CIENCIA

La ciencia se constituyó como objeto de estudio de la sociología a partir de los estudios de Robert K. Merton sobre las instituciones científicas, su papel, estructura y dinámica, en las décadas de los treinta y cuarenta del siglo pasado. Su influencia se extendió cerca de cincuenta años. Fundó lo que se dio en llamar sociología institucional de las ciencias o sociología de los científicos. También, a partir de los años treinta, y derivado del oscuro clima político y social, en Europa

“con el advenimiento del nazismo, el fascismo, el comunismo y otros totalitarismos en el mundo, los científicos se interrogan a propósito de su relación con la sociedad, debaten sobre su responsabilidad social” (Vinck: 2007; 21). En Norteamérica, por su parte, se interrogan acerca de la manera de contestar el poder que el desarrollo científico y tecnológico otorga a rusos y alemanes, principalmente.

De acuerdo con Vinck (2007: 38-39) “Merton identifica las normas de esta institución (la ciencia) y *precisa que el trabajo del sociólogo es el de estudiar las modalidades a través de las cuales esas formas contribuyen a regular la actividad científica*: el estudio de la influencia de las normas institucionales sobre el comportamiento del investigador”. También “sienta las bases del análisis institucional de las ciencias centrándose en las *normas* de comportamiento, las *costumbres sociales y profesionales*, los *valores* y las *ideas* que guían los comportamientos de los científicos”.

Merton consideraba que el *ethos* de la ciencia se caracterizaba por cuatro principios básicos, a saber: i) universalismo: los atributos personales o sociales deben de ser irrelevantes para la ciencia; ii) comunismo: los hallazgos científicos constituyen una herencia común a la humanidad; iii) desinterés: los motivos e intereses particulares no deben de intervenir en el juicio de las investigaciones y iv) escepticismo organizado: suspensión temporal del juicio sobre los resultados de una investigación hasta no realizar exámenes empíricos y lógicos. (Merton: 1942: 356-368)

A fines de la década de los años sesenta, los Estudios de la Ciencia comienzan su proceso de institucionalización en universidades tanto de Estados Unidos como de Inglaterra. Para ese momento, la Primera y Segunda Guerras Mundiales, o la Gran Guerra, ya había terminado, el nazismo había exterminado a miles de judíos y exiliado, principalmente a Estados Unidos, a algunos de sus científicos más brillantes y se había quedado con otros, como Werner Heisenberg, -autor del principio de incertidumbre y premio Nobel de física en 1932- como consultores de primer orden allegados al régimen.

Posteriormente, la guerra fría entre Occidente y el bloque soviético y sus manifestaciones, como la carrera armamentista y espacial se encontraban en todo su apogeo, y los países hegemónicos, durante y al término de la guerra, se empeñaron en poseer para sí las armas que mayor destrucción pudiesen causar y ello detonó la investigación y el desarrollo científico y tecnológico como nunca antes se había visto en la historia de la humanidad.

Al mismo tiempo, tanto la sociedad como los científicos mismos se interrogaron sobre su papel en todo ello y las consecuencias que sus artefactos tenían. Richard Feynman, por ejemplo, físico precursor de la nanotecnología y premio Nobel en el año 1965, en su libro *Surely are you joking, Mr. Feynman*, relata el modo en que se unió al Proyecto Manhattan (Feynman: 1985; 59)

“Los alemanes tenían a Hitler, y la posibilidad de que desarrollaran una bomba atómica antes de que nosotros lo hiciéramos era algo más que aterradora (...) Durante la guerra quedó interrumpida toda la actividad científica, a excepción de la poca que se hizo en Los Alamos”.

Feynman da cuenta de una prueba de la bomba atómica y del estado de ánimo que la detonación causó. Aquello tenía consecuencias en la vida cotidiana de miles de personas, que los científicos que trabajaban para el proyecto Manhattan soslayaban al estar entregados a su labor. En el momento de la detonación pudieron dimensionar el alcance de sus creaciones teóricas y de laboratorio. (Feynman: 1985; 76-77):

“Finalmente, al cabo de un minuto y medio nos llegó de pronto un ruido tremendo - ¡¡¡BANG!!!-, y después, un retumbar como de truenos y fue lo que me convenció (...) la solidez del sonido, a pesar de la gran distancia, significaba que el artefacto de verdad funcionaba.

El hombre que se encontraba a mi lado preguntó: -¿Qué ha sido eso?

Yo dije: -Eso ha sido la Bomba.

El hombre era William Lawrence. Se encontraba allí para escribir un artículo que describiese toda la situación. Estaba previsto que fuese yo quien sirviera de guía. Pudo verse entonces que el asunto era demasiado técnico para él, por lo que más tarde vino H.D. Smyth, y le guie por todo aquello. Una de las cosas que hicimos fue ir a una sala donde en lo alto de un estrecho pedestal se encontraba una pequeña bola plateada. Podías tocarla con la mano. Estaba tibia. Era radiactiva. Era plutonio. Permanecimos en pie en la puerta de esta sala, charlando acerca de ella. Teníamos allí un nuevo elemento creado por el hombre, un elemento que jamás existió antes sobre la tierra, excepto quizá

muy brevemente, en el nacimiento de ésta. Aquí lo teníamos, aislado y radiactivo, y tenía estas propiedades. Nosotros lo habíamos creado. Y por eso era tremendamente valioso. Tras el éxito del primer ensayo, había una tremenda excitación en Los Alamos. Todo el mundo celebraba fiestas, y todos corríamos de acá para allá. (...) Me acuerdo, sin embargo, de que un hombre, Bob Wilson, estaba allí sentado, deprimido.

Yo le dije: -¿A qué esas penas?

-Hemos hecho una cosa terrible, me respondió.

-Pero si fuiste tú quien la empezó. Tú nos metiste en esto.

Ya ven ustedes, lo que me pasó –lo que ocurrió con todos nosotros-, es que tuvimos una buena razón para empezar. Después uno se pone a trabajar muy intensamente para lograr algo, y es un placer; es muy emocionante. Y se deja de pensar; sencillamente, uno no piensa. Bob Wilson era el único que en ese momento pensaba en las consecuencias.

Regresé a la civilización poco después, y fui a Cornell a enseñar. Mi primera impresión fue muy extraña. Todavía no puedo comprenderla, y por aquel entonces me causaba una enorme impresión. Por ejemplo, estaba sentado en un restaurante de Nueva York, y al mirar los edificios vecinos empezaba a pensar hasta qué radio causó daños la bomba de Hiroshima, y cosas por el estilo... ¿A qué distancia de aquí estaba la calle 34?... Veía todos aquellos edificios reducidos a escombros. Si pasaba por un sitio donde estaban construyendo un puente, o abriendo una nueva carretera, pensaba: están locos; es que no comprenden, no alcanzan a comprender. ¿Por qué construyen cosas nuevas? Es totalmente inútil”.

La cita anterior ilustra un momento de agitación en dónde los regímenes políticos adquirieron consciencia de que el uso de la ciencia y el desarrollo tecnológico eran el factor que permitía ganar o perder una guerra y afirmarse como potencia mundial. Ya no se trataba tanto de lo numeroso del ejército, de las estrategias, o incluso los aliados lo que inclinaría la balanza hacia uno u otro lado, sino el grado de avance científico y tecnológico detentado por cada país. Sucesivamente, la primera y la segunda guerra mundiales, y la guerra fría no permitían detenerse un segundo a pensar.

Como dice Hobsbawm: (1998; 516) “Ningún otro periodo de la historia ha sido más impregnado por las ciencias naturales, ni más dependiente de ellas, que el siglo XX. No obstante, ningún otro periodo, desde la retractación de Galileo, se ha sentido menos a gusto con ellas”. Este desencanto de las ciencias naturales y el progreso a ellas asociado encuentra uno de sus puntos más álgidos con la explosión de Hiroshima y Nagasaki en 1945. Las imágenes de la ciudad arrasada, o, por ejemplo, la foto de la niña del Napalm, desnuda, huyendo de la explosión son imágenes icónicas del siglo XX. Exponen en términos de biografías

personales, el significado de la guerra, pero también, justo en el trasfondo, el significado de todo cuanto hicieron los científicos, ya sea en la parte de la modelación teórica, ya en la parte de desarrollo experimental, conscientes o no.

A fines de la década de los sesenta el momento de detenerse a pensar llegó. El mundo reaccionó y se convulsionó en movimientos políticos y sociales como la primavera de Praga, el mayo francés, o incluso, el movimiento estudiantil aquí, en México. Surgen movimientos de protesta antibélica, ecologista y multiculturalistas. Resurgen los feminismos y las luchas por los derechos civiles, de descolonización e independencia –presentes a lo largo de todo el siglo- y es entonces cuando en las universidades se institucionalizan los STS (Science, Technology and Society o Science and Technology Studies). En el año 1967, la Universidad de Edimburgo, en Escocia, imparte cursos sobre el tema y en 1969 lo hacen la universidad de Cornell (justo donde Feynman daba clase, al término del proyecto Manhattan) y Stanford, en Estados Unidos, entre otras.

Este pensamiento crítico en torno a las ciencias se cristaliza, posteriormente, con la institucionalización en diversas universidades de los estudios STS. Su objetivo era concientizar a los científicos acerca de las consecuencias de su trabajo, al tiempo que ofrecía una suerte de abc de la ciencia a los legos, que les permitiese estar en posición de tomar decisiones y conocer mejor su contenido, toda vez que su influencia en la vida cotidiana y sus repercusiones les conciernen y afectan.

De esta manera, surge lo que se dio en llamar *La Nueva Sociología de la Ciencia*, comprendida por el Programa Fuerte, el Constructivismo Social y la Etnometodología de la Ciencia.

En 1976, en la Science Studies Unit, de la Universidad de Edimburgo, surge con David Bloor lo que se dio en llamar el Programa Fuerte. Se trata de un programa de investigación -también compuesto por otros autores como: Barnes, Edge, MacKenzie, Pickering y Shaping- que crítica los asertos a los que llegó Merton,

estableciendo como postulados principales: i) el principio de causalidad, es decir, ocuparse de las condiciones que dan lugar a las creencias o a los estados de conocimiento. Naturalmente, habrá otros tipos de causas, además de las sociales, que contribuyan a dar lugar a una creencia; ii) imparcialidad: debe ser imparcial respecto a la verdad o falsedad, la racionalidad o irracionalidad, o al éxito o fracaso, de esos conocimientos. En todos esos casos cabe una explicación causal; iii) simetría: la explicación causal aplica tanto para creencias falsas como verdaderas y iv) reflexividad: sus explicaciones deben poder aplicarse a la sociología. (Bloor: 1976:7).

En 1981, como extensión del programa fuerte Harry Collins, de la Universidad de Bath, “explicita el Programa Empírico del Relativismo EPOR: Empirical Programme of Relativism. Propone un análisis microsociológico, centrado en estudios de caso contemporáneos (...) estudia las controversias científicas locales, las formas en que se negocian los resultados y los consensos que explican la producción de conocimientos” (Vinck: 2007; 187).

A fines de los años setenta y principios de los ochenta, cuatro investigadores, a saber, Bruno Latour, Sharon Traweek, Karin Knorr-Cetina y Michael Lynch estudian distintos laboratorios en California, Estados Unidos, (Kreimer: 2005; 23) desplegando cambios de enfoque, teóricos y metodológicos respecto al modo de analizar las ciencias duras. Se dedicaron a conocer el proceso de producción de la ciencia en el momento y en el espacio mismo de su ejecución, en lugar de la ciencia ya hecha y estructurada.

Es entonces que, con estas tres corrientes, la sociología del conocimiento conoce un cambio y según Kreimer (2005; 25) “se propuso dejar atrás los supuestos acerca de lo que los científicos “deberían hacer” y comenzó a interrogarse acerca de lo que “realmente hacen”. Ello implicó cambiar el nivel de análisis: los trabajos que se habían desarrollado hasta entonces se orientaron al estudio de la comunidad científica (Merton, Hagstrom); el campo científico (Bordieu); las disciplinas científicas (Ben-David), o los colegios invisibles (Price, Crane). Pero

ese nivel (agregado) no permite observar las prácticas concretas, situadas, de los investigadores”.

Es así como el laboratorio, sus instrumentos y las prácticas situadas de los científicos se convierten en unidad de análisis, a esto se le dio en llamar el “giro constructivista” o “giro hacía la práctica”, que cambia el enfoque a los procesos de fabricación del conocimiento y de los artefactos que rodean al científico, predominantemente en los laboratorios, pero también, en las reuniones teóricas, en las charlas de pasillo, en las presentaciones y juntas ante autoridades, en la redacción de artículos, en los artículos en sí mismos, en las controversias, y en fin, ahí donde un proyecto de investigación fluye y es negociado, transformado y estabilizado. Karin Knorr-Cetina es una de las principales autoras del constructivismo, cuyos presupuestos teóricos algunas veces se mezclan con los de la Sociología de la Traducción o la Teoría del Actor Red, aunque sus exponentes, en condiciones normales, a veces se critican ácidamente.

Estos análisis critican sobre todo al “Programa Fuerte” de Bloor por imponer a los factores sociales como explicación causal de la ciencia y su contenido, cuando éstos no están separados de ella, sino imbricados en su producción. Latour, por ejemplo, retoma el principio de simetría pero lo modifica al dar el mismo lugar a lo “social” y a lo “natural”, a lo humano y lo no humano. De hecho, reprueba el uso de polarizaciones para explicar los contenidos de la ciencia como “naturaleza” por un lado y “social” por otro, o para explicar el uno por el otro. La idea que subyace es que tanto la una como el otro están amalgamados y la separación en polos no permite analizarla, por ello, propone un análisis en red, circunstancial y relacional, para dar cuenta de la heterogeneidad y la contingencia intervinientes en la construcción de hechos científicos y en la cadena de decisiones que los sostienen.

Callon en 1986, al analizar un proyecto de investigación sobre el crecimiento poblacional de las vieiras en la Bahía de Saint Briec funda la *Sociología de la Traducción*, al exponer el entramado de relaciones de poder que son negociadas y la cadena de traducciones a que da lugar el interés de cada grupo identificado como actor en aquel proyecto de investigación.

Más adelante, en 1987, Pinch y Bijker siguiendo al programa *EPOR* citado anteriormente, “formulan un programa de análisis de la *Construcción Social de las Tecnologías (SCOT*, por sus siglas en inglés) dedicado a, según Vinck: (2007: 192-192) i) “la identificación de grupos sociales pertinentes y ii) a los procesos de estabilización de tecnología (cierre de controversias)” más su retorno al resto de la sociedad, es decir, lo que consideran las etapas de desarrollo del proceso tecnológico.

Recientemente, con la globalización, y la constitución de la Unión Europea, la ciencia comenzó a organizarse de forma diferente, en redes inter y multidisciplinarias en donde trabajan investigadores de varias nacionalidades, como en el caso del colisionador de hadrones (CERN) en Suiza.

También existe por caso que un equipo, por el costo que implica, deba de ser compartido por varios grupos de investigación dando lugar a nuevas formas de agrupación y organización laboral, o que el desarrollo científico cree nuevas especialidades que forman nuevas prácticas de trabajo como en el caso de las nanotecnologías, o que nuevos instrumentos, como las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC's) modifiquen la dinámica de transmisión del conocimiento y la espacialidad del trabajo.

De tal suerte que, al día de hoy, en los estudios sociales de la ciencia, si bien las controversias continúan, asistimos a un periodo de ciencia normal a lo Kuhn, en donde una o varias teorías dan lugar a un cuerpo relativamente vasto de investigaciones en el tema, en el seno de distintas instituciones, sobre todo europeas y norteamericanas, no así latinoamericanas, en dónde comienzan a emerger.

Esta tesis hace uso de las teorías de lo que se ha dado a llamar como Estudios Sociales de la Ciencia, en específico, de los conceptos utilizados por la teoría del actor red o sociología de la traducción y por la sociología constructivista de la ciencia, toda vez que quiere dar cuenta del entramado de relaciones y la traducción de intereses entre los distintos y heterogéneos bloques de actores,

instituciones, lugares, territorios, disciplinas, instrumentos, y situaciones concretas de trabajo en el desarrollo científico y tecnológico de un prototipo para desplazar hidrocarburo, sobre los que versa este análisis.

También, utiliza este cuerpo teórico porque un actor principal de la tesis no es un humano, sino un microorganismo, no solo por la cantidad de hidrocarburo que eventualmente desplazará, sino porque su proyección y modelación teórica y experimental, su cultivo, cuidados, observación y análisis, dan forma a las prácticas situadas de un grupo de investigadores y los articula con muchos mundos, en varios niveles, es decir, los posiciona relacionamente entre ellos mismos y también con otras culturas epistémicas, con otros grupos de investigación al interior del IMP, con una amplia y tortuosa burocracia, con intereses económicos estratégicos. También, con prácticas y formas de *savoir faire* científicos, y de alcance del hidrocarburo y de las instituciones responsables de él, en plena coyuntura del Pacto por México y de la Reforma Energética².

² El Pacto por México se trata de un acuerdo político nacional que contiene 94 compromisos firmados por el presidente de la república y los presidentes de los tres principales partidos políticos (PRI, PAN y PRD) El punto 2.5, en específico, trata sobre la “Reforma Energética” y establece las directrices que el gobierno actual propone para PEMEX , los hidrocarburos y otras fuentes de energía. Esta se materializo en una iniciativa de reforma constitucional, ya que ahora el artículo 27 de la Carta Magna estipula que “Corresponde a la Nación el dominio directo de todos los recursos naturales (...) el petróleo y todos los carburos de hidrogeno, sólidos, líquidos y gaseosos. Tratándose del petróleo y de los carburos de hidrogeno sólidos, líquidos o gaseosos o de minerales radioactivos, no se otorgaran concesiones ni contratos, ni subsistirán los que en su caso se hayan otorgado y la Nación llevara a cabo la explotación de esos productos” y el artículo 28 establece que “No constituirán monopolios las funciones que el Estado ejerza de manera exclusiva en las siguientes áreas estratégicas: correos, telégrafos y radiotelegrafía; petróleo y los demás hidrocarburos; petroquímica básica; minerales radioactivos y generación de energía nuclear; electricidad y las actividades que expresamente señalen las leyes que expida el Congreso de la Unión”. (CPEUM: 2013)

El pacto se puede consultar en:

<http://www.presidencia.gob.mx/wpcontent/uploads/2012/12/Pacto-Por-M%C3%A9xico-TODOS-los-acuerdos.pdf>

Y la reforma en: <http://presidencia.gob.mx/reformaenergetica/#!/reforma>

I.VI.II ORIENTACIÓN METODOLÓGICA DE LA INVESTIGACIÓN

Atendiendo el cuerpo teórico que sustenta la investigación y las hipótesis de trabajo, el presente estudio recurrió a la investigación etnográfica como vía de acceso al objeto de estudio, Louvel la define como “una relación con el campo caracterizada por una inserción prolongada en un lugar o en un grupo social” (Louvel: 2008;2), teniendo la ocasión de regresar a plantear dudas y hacer preguntas sobre las interpretaciones de la acción. Se realizó, entonces, un guión etnográfico -disponible en los anexos- para orientar la observación y las preguntas en tres dimensiones, a saber: 1) Las prácticas y la acción situada, individual y colectiva, de los investigadores; 2) La ecología, o la forma de organización del grupo de trabajo y los mecanismos de ensamblaje y 3) La economía, o la distribución de recursos en los distintos espacios en que (inter) actúan y entre los investigadores.

Durante el trabajo de campo, se optó por seguir sólo a un investigador por día, haciéndole muchísimas preguntas, pero tratando de incordiarle y / o estorbarle lo menos posible. Así, esta estrategia metodológica nos dio acceso a espacios e instrumental diferenciado en función del investigador y sus prácticas y permitió una mejor comprensión de las mismas, para las subsiguientes ocasiones que se seguía al mismo investigador.

También, para reconstruir la conformación del proyecto y el grupo de trabajo, al inicio de la investigación, se hizo una entrevista al jefe de proyecto, cuyo guión se presenta en los anexos. Posteriormente se ha regresado a hacer más preguntas pero sin un instrumento estructurado. El trabajo de campo se llevó a cabo a partir del 7 de mayo y hasta el 7 de junio de 2013.

Cabe mencionar que el trabajo desarrollado por los científicos es propiedad del IMP y como tal, una parte del proceso permanece oculta -si bien se me permitió observarlo todo- ya que se encuentra en el núcleo de la innovación, y es lo que eventualmente el IMP patentará.

Por otra parte, esta tesis, también hace uso de la fotografía porque una de las conclusiones a las que llegué durante el trabajo de campo, fue que *lo que se ve importa*. Muchas de las alocuciones registradas durante la inmersión en el campo de estudio y en entrevistas tienen que ver con “lo que se ve”. También existen muchos objetos e instrumentos cuyo fin último es el de permitir un modo particular de visualización, cuando no la visualización misma. Ver. Nada más que ver. Que se haga la luz. Esta operación básica y compleja en la mente del investigador, y en el instrumental que posee, que va desde hojas de papel hasta microscopios de ultra alta resolución, modifica, transforma todo el campo de la acción, da lugar a distintas selecciones y operaciones de métodos, tiende puentes entre instituciones para la cooperación científica, crea y genera artículos, está en la base de –a veces acaloradas, sarcásticas, acres, a veces cordiales, fraternas o protocolarias- discusiones teóricas.

Si en las llamadas ciencias exactas lo que se ve importa, y atendiendo al principio de simetría expuesto primero por Bloor y después, con sus modificaciones, por Latour, entonces las ciencias sociales y en específico la sociología deben de allegarse de instrumentos que le permitan la visualización y su registro. El instrumento que utilizo en este trabajo es la fotografía, que si bien existe desde principios del siglo pasado, solo recientemente, es decir, en las décadas de los 60 y 70 del mismo siglo, ha surgido -concomitando con los Estudios Sociales de la Ciencia- como instrumento para el análisis social en lo que se ha dado en llamar justo así: sociología visual o sociología de la imagen.

Harper (1988:1-2) define la sociología visual como: “el uso de fotografías, películas y video para estudiar la sociedad así como el estudio de los artefactos visuales de la sociedad. La sociología visual es una colección de enfoques en los cuales el investigador hace uso de fotografías para retratar, describir o analizar fenómenos sociales”

De acuerdo con el mismo autor (2000:4) “Eventos culturales y políticos influenciaron la emergencia de la sociología visual. En los Estados Unidos, la Guerra de Vietnam, el sentimiento de fracaso de las ciencias sociales y problemas sociales de larga data, tales como el racismo, la pobreza y el sexismo llevaron a los científicos sociales más jóvenes a buscar alternativas de investigación, nuevas agendas y formas de conocimiento de la sociedad”.

Siguiendo con Harper (2000:8) “Las imágenes nos permiten hacer enunciados que no pueden hacerse por medio de palabras y el mundo que vemos está saturado de significado sociológico”. En resumidas cuentas, como dice el dicho, una imagen dice más que mil palabras. Sin embargo, desde mi punto de vista, aún cuando las fotografías hablen por sí mismas, deben estar acompañadas de una descripción y/o explicación que las dote de sentido en el contexto de lo que se pretende describir.

Garrigues (2000:6) distingue dos formas diferenciadas de uso de la fotografía en la sociología: “La fotografía ayuda a comprender cómo funcionan la mirada y la visión. Se trata de dos dimensiones: una dimensión de sociología visual, cuando se consideran cuerpos fotográficos situados en el tiempo, el espacio y una sociedad o un medio dados; y una dimensión de sociología de la mirada, cuando se analiza no tanto en contenido en sí mismo del corpus, sino los efectos de percepción, recepción y producción de dicho corpus”.

Harper (1988:7) distingue dentro de la sociología visual cuatro enfoques diferentes para obtener y construir datos, susceptibles de conjugarse entre sí. Según él: “Los sociólogos categorizan partes del mundo, creando así datos (modo científico); los sociólogos utilizan su propia experiencia subjetiva como fuente de datos (modo fenomenológico); los sociólogos estructuran sus datos para dar cuenta de algo (modo narrativo) y los sociólogos construyen los datos desde el punto de vista de sus sujetos de estudio (modo reflexivo). Las diferencias entre estos enfoques se encuentran parcialmente en la relación entre el investigador y los datos. En el modo científico, el sociólogo busca los datos fuera de su experiencia; como

fenomenólogo, el sociólogo busca dentro de su propio conocimiento. El narrador estructura los datos para analizar la vida social como proceso, y el sociólogo reflexivo busca datos en la expresión del sujeto".

Siguiendo con el mismo autor, "muchas de las categorías sociológicas están basadas en fenómenos observables, y de hecho, pueden ser mejor entendidas si son congeladas en una imagen fotográfica que escritas en un diario de campo. Ya que dichas categorías son utilizadas no solo por lo que los distintos grupos hacen, sino también por su apariencia y las posesiones que llevan, preservar la observación a través de la fotografía puede facilitar un registro de información que de otro modo sería más complicado de recordar o de describir por escrito. Las fotografías pueden ser leídas para entender matices de interacción, presentaciones del yo, y la relación entre las personas y su medio ambiente material".

En el caso de este trabajo, la fotografía resulta particularmente útil porque, un laboratorio, por ejemplo, es un sitio extremadamente abigarrado y resulta difícil, si no imposible, describirlo sin hacer uso de representaciones gráficas. En él se conjuntan un sinnúmero de objetos, cada uno de los cuales tiene una historia y una función específicas, y considero que su sentido dentro de la acción propia del laboratorio y de la producción científica resulta más comprensible y la descripción más certera si se recurre al uso del registro visual fotográfico.

I.VII DESARROLLO DE LA TESIS

Esta tesis se desarrolla bajo la siguiente lógica: en el primer capítulo, a fin de identificar los actores y las relaciones intervinientes en la conducción de la industria petrolera nacional, se presentaran los entes gubernamentales relacionados con la materia y, para identificar la problemática en torno al petróleo, se presentan datos estadísticos sobre indicadores clave.

En el segundo capítulo nos adentramos en la forma en que el petróleo es abordado desde la dimensión de la extracción y producción, y presentaremos las

fases de recuperación de hidrocarburo, a saber: primaria, secundaria y terciaria, así como las técnicas y métodos utilizados (EOR/IOR; y dentro de ellos MEOR) y el porcentaje de recuperación correspondientes a cada etapa.

En el tercer capítulo, el lente se desplazará hacia el proyecto, basado en la recuperación de hidrocarburo vía microbiana al interior del IMP y la trayectoria que hubo de recorrer para llevarse a cabo, se expondrá la generación de ideas, a la que le subyace una determinada *cultura epistémica* (Knorr-Cetina) y la conformación del grupo de trabajo, sus protagonistas, roles e identidades y el papel de la burocracia.

En el cuarto capítulo, se abordará la dimensión empírica y la dinámica microsocial del trabajo de producción científica a través de una etnografía y para ello, primero se expondrá una revisión teórica del concepto de laboratorio, sitio sede de la imbricación y transformación social y natural, para después ubicar la trayectoria de conformación del laboratorio que nos ocupa, la estructura demográfica del equipo, los subgrupos que lo componen, sus sedes, funciones e instrumentos de trabajo.

También se hará un acercamiento hacia el microorganismo, los objetos y su interacción con los investigadores para configurar una determinada producción tecnocientífica. El microorganismo es considerado aquí como un actor estratégico, ya que articula alrededor de sí la acción coordinada y conjunta de los instrumentos, equipo e investigadores, y conforma y transforma la realidad a su paso. La inclusión de los objetos se impone como necesaria para dar cuenta de: 1) la acción situada del equipo de investigadores, 2) la localidad y especificidad del trabajo y 3) la caracterización ontológica del laboratorio.

Asimismo, el trabajo de construcción del microorganismo y el mundo de objetos encontrados al interior del laboratorio impusieron la necesidad de un registro que mejorara la descripción de los hallazgos empíricos, y por lo tanto, proponemos hacerlo a través de un ensayo de sociología visual.

Posteriormente se abordará la preeminencia del acto de ver y representar y las distintas escalas que guían la mirada del grupo de investigación, así como los

mecanismos por los cuales ocurre el entendimiento interdisciplinario, haciendo énfasis en uno de ellos, por su omnipresencia en las situaciones de estabilización del objeto tecnocientífico : el papel – traductor.

Después, se expondrán los desplazamientos derivados de las distintas interacciones entre los actores identificados como más relevantes en este proyecto, a saber: 1) el microorganismo, 2) el equipo, 3) los investigadores, 4) sus disciplinas, 5) el IMP y 6) la industria petrolera. Finalmente, se exponen las conclusiones y los principales hallazgos del trabajo realizado.

Los anexos contienen información metodológica utilizada durante el estudio. Se presenta el guion etnográfico que orientó la observación y el análisis de las prácticas situadas del equipo de investigación, su organización y los objetos empleados, así como el guión de la entrevista inicial realizada al jefe de proyecto. Se tuvo ocasión de regresar a hacer más preguntas o aclarar dudas, pero de forma abierta.

Durante la etnografía, se apreció que el trabajo de producción científica está, también, cruzado y afectado por fenómenos más amplios y estructurales, en este caso, destacaron dos, a saber: una creciente precarización laboral en todos los sectores, incluido éste, aunado a cambios administrativos y legales en torno a la producción de energéticos y, por otra parte, la incursión -no exenta de tensiones- de las mujeres a sectores predominantemente masculinos. Por ello, esta tesis también está cruzada por dos entreactos situacionales en donde se da cuenta de cómo dichos fenómenos son vividos al interior del IMP.

CAPÍTULO I

EL PETRÓLEO.

Atendiendo a su nombre, que viene del latín *petra* (piedra) y *óleum* (aceite), el petróleo en efecto, por la manera en que se formó, es un aceite incrustado en rocas, de donde ha de ser desorbido (liberado de poros o intersticios).

Los científicos dedicados a la recuperación y producción de hidrocarburo lo hacen abarcándolo desde lo que ellos denominan el sistema roca - fluido. Esto quiere decir que tratan de considerar y controlar el mayor número de variables que sea posible, tomando en cuenta las características propias del petróleo y su situación y entorno específicos, tales como las rocas, el aceite, el agua, el tipo de yacimiento, y las condiciones de salinidad, presión y temperatura.

El aceite se clasifica según sus grados API³ en superligero, ligero, mediano, pesado, o extra pesado, y en función de ello resulta más o menos difícil el flujo de fluidos hacia la superficie. Los pesados y extra pesados, por ejemplo, presentan mayor viscosidad y por lo tanto su flujo resulta más complicado. Para reducir dicha viscosidad, el equipo de investigación analizado propone la utilización de tensoactivos, que “son sustancias que presentan actividad en las superficies reduciendo la superficie del líquido en el que está disuelto o bien la tensión superficial de la interfase si es que hubiera otra fase presente. Para que una sustancia sea tensoactivo se requiere que tenga dos grupos: uno polar (hidrófilo) y otro no polar (hidrófobo). Los tensoactivos iónicos con fuerte afinidad por el agua, motivada por su atracción electrostática hacia dipolos del agua puede arrastrar consigo a las soluciones de cadenas de hidrocarburos.” (Facultad de Química: 2014). De esta forma se puede lograr la salida del hidrocarburo a la superficie.

³ Se trata de un parámetro internacional fijado por el American Petroleum Institute, de cuyas siglas recibe su nombre.

En la imagen siguiente, se pueden observar las dos fases separadas que forman el agua y el crudo. La interface es la parte sobre la que el microorganismo busca influir, estabilizándolo, o volviéndolo homogéneo.

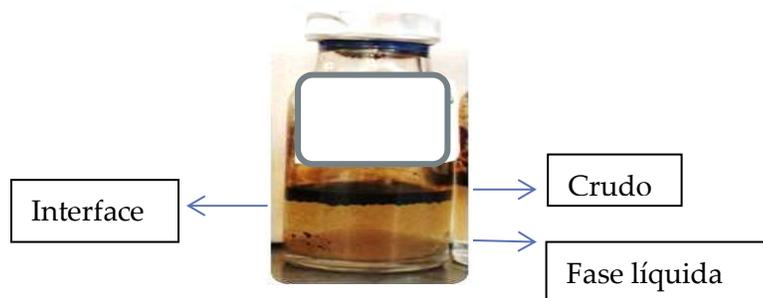


Figura I: El agua y el aceite no se mezclan, por diferencia de presión, el segundo sube a la superficie, formándose dos fases. El microorganismo busca que el agua y el aceite se vuelvan homogéneos.

Ahora bien, para nuestro país, el petróleo es un tema de primera importancia en al menos dos sentidos. El primero, en términos económicos, por ejemplo, para septiembre de 2012, la aportación de los ingresos provenientes del petróleo al total de los ingresos del sector público fue del 34.1%, es decir, un poco más de la tercera parte⁴. El segundo, en términos simbólicos: históricamente, se ha construido la idea de que la riqueza, el bienestar y la autonomía del país dependen en buena medida directamente del petróleo, de su posesión, de sus reservas, de su producción y de su exportación.

Es así que México es un país productor de petróleo. La unión de estas dos variables – la nación y el petróleo- tiene como consecuencia un sinnúmero de hechos de la vida material, económica y simbólica nacional. A partir de la expropiación petrolera, el 18 de marzo de 1938, se crea Petróleos Mexicanos (PEMEX) con el fin de producir y gestionar este recurso. Más adelante, para generar investigación y recursos humanos en la materia, en 1965 se crea el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP). Es en este centro público de investigación

⁴ Fuente: Secretaría de Energía:

http://www.sener.gob.mx/res/380/Prontuario_Septiembre_2012.pdf

en donde se busca generar investigación básica orientada a desarrollar un producto tecnológico consistente en un tensoactivo o surfactante capaz de reducir la viscosidad del crudo para que de esta manera fluya hacia la superficie y se pueda obtener en mayor cantidad.

En el presente capítulo presentaré a las instituciones responsables de la conducción de la industria petrolera nacional: su origen, funciones y organización, así como un breve panorama del status actual del petróleo mexicano y de las fases de recuperación del hidrocarburo, para dar cuenta de la razón de ser de sus instituciones y de los fenómenos que convergen en un proyecto de investigación científica y desarrollo tecnológico en esta área.

I.I ANTECEDENTES

La empresa paraestatal responsable del petróleo nacional es Petróleos mexicanos (PEMEX). Creada a partir de la expropiación que el 18 de marzo de 1938 hiciera el General Lázaro Cárdenas, Pemex es el organismo “responsable de la conducción de la industria petrolera nacional” (Pemex: 2013). Para tal efecto, se organiza en cuatro organismos subsidiarios, según se puede leer en su página web⁵:

- PEMEX Exploración y Producción (PEP)
- PEMEX Refinación (PXR)
- PEMEX Gas y Petroquímica Básica (PGPB)
- PEMEX Petroquímica (PPQ)

Después de que la industria petrolera estuviese controlada por empresas extranjeras, a partir de su expropiación, el 18 de marzo de 1938, vía decreto del Presidente Lázaro Cárdenas del Rio, la existencia del crudo planteaba problemas en torno al desarrollo tecnológico e industrial y la investigación científica. Para resolverlos, se crea el 23 de agosto de 1965 el Instituto Mexicano del Petróleo.

⁵ Pemex. Página Web 2013:

<http://www.pemex.com/index.cfm?action=content§ionID=1&catID=10004>.

Consultado el 5 de marzo 2013

El decreto mediante el cual se crea como organismo descentralizado y de interés público dice que: “tiene por objeto la investigación y el desarrollo tecnológicos requeridos por la industria petrolera, petroquímica y química, la prestación de servicios técnicos a las mismas, la comercialización de productos y servicios tecnológicos resultantes de la investigación, así como la formación de recursos humanos altamente especializados en las áreas de su actividad”. (IMP: 2013) El IMP es conocido en términos genéricos como “el brazo tecnológico de Pemex”.

Según expone Guajardo (2004:9-12) el IMP “para mediados de la década de 1970 era uno de los centros de investigación en petróleo y petroquímica más importantes del Tercer Mundo (...) y poseía el índice de patentamiento por institución más alto del país. Logró que México alcanzara los primeros lugares a nivel mundial tanto en reservas como en producción y dominaba la secuencia en el desarrollo tecnológico desde el estudio básico, la experimentación en escala de vidrio, en planta piloto, la elaboración de ingeniería de proceso y proyecto constructivo final”.

Para llevar a cabo una empresa como la que le corresponde, el IMP se subdivide, primero en cuatro direcciones: 1) Dirección corporativa de planeación y desarrollo institucional; 2) Dirección de investigación y posgrado; 3) Dirección corporativa de operación y 4) Dirección corporativa de finanzas y administración. A su vez, la Dirección de Investigación y Posgrado, se subdivide en nueve programas (IMP: 2013), a saber:

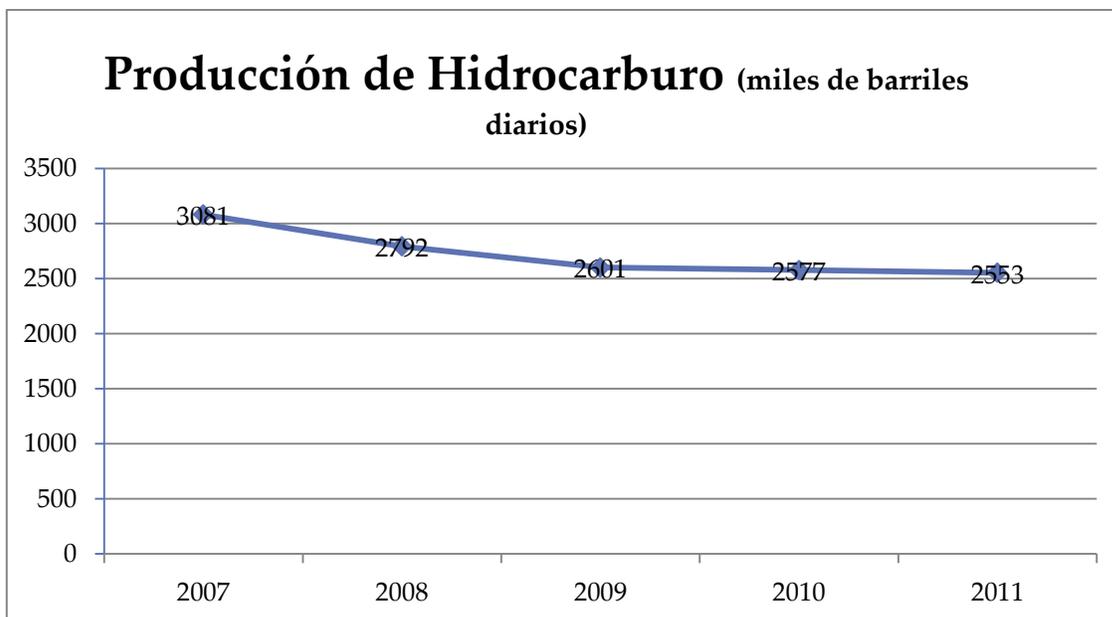
- Aseguramiento de la Producción de Hidrocarburos
- Explotación de Campos en Aguas Profundas
- Geofísica de Exploración y Explotación
- Geología en Exploración y Explotación
- Ingeniería Molecular
- Integridad de Ductos
- Matemáticas Aplicadas y Computación
- Procesos de Transformación

- Recuperación de Hidrocarburos

El proyecto de investigación objeto de esta tesis se inscribe en el marco de la Dirección de Investigación y Posgrado (DIP). En la página web del programa se puede leer que sus objetivos son ocuparse “de la investigación básica y su aplicación en la industria petrolera; formar investigadores y especialistas de excelencia con orientación a la industria petrolera; promover que el aprendizaje sea un hábito inseparable de las labores institucionales; y evaluar, dar seguimiento y control a la cartera de proyectos de Investigación y Desarrollo Tecnológico, así como a la transferencia de sus resultados para su comercialización” (IMP: 2013).

Una vez que ha quedado establecida la identidad de las dos instituciones encargadas del desarrollo del petróleo en México, definiremos la situación actual del aceite⁶ como tal. En términos generales, se sabe que la etapa de grandes descubrimientos de yacimientos de fácil acceso está llegando a su fin, mientras que las perspectivas de declinación en los actualmente explotados continúan. Lo anterior queda expuesto en la siguiente gráfica, que muestra la producción de hidrocarburo expresada en miles de barriles diarios. En ella se puede apreciar el paulatino declive que sufre la producción.

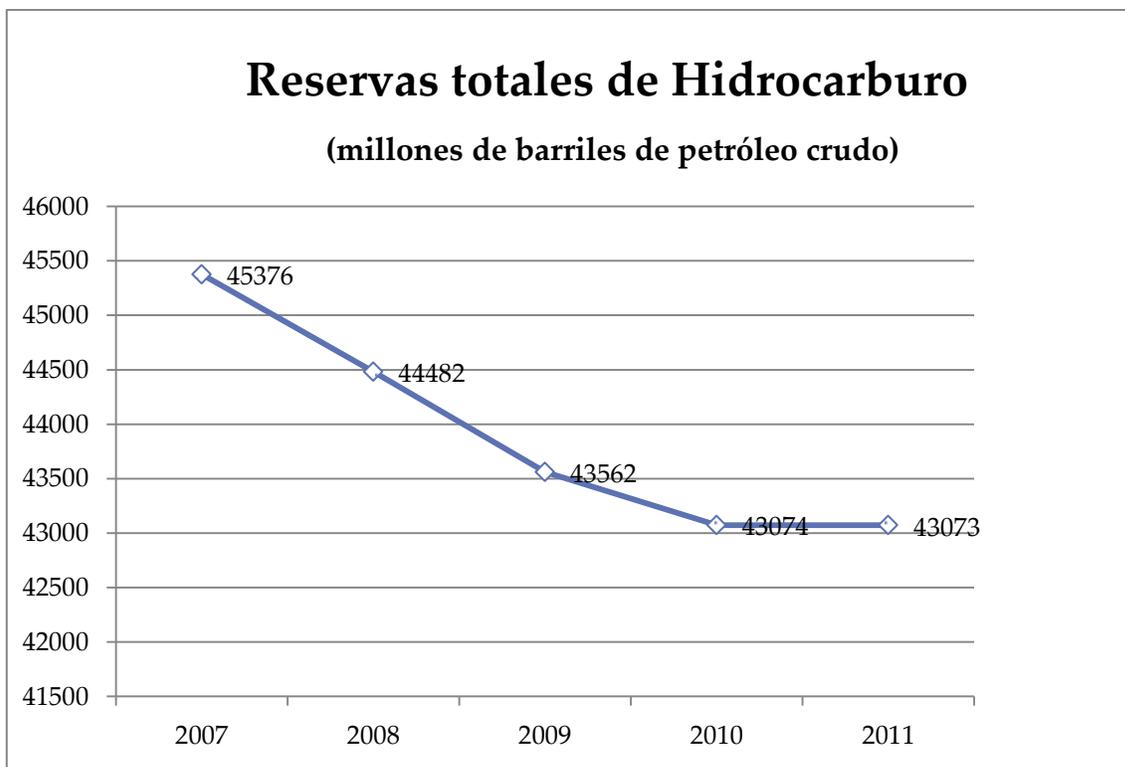
⁶ En el argot petrolero nacional se utiliza más la palabra “aceite” que petróleo. Aquí se usarán esos dos términos, junto con el de hidrocarburo y crudo, de forma indistinta.



Gráfica I. Producción de hidrocarburo años 2007-2011. Fuente: elaboración propia con base en datos de Pemex.

Al mismo tiempo, las reservas 3P (Probadas, Probables y Posibles)⁷ de hidrocarburos conocen también un declive paulatino, como se puede apreciar en la gráfica II.

⁷Reservas son las cantidades de hidrocarburo que se prevé serán recuperadas comercialmente. Según el grado de certidumbre de su recuperación se dividen en probadas y no probadas. De esta última categorización derivan las probables y las posibles. Las reservas probadas son aquellas que con cierta certidumbre serán recuperadas en años futuros. Las reservas probables son aquellas reservas no probadas para las cuales el análisis de la información geológica y de ingeniería del yacimiento sugiere que son factibles de ser comercialmente recuperables. Reservas posibles son aquellos volúmenes de hidrocarburos cuya información geológica y de ingeniería sugiere que es menos factible su recuperación comercial que las reservas probables, pero que, como su nombre lo indica, son posibles de recuperar. (PEMEX: 2012)



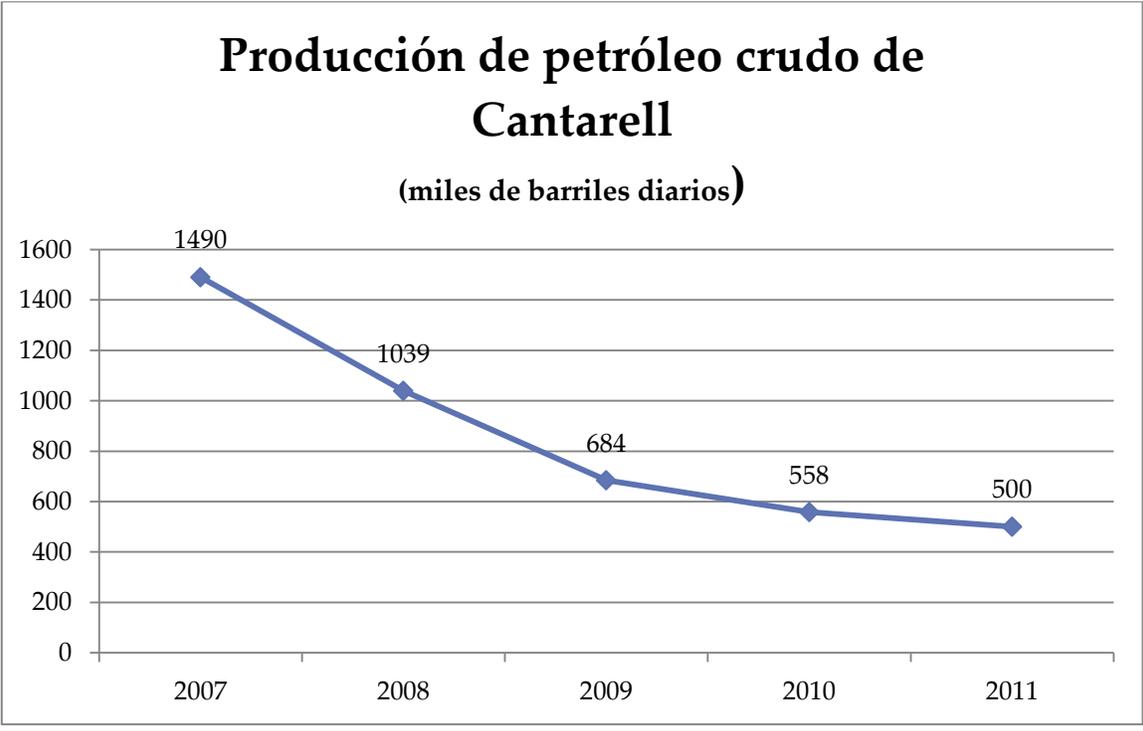
Gráfica II. Reservas totales de hidrocarburo años 2007 -2011. Fuente: elaboración propia con base en datos de Pemex.

La declinación en la producción se explica en buena medida, por el hecho de que, desde su descubrimiento a fines de los años setenta del siglo pasado, México depende en gran medida para la producción de hidrocarburos de Cantarell, yacimiento caracterizado por ofrecer una extracción relativamente sencilla y de bajo costo. En su momento, gracias a Cantarell, México se disponía a “administrar la abundancia”, sin embargo, éste conoce una fase natural de declive derivada del volumen tan alto de extracción de aceite, al mismo tiempo que éste es un recurso finito, y de que no se han implementado técnicas de recuperación terciaria o mejorada.

Para dar una idea de la importancia que en términos de ingresos tiene dicho yacimiento, reproduciremos las consideraciones que hace Pemex: “el valor económico generado por Cantarell es el máximo logrado por algún proyecto de petróleo en México. Se estima que solamente durante los últimos 13 años, ha

generado un valor presente neto, antes de impuestos, de casi 8 billones de pesos” (Pemex 2013).

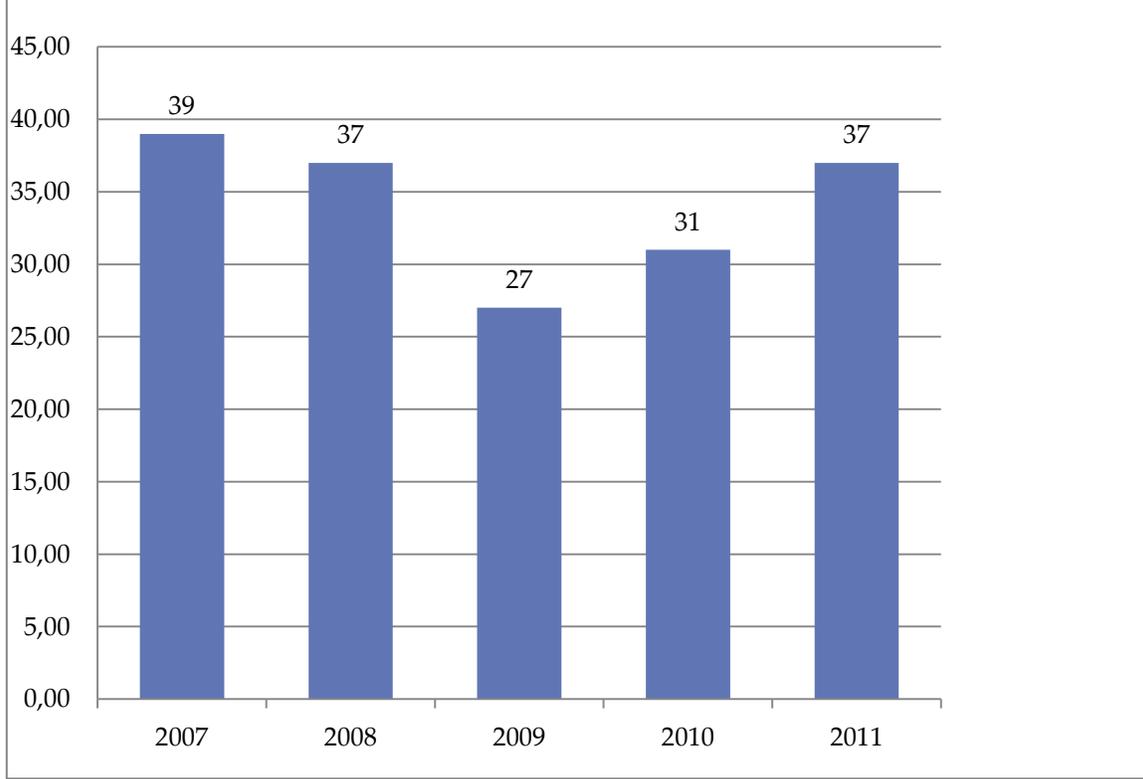
En la siguiente gráfica se puede apreciar claramente el decaimiento de la producción de hidrocarburo de Cantarell durante los años 2007-2011.



Gráfica III: Producción de petróleo crudo de Cantarell años 2007 a 2011. Fuente: elaboración propia con base en datos de PEMEX.

La dependencia que la federación tiene sobre la producción de hidrocarburo es alta considerando que entre la tercera y cuarta parte de sus ingresos proviene del mismo, como se puede apreciar a continuación, en la gráfica IV.

Porcentaje del ingreso gubernamental por impuestos pagados por PEMEX



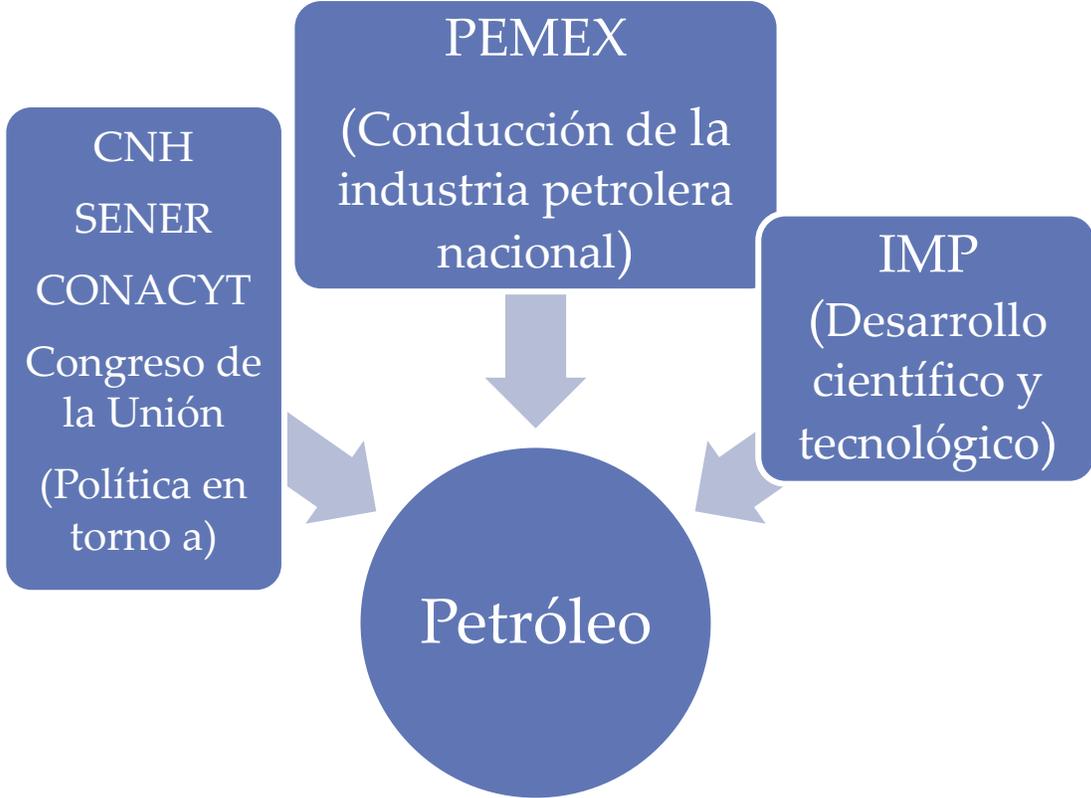
Gráfica IV: Porcentaje del ingreso gubernamental por impuestos pagados por Pemex. Nota: las cifras han sido redondeadas. Fuente: Elaboración propia con base en Pemex: 75 años.

Es así que la producción y las reservas de hidrocarburo van en declive, al mismo tiempo que los ingresos de la federación dependen del aceite en una proporción mayor a la tercera parte. De tal suerte que la industria petrolera nacional se encuentra ante escenarios complejos para los que ha de implementar soluciones tecnológicas en el corto plazo, a fin de resolver tanto la demanda energética como el ingreso nacional. Dichas soluciones han de ser viables en términos económicos y con un bajo impacto al medio ambiente. Cabe mencionar que, aun cuando nuevas fuentes de energía como la nuclear, la solar, el hidrógeno, los bioaceites y los biocombustibles estén siendo desarrollados, actualmente y durante los años

por venir, se considera que los combustibles fósiles permanecerán a la cabeza, por lo tanto, el petróleo seguirá siendo la principal fuente de energía a nivel mundial.

El petróleo es un tema tan complejo y de tan alta importancia económica, política, científica, tecnológica, social y cultural para este país que existen, necesariamente, otras entidades relacionadas con él, tal es el caso de la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH), la Secretaría de Energía (SENER) el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y la Comisión de Energía del Senado de la República y la Cámara de Diputados. Estos últimos organismos son responsables de conducir la política energética y la investigación científica y tecnológica en esta área.

De esta manera, el petróleo mexicano está ligado y vincula entre sí a los siguientes entes para su conducción:



Lo expuesto hasta aquí, describe a grandes rasgos el panorama nacional en materia de petróleo. Se establece que PEMEX es la institución encargada de conducir la industria petrolera nacional, en tanto que el IMP está encargado de desarrollar investigación científica y tecnológica para el mismo sector. En adelante se hará una muy breve revisión de las fases de recuperación del hidrocarburo con el fin de comprender el proyecto que es objeto de análisis de esta tesis.

I.II RECUPERACIÓN DE HIDROCARBURO

La explotación de un yacimiento conoce tres periodos: el de explotación primaria, el de explotación secundaria y adicionalmente una recuperación terciaria y / o mejorada. En la primera fase, la extracción de hidrocarburo no supone gran problema debido a que la diferencia de presión hace que éste se drene de forma natural hacia la formación (pozo) o a la superficie, ya que es más pesado que el agua.

De acuerdo con Salager (2005) “la recuperación primaria se termina cuando la presión del yacimiento ha bajado demasiado, o cuando se están produciendo cantidades demasiado importantes de otros fluidos (gas, agua). El porcentaje de recuperación primaria en sitio es en promedio del orden del 10 al 15 %”.

Cuando se pasa a la segunda fase, o de recuperación secundaria de hidrocarburo, “los métodos consisten en inyectar dentro del yacimiento un fluido menos costoso que el petróleo. Estos fluidos se inyectan por ciertos pozos (inyectores), y desplazan o arrastran una parte del petróleo hacia los otros pozos (productores)” Salager (2005).

I.III RECUPERACIÓN TERCIARIA Y /O MEJORADA DE HIDROCARBURO

Una vez que un yacimiento ha agotado las dos fases descritas anteriormente⁸, aún resta en él, entre el 60 y el 80% del aceite en sitio. Continuando con Salager “entre los métodos cuyo propósito es mejorar la eficiencia del desplazamiento se pueden citar la utilización de solventes miscibles con el crudo y la obtención de baja tensión interfacial con soluciones de surfactantes o soluciones alcalinas. Para mejorar la eficiencia de barrido se puede reducir la viscosidad del crudo mediante calentamiento, aumentar la viscosidad del agua con polímeros hidrosolubles, o taponar los caminos preferenciales por ejemplo con espumas”.

Es decir que del 100% del aceite que se encuentra en los yacimientos, al menos un 60% permanece *in situ* después de haber aplicado los procesos tradicionales de recuperación primaria y secundaria; por ello y para incrementar el factor de recuperación y la vida útil de los pozos, es necesario desarrollar e implementar tecnologías de recuperación mejorada que consideren la complejidad de los yacimientos mexicanos.

Es aquí en donde se inscribe la acción del grupo de investigadores estudiados, quienes, considerando el escenario energético nacional y, laborando en el IMP, buscan dar soluciones a la industria petrolera nacional a través de la recuperación mejorada vía microbiana de hidrocarburo, también conocida como MEOR por sus siglas en inglés (Microbial Enhanced Oil Recovery), proceso que se abordara más adelante.

Así, los focos rojos están prendidos en el escenario actual del hidrocarburo en México. Recapitulando: durante los años por venir el petróleo será la principal fuente de energía a nivel mundial, en tanto que a nivel nacional la producción y las

⁸ Aún existe polémica en la adecuación de los términos a las fases descritas, ya que la recuperación mejorada de hidrocarburo puede aplicarse en cualquiera de las fases, ya sea primaria, secundaria o terciaria. Véase, por ejemplo, Sánchez Ramírez Obed (2009) para una caracterización de cada fase y distintas definiciones de los términos EOR (Enhanced Oil Recovery) e IOR (Improved Oil Recovery) de los cuales deriva el MEOR (Microbial Enhanced Oil Recovery). También véase el documento producido por la Comisión Nacional de Hidrocarburos (2012) “El futuro de la producción de aceite en México: Recuperación avanzada y mejorada IOR-EOR”.

reservas de aceite van a la baja y la dependencia de las finanzas locales en este energético es alta. De tal suerte que algunos de los organismos encargados de la conducción de la industria petrolera nacional, es decir, Pemex y el IMP, buscan la manera de responder a este escenario a través del desarrollo científico y tecnológico. Una de estas maneras consiste en la recuperación mejorada de hidrocarburos vía bacteriana, que es la propuesta de desarrollo tecnológico a analizar en esta tesis, y cuyo contenido se desplegará en los capítulos subsecuentes.

CAPÍTULO II

EL PETRÓLEO DEBE SER RECUPERADO.

Ya que es, por un lado *la* fuente de energía, y por otro, *la* fuente de ingreso nacional, el aceite no puede permanecer en las profundidades, incrustado en rocas. Debe fluir, debe de continuar su camino hasta poblar el mundo y nuestra vida con pavimento, esmalte para uñas, medias y turbosina.



Poco queda de aquella imagen en la que, aquel que con júbilo descubriría una fuente de petróleo, aparte de que se volvía millonario instantáneamente, conocía de su hallazgo por el hecho de que éste brotaba en un potente chorro hacia el exterior. Como hemos visto, esto se conoce como recuperación primaria de hidrocarburo y abarca alrededor del 10% del petróleo total de un yacimiento. ¿Qué sucede con el resto del petróleo que está ahí, pero cuya recuperación es más complicada? Le sucede otra fase, la secundaria, en la que se le inyecta agua para incrementar el flujo de fluidos por diferencia de presión, ya que el petróleo es más pesado que el agua y en este medio, tiende naturalmente a fluir hacia la superficie. Sin embargo, terminada esta fase aún resta alrededor del 70% o más por recuperar.

De entre las opciones existentes para incrementar el flujo de fluidos, existe la recuperación mejorada de hidrocarburos, -en el caso que nos ocupa, por vía bacteriana- de la que se ha escrito antes de forma somera.

En este capítulo se hará un breve repaso de esta área de investigación, a fin de dar mayor sentido y claridad a la acción del grupo de investigadores del IMP, de los que se hablará con detalle más adelante. Por ahora, basta tener en claro en qué consiste, por qué es pertinente desarrollar investigación en esta área, qué son los bioproductos, cuánto petróleo se puede llegar a recuperar por esta vía y por qué resulta viable su aplicación y dónde.

Esta parte es incluida porque durante el trabajo de campo me percaté de que al responder mis preguntas, los investigadores hacían referencia a un corpus de conocimiento y de prácticas comunes en torno al petróleo. Por un lado, y por otro, a un corpus de conocimientos y prácticas propias a cada uno de los integrantes, que provienen de distintas disciplinas, como la física, la química y la biología, enfocados a la recuperación de hidrocarburo y de qué forma estas disciplinas se ven obligadas a traspasar sus fronteras y converger. Es así que se configura lo que Knorr-Cetina (1999:1,8) denomina como cultura epistémica, a saber: “aquellas amalgamas de arreglos y mecanismos –unidos a través de afinidad, necesidad y coincidencia histórica- que, en un campo determinado, componen el *cómo sabemos lo que sabemos*. Las culturas epistémicas son culturas que crean y ordenan el conocimiento, (...) haciendo énfasis en el conocimiento como práctica –dentro de estructuras, procesos y ambientes que crean configuraciones epistémicas específicas”. Lo que se intenta, es explicar brevemente el punto de partida de dicha cultura epistémica local.

Como ya se ha mencionado, el estado actual del petróleo en México pasa por un momento complejo. Aunque hay petróleo, si tomamos en cuenta que después de las dos primeras fases de recuperación el remanente de aceite en sitio es de un 60 a un 80 por ciento. El problema se traduce entonces en ¿cómo mejorar el flujo de fluidos hacia la superficie? ¿Cómo desplazarlo? ¿Cómo recuperarlo?

Primero, para repasar y precisar las fases de recuperación de hidrocarburo se presenta la Tabla 1.

Tabla I. Fases de Recuperación De Hidrocarburo

RECUPERACIÓN PRIMARIA	RECUPERACIÓN SECUNDARIA	RECUPERACIÓN MEJORADA EOR-IOR
Flujo natural hacia la superficie por diferencia de presión.	Inyección de agua y gas o una mezcla de ambas para mantener la presión en el yacimiento (desplazamiento inmiscible).	Inyección de materiales que no están presentes en el yacimiento, o presentes, pero inyectados en condiciones específicas para alterar el comportamiento físico-químico de los fluidos.

Fuente: elaboración propia con base en CNH:2012.

Como se ve, son tres momentos diferenciados, aunque esto no impide que la recuperación mejorada de hidrocarburo comience desde la primera etapa, de hecho, recientemente, este proceder ha sido alentado. En el informe que presenta la Comisión Nacional de Hidrocarburos –en adelante CNH- (CNH: 2012: 30) sobre EOR e IOR, se establece que esto debe hacerse, rompiendo el viejo paradigma de esperar la culminación de una fase para comenzar con la otra. Según este informe: “este paradigma de etapas cronológicas debe superarse para incorporar el EOR desde etapas tempranas en la explotación de los yacimientos que así lo requieran. Uno de los mejores ejemplos es Chicontepec, cuya baja energía inicial y condiciones adversas de subsuelo hace que los pozos pierdan productividad rápidamente. Si la recuperación avanzada y mejorada (IOR-EOR) se aplica desde el inicio, es decir, se inyecta agua, gas hidrocarburo o dióxido de carbono (CO₂), (...) se podrían obtener mayores producciones por pozo y por consiguiente una mejor recuperación total del depósito más grande de hidrocarburos del país”.

II.I EOR – IOR ¿DE QUÉ SE TRATA?

En los Estados Unidos de Norteamérica, en la década de los noventa del siglo pasado, comenzó una línea de investigación para recuperar el crudo. Se trata de la recuperación mejorada de hidrocarburo, conocida por sus siglas en inglés como EOR (Enhanced Oil Recovery) e IOR (Improved Oil Recovery). De hecho, se considera que gracias a la aplicación de estas tecnologías Estados Unidos y Canadá se están colocando como países productores e incluso exportadores de petróleo.

El nombre, su especificidad y su diferencia entrañan algunas confusiones, sin embargo, de acuerdo con la CNH (CNH: 2012: 30) “en algunos países, IOR y EOR se utilizan como sinónimos; en otros el EOR es un subconjunto del IOR. El IOR, en sentido estricto, también abarca un amplio rango de actividades, como la implementación de técnicas mejoradas de caracterización de yacimientos, administración de yacimientos y perforación de pozos de relleno”.

Existen varios métodos de recuperación mejorada, pero para simplificar y presentarlos de forma ordenada, pueden ser divididos básicamente en dos: los térmicos y los no térmicos, como se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla II. Métodos de recuperación mejorada de hidrocarburo EOR

MÉTODOS DE EOR – IOR	DESCRIPCIÓN
Térmicos	Inyección de: agua caliente; vapor; calentamiento eléctrico y combustión <i>in situ</i> .
No Térmicos	Inyección de: miscible (que se mezcla); químicos; gases inmiscibles; MEOR e inyección de espumas.

Fuente: elaboración propia con base en CNH:2012.

II.II ¿CUÁNTO ACEITE SE PUEDE RECUPERAR POR EOR-IOR?

Según el mismo informe de la CNH (2012:11-24) “a nivel mundial se estima que un volumen cercano a los 2×10^{12} barriles de aceite convencional, más otros 5×10^{12} barriles de aceite no-convencional⁹ permanecerá almacenado en los yacimientos del planeta después de que los métodos de recuperación convencional se hayan utilizado. Es por ello que el desarrollo tecnológico actual apunta a que una gran cantidad de este aceite remanente será extraído por métodos de recuperación mejorada (EOR), incorporados en esquemas de recuperación avanzada (IOR). El éxito de estas estrategias condujo a que en 1990 la producción por métodos de recuperación mejorada de EUA y Canadá contribuyera con más de la mitad de la producción mundial proveniente de EOR. La producción mundial actual proveniente de EOR es superior a los 3 millones de barriles diarios y existen casos en el mundo en donde el factor de recuperación ha superado el 70% del volumen original *in situ*”.

II.III POTENCIAL DE APLICACIÓN IOR-EOR EN MÉXICO

Como se ha visto, en México hay petróleo, aun si la producción va en declive. Según el mismo informe de la CNH (CNH: 53 - 54) “Al 1 enero de 2012, el volumen remanente de crudo conocido en depósitos descubiertos y cuantificados es superior a los 210 mil millones de barriles de petróleo crudo. Una de las razones de tener un nivel bajo de reservas 1P, (10,025 mmb) comparado con el volumen remanente, se debe principalmente a la carencia de la aplicación de métodos de IOR-EOR que incrementen considerablemente el factor de eficiencia de recuperación de estos depósitos”.

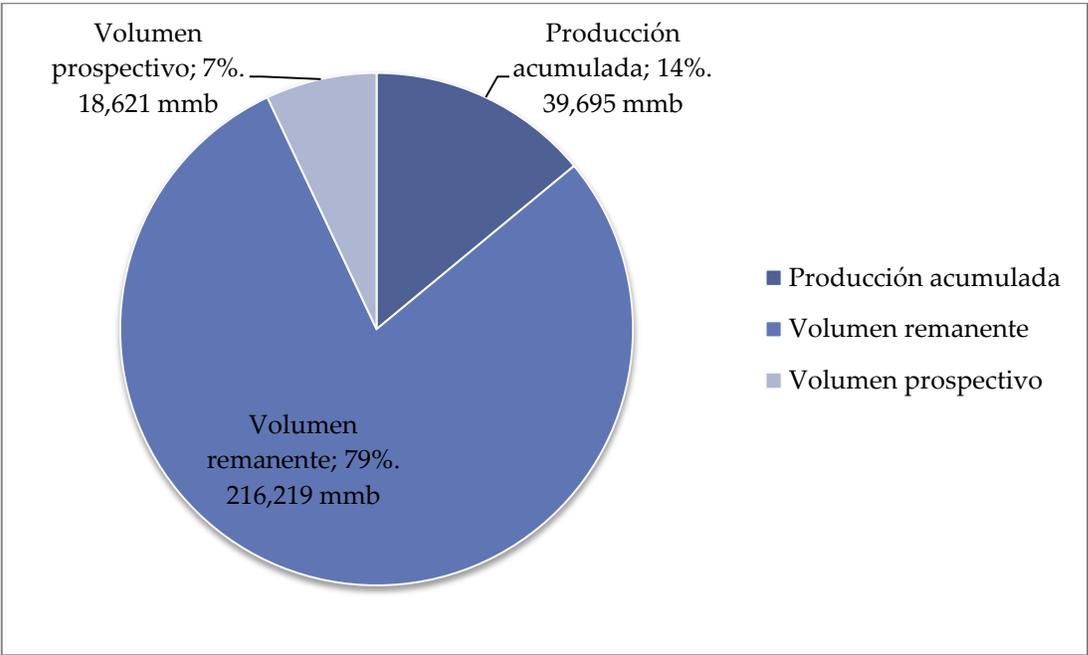
En la siguiente gráfica, se presenta la producción nacional histórica acumulada de aceite, es decir, todo el aceite que hasta el año 2010 se ha extraído; el volumen prospectivo, es decir, la cantidad de aceite que razonablemente se espera

⁹ Aceite no convencional: tampoco en esta definición existe consenso universal, sin embargo, en términos generales, se usa para designar a todo aquel hidrocarburo –como aceite pesado, extra pesado y bitumen- que requiera tecnologías de producción diferentes a las prácticas comunes de explotación. Si se le concede cierta validez a esta definición, aunque sea provisional, el aceite convencional sería el crudo ligero.

recuperar y el volumen remanente de aceite, siempre en miles de millones de barriles (mmb) para dar cuenta del potencial de aplicación de los métodos EOR-IOR en el país.

GRAFICA V.

Volumen de aceite extraído, prospectivo y remanente.



Fuente: elaboración propia con base en CNH:2012

Esto ilustra que en más de setenta años de producción nacional de crudo, que van desde 1938, año de la expropiación petrolera, hasta el 2010, se ha extraído menos de la quinta parte del aceite existente en yacimientos conocidos y descubiertos, y con eso ha tenido el país para hacer del petróleo su principal fuente de ingresos. Si se toma en cuenta que el volumen de reservas 1P es de 10, 025 mmb, el volumen de aceite remanente es casi 20 veces mayor. Hay mucho petróleo y los métodos EOR-IOR se ofrecen como una respuesta para mejorar el flujo de fluidos

y por lo tanto su recuperación en miles de millones de barriles cotizado en 100 dólares cada uno, aproximadamente.¹⁰

De acuerdo a la CNH, (CNH: 61; 66) mediante EOR-IOR “se podría recuperar un volumen del orden de 10 mil millones de barriles de aceite, con lo que se podría obtener una producción adicional promedio de al menos un millón de barriles diarios”. Es decir, poco menos de 100 millones de dólares diarios. Además, “considerando que la mayoría de los yacimientos relevantes de México son complejos, “*brown fields*”, maduros y/o marginales, resulta lógico afirmar que prácticamente todos nuestros yacimientos requerirán eventualmente incrementar su factor de eficiencia a través de métodos de EOR”.

Es así que empieza a esbozarse una vía a la recuperación de hidrocarburo. La CNH llama al establecimiento de una estrategia nacional que incluya adecuaciones en las dependencias y entidades comprometidas con el aceite, así como a la industria y la academia para tal efecto.

II. IV MEOR

Ahora se presentará un esbozo de lo que es MEOR, ya que esto específicamente es lo que desarrolla el grupo objeto de esta tesis. Dentro de estos métodos de recuperación mejorada existe una variación: el de la vía microbiana. De acuerdo con Cobeñas (2010:1) “la técnica que emplea microorganismos y sus productos metabólicos para la estimulación de la producción de petróleo en ciertos reservorios candidatos es conocida como recuperación asistida por bacterias o en inglés “Microbial Enhanced Oil Recovery (MEOR) o Microbial Oil Recovery Enhancement (MORE). Esta técnica consiste en la inyección de microorganismos

¹⁰ La cotización de la Mezcla Mexicana de Exportación (MME) cambia todos los días. En una suerte de efecto mariposa, su precio depende de variables interconectadas, diversas e imprevistas, endógenas y exógenas, tales como los grados API (si es súper ligero, ligero, mediano, pesado o extra pesado), la cantidad de azufre que contiene, el precio que fija el congreso, pero también informes de agencias transnacionales, economías globales, tipos de cambio, entre otros. Según PEMEX “el precio se estima utilizando las fórmulas de precio por región geográfica y el cierre diario de las cotizaciones correspondientes”. Al día en que escribo -21 de junio 2013- está en 95.54 dólares. Véase, por ejemplo, la siguiente nota del 20 de junio de 2013 del diario “El financiero”: “Mezcla mexicana pierde casi tres dólares. Cierra en 95.54 dólares” <http://www.elfinanciero.com.mx/component/content/article/43/19349.html>

seleccionados dentro del reservorio y la posterior estimulación y transporte de sus productos metabólicos generados *in situ* a fin de obtener una reducción del petróleo residual dejado en el reservorio. Estos microorganismos pueden actuar como agentes mobilizantes de petróleo residual o agentes tapón para aislar selectivamente zonas no deseadas del reservorio”.

De acuerdo con la CNH (CNH: 103) la inyección microbiana consiste en inyectar “una solución de microorganismos y nutrientes. Los microorganismos son utilizados para producir químicos, llamados metabolitos, que mejoran la recuperación de aceite. En este método se reduce la viscosidad por la producción de gas o degradación de hidrocarburos saturados de largas cadenas; se mejora la permeabilidad absoluta de la roca debido a la generación de ácidos que disuelven la matriz de la roca; se reduce la viscosidad del aceite por biosurfactantes; se crea taponamiento selectivo por microorganismos y biopolímeros y se incrementa la viscosidad del agua debido a los biopolímeros”.

Cobeñas (2010:6) define la microbiología del petróleo como “el estudio de la distribución de bacterias indígenas, la fisiología de las bacterias bajo condiciones de reservorio, la interacción entre las bacterias inyectadas y las indígenas y el control de la actividad micoflora en el reservorio de manera tal que la inyección potencial de un cultivo de bacterias y/o la estimulación de la actividad de las bacterias indígenas pueda traer resultados positivos en la recuperación de petróleo”.

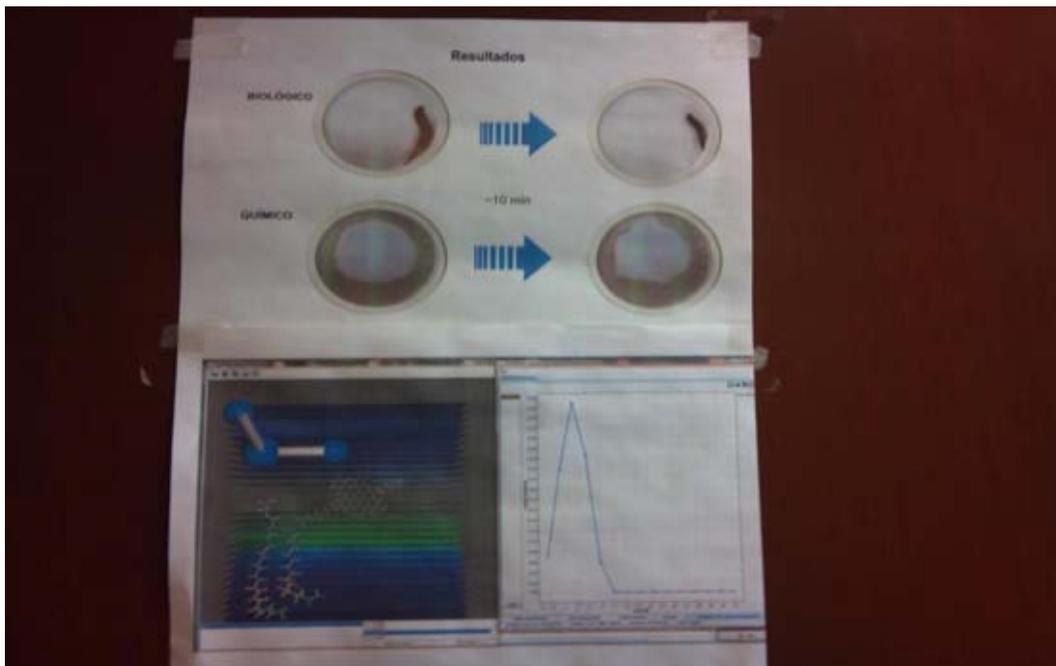
Dentro de los factores que vuelven viable a MEOR, se encuentra el hecho de que es una tecnología de bajo costo, ya que los microorganismos resultan más baratos que los químicos, son fáciles de obtener, aplicar y manejar en campo, sin contar con que obviamente son biodegradables (Cobeñas: 2010:10). De acuerdo con el mismo autor, buena parte de los avances científicos realizados en esta área se llevan a cabo por compañías de capital privado, y, por lo tanto, no se divulga en revistas especializadas, sino que “permanece bajo el registro de propiedad y sólo está disponible a través de patentes”. (2010: 2)

Siguiendo con Cobeñas (2010:3) “es raro que un hombre del petróleo tenga la oportunidad o inclinación para tratar de entender completamente el significado de las tecnologías de MEOR de la manera que un biólogo lo hace” y ésta es una de las razones por las que MEOR, en general, no es un método predilecto para la recuperación de hidrocarburo. Durante el trabajo de campo se pudo comprobar este aserto, tal cual está escrito, ya que se pudo conocer que los métodos empleados mayormente son químicos, y que los biológicos están –al menos en el IMP- en vías de validarse como un agente efectivo de movilización de hidrocarburo: la controversia está abierta y por lo tanto, los métodos y pruebas para autorizarlos frente a los químicos, al menos a escala de laboratorio, son exhaustivos. De hecho, en la puerta de la oficina del jefe de proyecto, se encontraba pegada una imagen impresa que comparaba el desplazamiento de aceite con un producto químico contra el producto biológico que su equipo desarrolla.

Dado que por su oficina desfilan todos los actores involucrados en el desarrollo de este producto, -sean colaboradores teóricos, experimentales, personal administrativo, proveedores, funcionarios de todos niveles y visitantes- la imagen servía a la vez como afirmación de la validez de MEOR y de incentivo tanto al interior del equipo como al exterior, con una especial dedicatoria a los químicos que ahí laboran y que constantemente cuestionan la eficiencia y capacidad de los microorganismos, así se puede apreciar en la siguiente foto.

FOTO I

Comparativo entre un producto químico y el biológico, pegado en la puerta de la oficina del jefe de proyecto.



II. V EL PALEOCANAL DE CHICONTEPEC.

Dado que, como se ha mencionado, la producción de hidrocarburo en los yacimientos correspondientes al área de Cantarell conoce un declive, y las perspectivas de recuperación son altas en Chicontepec, el producto desarrollado se espera probar en su fase final en alguno de los yacimientos del paleocanal. Se ubica entre las coordenadas $20^{\circ} 15'$ y $21^{\circ} 15'$ de latitud Norte, $-97^{\circ} 05'$ y $-98^{\circ} 10'$ de longitud Oeste, en una zona que comparten los estados de Veracruz y Puebla, comprendiendo un total de 15 municipios. Geológicamente, el Paleocanal de Chicontepec se ubica al Oeste de la Paleoplataforma de Tuxpan (Faja de Oro) y al Este de la Sierra Madre Oriental. Es parte de la Cuenca de Chicontepec, y ésta a su vez, de la Provincia Geológica Tampico-Misantla. Su ubicación se facilita con el siguiente mapa:

MAPA I. Área del paleocanal de Chicontepec.



Mapa: petroquimex.com

Sin embargo, el paleocanal conoce especificidades que lo hacen un territorio difícil de abordar. De acuerdo con la CNH (CNH:2012, 69) “a pesar de que fue descubierto hace más de 75 años, y que puede contener cerca de 80 mil millones de barriles de petróleo crudo equivalente en sitio, su complejidad geológica ha hecho que su explotación sea sumamente difícil. (...) Las diferencias entre facies, anisotropía (permeabilidad) y heterogeneidad (porosidad) en casi todas las áreas de Chicontepec ha llevado a la perforación de un gran número de pozos, sin la producción deseada”. Por ello, el paleocanal es un lugar idóneo para extraer hidrocarburo a través de los métodos antes descritos, ya que un gran número de yacimientos ha pasado por las dos primeras fases de recuperación.

ENTREACTO SITUACIONAL I

CAMBIO ADMINISTRATIVO EN EL IMP.

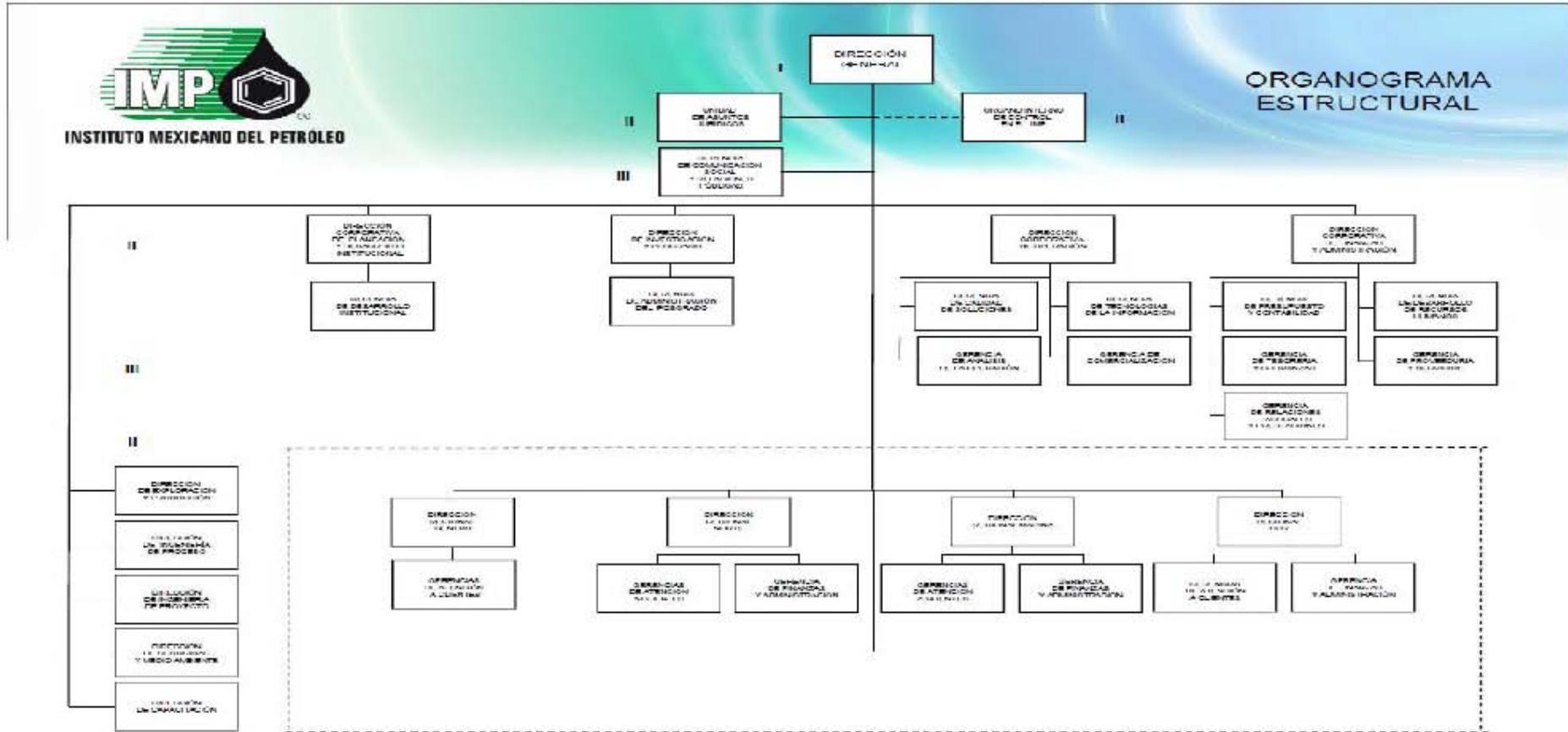
A partir del mes de julio del año 2012, tomó posesión en el cargo de director del Instituto Mexicano del Petróleo el Doctor Vinicio Suro Pérez. A su llegada, se planteó instaurar una serie de cambios en varios niveles, es decir, tanto estructurales, como de regulación del ser y estar de los trabajadores del IMP. A ello se añade el cambio de partido en el gobierno, del PAN al PRI, también en 2012, y las nuevas disposiciones en materia de política energética proyectadas por dicho gobierno.

El Doctor Suro propuso la modificación de la estructura orgánica del IMP, al mismo tiempo que otras disposiciones reglamentarias, por ejemplo en cuestiones relativas a la hora de comida, la hora de llegada, de salida, el uso de tacones, la forma de acceso, entre otros. La concomitancia de todas las disposiciones crearon al interior del IMP un estado de incertidumbre, temor y angustia colectivos, sobre todo referente a la pérdida del empleo.

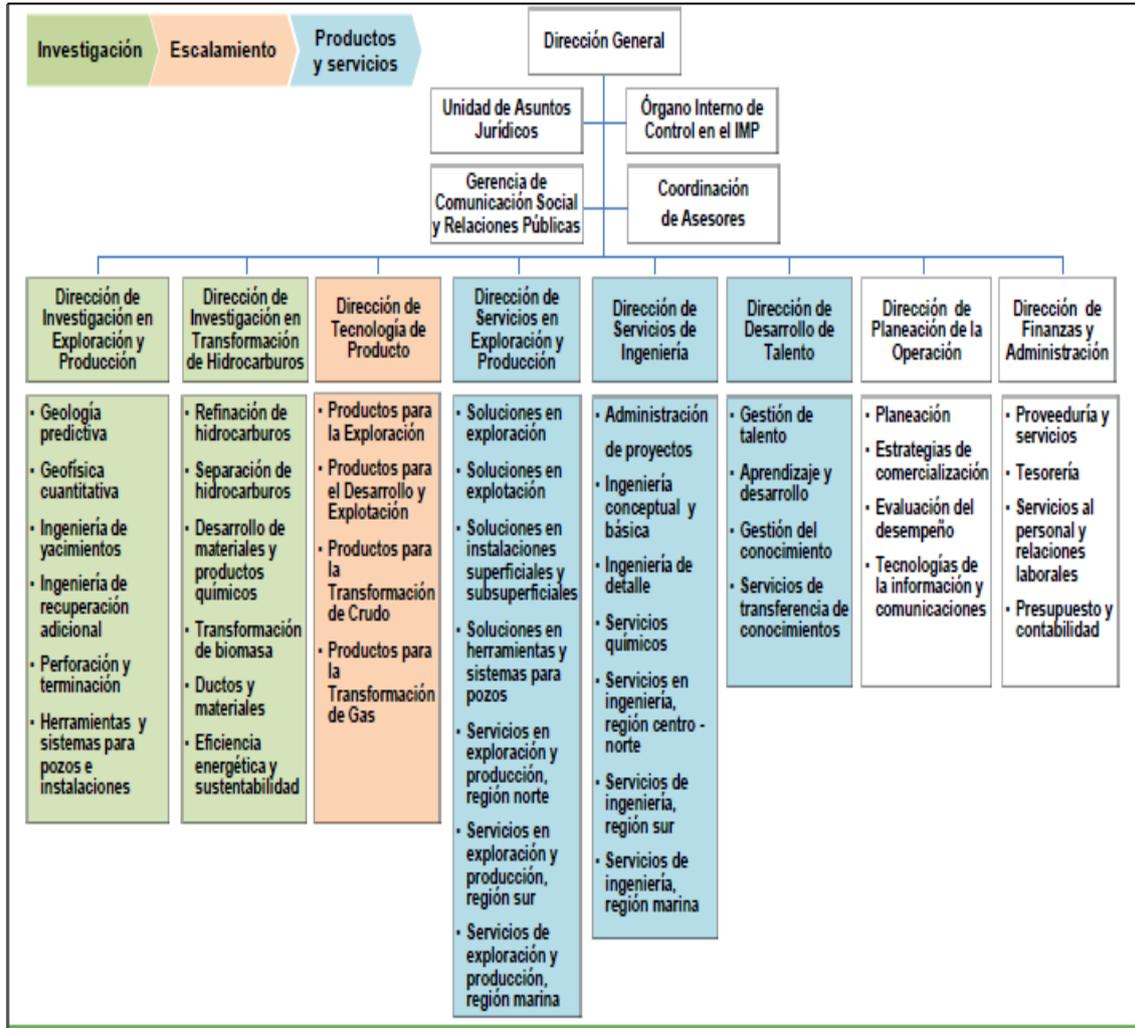
También, la gente del IMP recuerda que durante el gobierno de Vicente Fox, éste dispuso que hubiese una aparente disminución de la burocracia, lo que se tradujo en el despido masivo de investigadores. A partir de ahí, los trabajadores consideran que son más susceptibles de perder el empleo y en sus charlas cotidianas manifiestan temor a no ser contemplados en la nueva estructura y por lo tanto, a ser despedidos. Con la “Reforma Energética” propuesta por el gobierno, la incertidumbre en torno al destino del sector genera mayor malestar, haciendo que los trabajadores con mayor tiempo en la institución, opten por la jubilación.

A continuación se presentan las estructuras orgánicas del IMP. La primera corresponde a la que estaba vigente durante el periodo en que se hizo el trabajo de campo y la segunda, a la modificada por el Dr Suro, que ya ha sido aprobada y es la que actualmente opera.

ESTRUCTURA ORGANICA DEL IMP VIGENTE DURANTE EL TRABAJO DE CAMPO



NUEVA ESTRUCTURA ORGANICA VIGENTE DEL IMP



CAPÍTULO III

EL PETRÓLEO PUEDE SER RECUPERADO VÍA MICROBIANA.

En capítulos anteriores, se expuso la situación actual del petróleo en México, las instituciones que lo gestionan, sus fases de recuperación, las tecnologías mediante las cuáles se hace la recuperación terciaria / mejorada, la cantidad de aceite que se podría recuperar a través de estos métodos, y el lugar en donde es posible aplicarlo. Asimismo, se introduce lo que aparece como una controversia en el campo de la recuperación mejorada de hidrocarburo, a saber: la pertinencia de utilizar los métodos químicos y/o biológicos, aun cuando también, “hay mucho espacio abajo”¹¹, o dicho de otra forma, cómo ambas disciplinas (la química y la biología) convergen cuándo han de concebir, diseñar y crear sus producciones a escala molecular, lo que se abordará más adelante.

En este capítulo, se presentará el proyecto microbiano y daremos cuenta de la formación del equipo de investigación que le insufla vida y dimensión material al interior del IMP, al tratar de mejorar el flujo de fluidos en Chicontepec, Veracruz. El objetivo es responder a las siguientes preguntas ¿Qué posibilita una propuesta de investigación en esta área? ¿De qué se trata dicha propuesta? ¿Cómo se forma un grupo de investigación en este sector? ¿Quiénes lo protagonizan? y ¿cómo se ha (con) formado este proyecto? ¿Quiénes se articulan, cómo y qué hacen? Para ello, se tratará de reconstruir su historia, recuperando a través de entrevistas con el jefe de proyecto y durante la interacción cara a cara durante el trabajo de campo: su génesis, su presentación formal para ser aprobado ante un Comité encargado de tal fin, las condiciones y criterios de aprobación, la asignación de recursos, la formación del grupo de investigación, y la racionalización burocrática que opera y da estructura formal a un proyecto de investigación científica.

¹¹ “There’s plenty of room at the bottom” fue una conferencia dictada por el físico Richard Feynman el 29 de diciembre de 1959, que se conoce como el punto de partida de lo que se ha dado en llamar como nanotecnología. En ella Feynman imagina las posibilidades de la manipulación a escala atómica, punto en el que diversas disciplinas convergen.

III.I EL PROYECTO

Una vez que se ha establecido que el petróleo debe de ser recuperado y que para ello existen las instituciones ya mencionadas, dentro del IMP se distinguen tres tipos de proyectos, cuya diferencia estriba, básicamente, en la institución que los financia, que puede ser el propio IMP, Pemex o la Secretaría de Energía en alianza con el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

ORGANISMO QUE FINANCIÁ	TIPO DE PROYECTO
IMP	D
PEMEX	F (facturables)
SENER-CONACYT	Sener- Conacyt.

El proyecto que es objeto de este estudio es financiado por el propio IMP y por lo tanto es un proyecto tipo “D”. A esta letra se le asigna un número mediante el cual es identificado para fines prácticos y administrativos. Cabe mencionar que todo proyecto hecho en el IMP debe necesariamente resolver alguna necesidad de Pemex y para ello es requisito que cuente con un par técnico dentro de la paraestatal y que se identifique previamente el área subsidiaria en dónde se aplicaran los resultados.

Es pertinente apuntar que el IMP en tanto centro público de investigación lanza anualmente una convocatoria interna de presentación de proyectos a ser aprobados por el Comité de Investigación, Innovación y Soluciones (en adelante CIIS). En éste se distinguen tres tipos de proyecto, a saber: 1) Investigación Básica Orientada; 2) Desarrollo de Tecnología y 3) Asimilación de Tecnología. El proyecto objeto de nuestro interés se ubica dentro del primer tipo, es decir, IBO.

Por su parte, el CIIS “es un comité biinstitucional Pemex-IMP, que además de gestionar y manejar la información de todos los proyectos, coordina el trabajo de aproximadamente 160 pares técnicos, de los cuales la mitad son del IMP y la otra de Pemex. Los pares son expertos técnicos que se encargan de evaluar los proyectos de Industria y Desarrollo Tecnológico, informar sobre la aplicabilidad de los resultados de éstos y dar sus recomendaciones a los miembros del Comité”. (IMP: 2009) Más adelante se abordará su conformación y los criterios de evaluación de los proyectos.

Lo anterior da cuenta solamente de la parte formal dentro de la cual se inscriben los diferentes tipos de proyecto. Ahora bien, el proyecto en cuanto tal conoce para su implementación y despliegue varios momentos. Consideramos que la fecha de inicio coincide en algunas formas –como la administrativa y económica- con el momento de su aprobación ante el CIIS del IMP, no así en muchas otras, como el desarrollo anterior a su aprobación, la integración de los recursos –humanos y no- y la gestación, incubación y desarrollo de la (s) idea(s) que después se convierten en objeto de teorización, experimentación, y al fin, en un producto capaz de mejorar el flujo de fluidos y recuperar el hidrocarburo.

De acuerdo con el jefe de proyecto, el IMP en general, y el CIIS en particular tienen mecanismos muy claros para la presentación de propuestas. En este caso, se trata de un formato preestablecido que es posible descargar de una plataforma llamada Modelo de Administración de Procesos, en adelante MAP. Se tuvo ocasión de acceder al documento, y en él se puede observar la siguiente estructura: 1) índice; 2) datos generales del proyecto, en donde se establece el título, el jefe de proyecto, el programa de investigación al que pertenece, el área de Pemex en donde se aplicarán los resultados y colaboraciones externas; 3) la justificación, los fundamentos teóricos, el plan general de trabajo, los objetivos y los beneficios tanto para el IMP como para Pemex; 4) un apartado explicando el aporte y la innovación esperada, un estado del arte, los resultados esperados del proyecto y una revisión de la normatividad vigente sobre la aplicación de tecnologías biológicas en la industria petrolera y sobre los lineamientos nacionales en materia de energía e hidrocarburo; 5) un apartado de planeación del proyecto, conteniendo un diagrama de Gantt especificando las distintas etapas (siete en total), el costo estimado del proyecto desglosado por año y partida presupuestal, un cuadro en donde se especifica el equipo por adquirir, su descripción, el laboratorio del IMP en donde se instalará, la fecha de adquisición y el costo estimado, otro cuadro sobre el personal participante, la especialidad, el perfil, sus responsabilidades y horas hombre, mecanismos de comunicación (reuniones, presentaciones, correo, teléfono, etc.) y los medios para la supervisión del cumplimiento de las distintas etapas (bitácoras, reuniones, entrega de avance de actividades y resultados a través de informes mensuales y resúmenes trimestrales).

Es decir, cuando el proyecto es presentado, su estructura ya está contemplada, incluyendo a los recursos tanto humanos como materiales. Cada uno de ellos conlleva una parte administrativa, más o menos tortuosa, intrincada y laberíntica - las referencias a este respecto durante el trabajo de campo fueron abundantes- que se hace desde plataformas que existen en la web, como la mencionada MAP, SAP (compañía de soluciones y servicios cuya sede se encuentra en Alemania) e Integra, red interna del IMP. Quien no esté dado de alta en dichos sistemas es prácticamente inexistente para el IMP y no puede ser tripulado¹² en ningún proyecto y la adquisición de todo recurso se hace a través suyo.

Ahora bien, el personal que conforma los distintos proyectos puede ser tanto interno como externo, teniendo siempre preferencia el interno. El IMP cuenta con una plantilla de investigadores que se van insertando en los proyectos según sus conocimientos, habilidades y capacidades específicas. Ello implica también una parte de autogestión, de construcción de relaciones personales y de conocimiento específico adquirido a su paso por los proyectos. Cuando el investigador participa de proyectos con resultados, aumenta su credibilidad (Latour y Woolgar, 1979) y su capital social, facilitando su inserción posterior en otros. La contratación de externos ocurre si y solo si, no existen las capacidades dentro del IMP para hacerlo, o están saturadas. Aun así, existe un número, si bien reducido, de investigadores que pueden pasar mucho tiempo sin poder insertarse en algún proyecto.

Para abordar el tema de la recuperación de crudo han de intervenir y conjuntar su conocimiento especialistas de diversas áreas: físicos, químicos, ingenieros petroleros, biólogos, geólogos, matemáticos, entre otros. De forma introductoria, se presentará en la siguiente tabla a los integrantes del equipo, el área del conocimiento de la que provienen y su función, a reserva de que más adelante se aborde a cada uno y su rol con mayor amplitud¹³. De acuerdo a la naturaleza del proyecto y su propósito se han conjuntado los siguientes especialistas:

¹²Los investigadores llaman al hecho de participar en un proyecto “estar tripulado”.

¹³ A petición de los investigadores se omiten los nombres.

TABLA III.**Grupo de investigadores, área de procedencia y función.**

INVESTIGADOR	ESPECIALIDAD	FUNCIÓN
Investigador A	Biotecnología	Jefe de proyecto
Investigador B	Química Computacional	Teórico
Investigador C	Química Computacional	Teórico
Investigador D	Ciencias Bioquímicas	Caracterización y evaluación de productos. Experimental
Investigador E	Ciencias Bioquímicas	Microbiología y biotecnología Experimental
Investigador F	Química Computacional	Teórico
Investigador G	Física	Teórico
Practicante A	Ingeniería	Prácticas profesionales
Practicante B	Ingeniería	Prácticas profesionales
Investigador H	Ingeniería Química en Materiales	Caracterización y evaluación microscópica
Investigador I	Ingeniería Bioquímica	Caracterización y evaluación microscópica
Investigador J	Física de Materiales.	Evaluación de productos.

Para establecer un corte analítico, se ha comenzado por indagar en qué circunstancias surgió esta idea y cómo fue que llegó a transformarse en un documento de presentación de proyecto y éste, a su vez, en uno de los ejes de acción para un grupo de investigadores. La teoría aquí utilizada, da cuenta de una creación contextual del conocimiento y las ideas (Latour: 1992, 1995 y Knorr-Cetina: 2005) y en este caso se confirma, aunque también es un hecho, que algunos generan unas ideas y otros no y el mecanismo por el cual esto sucede es aún un misterio.

Con las ideas ocurre una paradoja: aunque todos los integrantes del equipo se saben en la obligación de exponer y socializar su conocimiento en beneficio del proyecto, difuminándose un poco - siempre un poco y en cierta medida- la autoría de las ideas, cada idea es vista como un bien valioso, como materia prima de trabajo y es algo que constantemente se está reclamando. La defensa de la autoría de ideas se vuelve más importante al exterior del grupo, en donde cada equipo de trabajo del IMP se afirma en función del éxito de las mismas y del trabajo realizado en función de ellas. Como también generan artículos o patentes, son algo que se libera y al mismo tiempo, se les pone una cadena que remite al nombre del autor.

Al abordar la cuestión de la idea que se constituye en núcleo del proyecto, los diversos actores involucrados hacen referencia a un campo de conocimientos comunes, aun tomando en cuenta su heterogeneidad, ya que, como hemos apuntado, el grupo está compuesto por personas provenientes de distintas áreas. Primero, existe un corpus bibliográfico que obligatoriamente debe ser leído por todos los involucrados. Existe también, una socialización permanente del conocimiento ya sea por medio de la observación y poniendo en práctica lo que observan en el laboratorio, o de forma oral y cara a cara, lo que se traduce en seminarios, y a la “hora del café”, cuando ocurren las discusiones teóricas. Todo el tiempo, los investigadores se consultan cosas relativas a la especialidad de cada uno. En el laboratorio se prueban métodos ya estabilizados o se modifica en función de nuevas hipótesis. Los proveedores de equipo científico y tecnológico aparecen con gruesos tomos en donde están expuestos diversos instrumentos y el jefe de proyecto debe entregarse a su lectura y estudio y determinar qué le sirve más para sus propósitos de investigación. Asimismo, los proveedores ofrecen una capacitación sobre los usos, capacidades, posibilidades y límites que ofrece determinado instrumento. En este sentido, los actores constituyen una cultura epistémica particular relativa a la recuperación mejorada de hidrocarburo en México, tomando en cuenta las especificidades del paleocanal de Chicontepec, es decir, que se trata de yacimientos fracturados.

III.II FORMULACIÓN DE LA IDEA

De acuerdo con Latour (1995: 191) “Tener una idea resume una situación material complicada. (...) El narrador transforma un conjunto de circunstancias material, heterogéneo y localizado (en el que los factores sociales resultan claramente visibles) en la repentina ocurrencia de una idea abstracta y personal que no tiene huella alguna de su construcción social (...) Las ideas de un individuo y los procesos de pensamiento son el resultado de una forma determinada de presentación y simplificación de todo un conjunto de circunstancias colectivas y materiales”.

Fijar la autoría y el momento de surgimiento de las ideas circulantes resulta difícil, pero en el caso del proyecto que nos ocupa, un momento que se identifica como clave es la presentación de un producto tecnológico que una empresa hizo a Pemex, a la que fueron invitados el jefe de proyecto y un asesor, con la intención de que al interior del IMP exploraran la viabilidad de esta tecnología. En dicha exposición, la empresa presentó microorganismos capaces de reducir la viscosidad del aceite. Es así que Pemex financió un pequeño proyecto enfocado en bioprocesos para averiguar la factibilidad de recuperación de crudo, y al hacerlo, MEOR se instauró como una vía posible, ya que se demostró al interior del IMP el interés de Pemex, validando así esa línea de investigación y posibilitando que en momentos posteriores la petición de recursos para proyectos similares fuera escuchada y atendida. De tal suerte que la reunión es un primer momento que posibilitó y abrió un sendero de investigación para la formulación de nuevas tecnologías de recuperación de hidrocarburo.

De acuerdo con el jefe de proyecto, transcurrió alrededor de un año entre el momento en que la idea encontró asiento en un papel, hasta que finalmente fue aprobada y financiada. Previamente, desarrollar el proyecto, en general y técnica y administrativamente, implicó analizar si las hipótesis de trabajo eran buenas y susceptibles de adquirir facticidad (Latour y Woolgar 1979) e integrar a los recursos humanos y técnicos.

Por su parte, el CIIS tiene por objetivo “integrar, aprobar y priorizar el portafolio de proyectos conforme a las necesidades de Investigación y Desarrollo Tecnológico (IDT) establecidas por Pemex a través de su Programa Estratégico Tecnológico y

su Plan de Negocios; aprobar los proyectos, así como realizar el seguimiento y evaluación de su ejecución, para determinar su cancelación, suspensión, condicionamiento, continuación, reprogramación o terminación”. (IMP: 2013). Tiene criterios preestablecidos para “analizar, aprobar y dar seguimiento a los proyectos de investigación y desarrollo tecnológico del instituto para asegurar que los proyectos elegidos agreguen valor tecnológico, beneficios a Pemex, sustentabilidad financiera al IMP y estén alineados a las líneas de investigación y de negocio” (IMP: 2013). Para tal efecto, se integran en Grupos de Selección de Proyectos o GPS, conformados por un presidente –el director general del IMP- un secretario técnico –el gerente de comercialización y 7 vocales (para el caso de la evaluación de IDT) que son los directores de: exploración y producción; ingeniería de proyecto; ingeniería de proceso; corporativo de operación; investigación y posgrado; corporativo de planeación y desarrollo institucional y el de corporativo de finanzas y administración.

Los criterios para aprobar un proyecto están establecidos en un cubo en donde se evalúan tres variables, a saber: 1) el contenido tecnológico; 2) el impacto para Pemex y 3) la sustentabilidad financiera del IMP. Cada dimensión se clasifica en alto, medio y bajo valor, la combinación resulta en un número que indica la viabilidad del proyecto. El proyecto que nos ocupa, teniendo por objetivo generar surfactantes de base biológica para incrementar la recuperación de hidrocarburo, fue aprobado técnica y financieramente por el GPS en el año 2012, y en ese momento le fueron transferidos recursos económicos para comenzar a andar, a través de SAP.

III.III SOBRE LA BUROCRACIA

En este punto, cabe hacer una reflexión en torno a la burocracia. Primero, el tópico fue ampliamente abordado por Weber. De acuerdo con él, la forma más racional del Estado burocrático es el Estado moderno. Sostiene que “el mecanismo burocrático es a las demás organizaciones como la máquina es a los modos de producción no mecanizados. Precisión, velocidad, certidumbre, conocimiento de los archivos, continuidad, discreción, subordinación estricta, reducción de desacuerdos y de costos materiales y personales son cualidades que, en la administración burocrática pura, y fundamentalmente en su forma monocrática, alcanzan su nivel óptimo”. (Weber: 1922)

Blanco (1994:2) señala que Weber caracteriza a la burocracia según cinco elementos, a saber: “1) La existencia de una división del trabajo especializada y por funciones. 2) La existencia de una jerarquía funcional. 3) La existencia de normas, reglas y disposiciones que describen los deberes y derechos de los funcionarios y los subordinados. 4) El supuesto del establecimiento de relaciones impersonales entre aquellos que laboran en el aparato administrativo. 5) La selección, promoción y nombramiento de las personas basadas en el mérito técnico”. Un alud de críticas se le han hecho, señalando las desviaciones a este modelo típico – ideal de burocracia.

Por su parte, Rip (1996) analiza las interacciones y tensiones entre la parte formal y burocrática, en específico, entre los consejos de investigación – lo que en el caso mexicano sería el Conacyt- y la producción científica y da cuenta de cómo se constituyen en actores en tanto que modifican la acción y la dirección de la ciencia y sus contenidos, por ejemplo, cuando los investigadores presentan proyectos de tal manera que sean susceptibles de ser financiados. Asimismo, el hecho de recibir financiamiento contribuye al aumento del ciclo de credibilidad de los científicos. En este caso, la recuperación de hidrocarburo es considerada como estratégica en el Plan Nacional de Desarrollo y ello se cristaliza en grandes transferencias económicas que para tal efecto hacen distintos entes, ya mencionados en el primer capítulo.

Dice Rip (1996:9) que los “criterios y reglas formales, en todo caso, son necesarias en ese mundo, porque la burocracia los necesita y, de forma más general, porque la legitimidad externa puede ser apoyada señalando a los criterios”. Eso es especialmente cierto en este caso, en donde la tramitología también cumple la función de impedir la corrupción que, durante la época del *boom* petrolero, con el descubrimiento de Cantarell, se volvió inmoderada. Cada funcionario tiene un tramo de responsabilidad. Por ejemplo, en la adquisición de equipo costoso, el científico debe de justificar ampliamente su adquisición, y una larga cadena de funcionarios da el visto bueno, para evitar la compra de un bien a un precio más elevado del normal, o de algo innecesario. Así, la burocracia, en este caso, opera en dos sentidos: como un sistema de vigilancias mutuas y como

cristalización de las realizaciones en términos de los recursos –humanos y no-existentes al interior del laboratorio y del proyecto, en general, aunque también, la fragmentación de esa cadena sirve como difusor de las responsabilidades.

Más recientemente, Albornoz (2007:10) da cuenta de la relación entre la ciencia y el poder institucionalizado en política pública. Ahí identifica, -entre otras tensiones- la de la libertad creativa y la burocratización. De acuerdo con él “surgen tensiones entre las tendencias burocráticas propias de la organización de la ciencia a gran escala y la dimensión carismática de la ciencia, que estima la búsqueda de la verdad y la adquisición de nuevos conocimientos como un proceso que no puede quedar subordinado a un orden administrativo”.

Existe pues, una suerte de escisión, tanto teórica como práctica, irreconciliable entre el quehacer científico y el burocrático, que, por cierto, en el trabajo de campo se reveló muy lejos de la caracterización de Weber basada en relaciones impersonales y eficientes, y sin embargo, ambos forman parte de ese quehacer. De ello da cuenta Latour (1992:151-152) cuando identifica una parte interna y otra externa retroalimentándose: “la tecnociencia tiene un interior porque tiene un exterior. (...) Dos rasgos permanecen constantes. En primer lugar, la habilidad para trabajar en un laboratorio, junto a aplicados colegas, dependía del éxito que tuvieran otros científicos en reunir recursos. En segundo lugar, este éxito, a su vez, dependía de cuánta gente hubiera sido convencida por los científicos de que el rodeo a través del laboratorio era necesario para conseguir sus propias metas”. En este caso, en efecto, la reunión de todos los recursos –humanos y no- pasa por un intenso camino al interior de la burocracia y por el convencimiento a distintos actores de que la recuperación del hidrocarburo puede hacerse a través de bioproductos, lo que caracteriza de un modo particular al laboratorio, al equipo, el contenido del trabajo que ahí se hace, al producto tecnocientífico y la razón y manera en que se espera desplace el aceite.

También cabe mencionar que la totalidad de los integrantes del proyecto, una vez que se sintieron escuchados, manifestaron su inconformidad con la tramitología y la burocracia, identificándola como una parte disfuncional de su quehacer, por tanto les hacía perder tiempo valioso, que, a su consideración, bien podrían

utilizar en algo más productivo. Las quejas iban desde la adquisición incorrecta de material, por ser más barato, hasta la pérdida de muestras de petróleo, pasando por la tardanza en el surtido de material (seis meses en promedio, o tres si es urgente) dilación extrema, documentación y recolección de vistos buenos exagerados, entre muchas otras. Se atestiguó que las negociaciones burocracia – investigadores se dan en tonos a veces muy encendidos, a veces cordiales, o bien neutros, dependiendo del apremio que se tenga de determinado bien o servicio tramitado por el / la burócrata, quien, por su parte, en ocasiones experimenta un malsano placer en dilatar al máximo lo que se le pide, sin poder llegar al límite de negarlo, ya que incurriría en una falta administrativa.

De tal suerte que es como una carrera de obstáculos, en donde es posible llegar a la meta, dado que tampoco los trámites llevan a la anulación total de un proyecto, pero asumiendo que ha de ser al precio de salvar los obstáculos. A continuación ejemplifico dos tipos de trámite, el primero para que una persona externa pueda introducir y conectar su computadora a la red del IMP y el otro, el mecanismo para las adquisiciones de bienes y servicios, en general. Cabe mencionar que, en efecto, los trámites son tan tediosos, que la reconstrucción por parte de los implicados costó trabajo, por lo que se tuvo la ocasión de revisar documentos internos a manera de guía.

EJEMPLO DE TRÁMITE I.

CONEXIÓN DE EQUIPO EXTERNO AL IMP.

Ejemplos de Requerimientos:

1. Usuario Dueño del Equipo Externo. Tiene vínculo laboral con el IMP, es contratado por honorarios, necesita navegar en Internet con cuenta propia, así como correo electrónico institucional con fines laborales.
2. Usuario Dueño del Equipo externo. No tiene vínculo laboral con el IMP, es un proveedor que proporciona una conferencia o presentación al personal del IMP, necesita navegar en Internet.

Pasos:

- Elaborar una solicitud a través de la red interna y elaborar el formato “Introducción y Conexión a la Red del IMP de Equipo Externo”.

- El usuario dueño del equipo externo deberá proporcionar al jefe de proyecto o responsable del área del IMP los datos del equipo externo como MAC, nombre y fecha de vigencia del antivirus, periodo de conexión así como los datos del dueño del equipo como son nombre y correo electrónico.
- El jefe de proyecto o responsable del área (responsable en el IMP del equipo externo) deberá firmar el formato de “Introducción y Conexión a la Red del IMP del Equipo Externo” en calidad de quien solicita o autoriza la introducción de los equipos externos a las instalaciones del IMP.
- El usuario dueño del equipo externo deberá tener la instalación de las definiciones del antivirus y de parches críticos de seguridad a la fecha de revisión y cuando sea conectado a las instalaciones del IMP. Deberá cumplir con las disposiciones aplicables mínimas de seguridad de la información, instalación de antivirus y antispyware. No deberá tener instalado software para comunicaciones P2P (Peer-To-Peer) en su equipo.
- Una vez cumpliendo estas disposiciones el personal del Área de Seguridad entregará el formato de “Introducción y Conexión a la Red del IMP de Equipo Externo” y “la Orden de Servicio con Folio” proporcionado por el sistema de Mesa de Servicios, al Área de Redes quienes llevaran a cabo la conectividad del Equipo Externo. El usuario dueño del equipo externo deberá firmar que su equipo cumple con las disposiciones aplicables mínimas de seguridad de la información.
- Servicios como correo electrónico y acceso a internet deberán ser solicitados en la Mesa de Servicios, ya que no son incluidos en el servicio de conectividad.

El requerimiento debe llevar a cabo estas formalidades con una anticipación de, por lo menos, una semana antes. Para todos los pasos hay complicaciones añadidas, como no encontrar al responsable de la firma, o a los encargados de la instalación, que fueron a comer o a una junta, etcétera.

EJEMPLO DE TRÁMITE II

DE LAS ADQUISICIONES (BIENES ARRENDAMIENTOS Y SERVICIOS)

- El jefe de proyecto elabora una solicitud de pedido de bienes, arrendamientos o servicios, de acuerdo al presupuesto autorizado. Elabora la “justificación de contratación de bienes y servicios”, obtiene la firma del titular de la Dirección de Investigación y Posgrado.
- Un administrador del fondo recibe la solicitud de pedido firmada por el jefe de proyecto, junto con los anexos técnicos. En el caso de equipo de cómputo y software se requiere anexar visto bueno de aprobación emitido por la Gerencia de Tecnologías de la Información y de los Centros de Tecnología Informática Especializada. Para el caso de equipo y materiales de laboratorio, adjuntar el visto bueno del ejecutivo de laboratorio correspondiente. Canaliza la documentación al grupo de adquisiciones del Fondo para su revisión, si cumple con todos los requisitos inicia el proceso de adquisiciones.
- El Grupo de Adquisiciones del Fondo verifica que la solicitud de pedido cumpla con todos los requisitos, en caso de no cumplir, se le hacen observaciones al jefe de proyecto, para su modificación. Canaliza la solicitud de pedido para iniciar el proceso de compra.
- El comprador elabora la petición de oferta invitando a personas físicas o morales, tomando en cuenta el catálogo de proveedores del IMP. Se elabora la petición de oferta para la adquisición del bien, arrendamiento o servicio. Se reciben las cotizaciones, que son turnadas al jefe de proyecto para que realice la “Evaluación Técnica” de las cotizaciones presentadas por el / los proveedores, debiendo responder en un tiempo máximo de dos días naturales, a partir de la recepción de las cotizaciones. La “Evaluación Técnica” informará si el proveedor cumple o no, en caso de no cumplir, detallará claramente las razones.
- Una vez recibida la “Evaluación Técnica” elabora el cuadro comparativo comercial, considerando entre las cotizaciones que cumplen con las especificaciones técnicas requeridas, la que ofrezca las mejores condiciones para el IMP en cuanto calidad, precio y oportunidad.

- Elabora el pedido y contrato correspondiente y se lo comunica al proveedor asignado, quien contara con quince días naturales posteriores a la notificación de asignación de pedido o contrato para su formalización. Entrega el original del pedido o contrato al proveedor.
- El proveedor recibe el pedido o contrato para que lo firme el representante legal. Posteriormente, entrega los bienes y servicios y presenta factura y pedido original para tramitar el pago correspondiente.
- La Administración de bienes e inventarios del IMP recibe los bienes. Notifica al jefe de proyecto, para cotejar las especificaciones técnicas solicitadas en el pedido con la factura correspondiente. Para el caso de los servicios, el jefe de proyecto recibe directamente del proveedor los servicios y elabora la “hoja de entrada del servicio”.
- En caso de cumplir con las especificaciones técnicas, la Administración de bienes e inventarios del IMP sellará y entregará la factura original de los bienes, para los servicios, al jefe de proyecto. Elabora la entrada de almacén entregando el original al proveedor, quien deberá entregarla al administrador de fondo para efectos del pago correspondiente. Para el caso de servicios, el jefe de proyecto entrega oficio al administrador del fondo, indicando el número de factura y la hoja de entrada del servicio informando si el proveedor ha entregado en tiempo y forma.
- En caso de no cumplir con las especificaciones técnicas, se regresan los bienes al proveedor.

Cabe mencionar que tampoco este proceso es lineal de un paso al otro, sino que está matizado por vicisitudes en el llenado correcto de las formas, la recolección de firmas, vistos buenos y sellos. A veces, las disposiciones formales actúan de tal forma, que se llega a un *impasse* entre la resolución de una necesidad de determinado equipo o servicio para el proyecto y el camino burocrático a seguir, en cuyo caso, los responsables de cada oficina conocen reglas informales para hacerse de lo que se necesita de una forma distinta a lo que cae dentro de lo formal, sin por ello ser ilegal o no formal y es este conocimiento tácito el mecanismo que eventualmente funge como parche y permiten la continuidad del trabajo.

Recapitulando, se ha visto que los diversos entes estatales encargados de la conducción del petróleo y su burocracia interna son una condición *sine qua non* para el desarrollo científico y tecnológico –al menos en este sector, considerado como estratégico- por tanto su estructura posibilita las vías de acción, al mismo tiempo que obstaculiza enormemente el desarrollo de los proyectos. Los obstáculos adquieren la forma de trámites innumerables y engorrosos, siempre llenos de observaciones.

En efecto en el trabajo de campo se identificó a la burocracia como un actor relevante y *sui generis* para la producción y desarrollo científico y tecnológico. Es la contracara de la moneda y su estructura está siempre presente en este proyecto en, al menos, cinco sentidos: 1) como ordenamientos y disposiciones legales y procedimentales; 2) como sistema de vigilancias mutuas y de imputación de responsabilidades, aunque paradójicamente y al mismo tiempo, como difusor de las mismas responsabilidades; 3) como un actor en tanto puede llegar a modificar las elecciones y el contenido de los proyectos de investigación; 4) como concreción o realización de las producciones materiales al interior del proyecto y 5) como obstáculo. Su carácter, al mismo tiempo que posibilita, impide, aunque no niega la posibilidad de acción al interior de este proyecto de investigación.

III.IV EL GRUPO DE INVESTIGACIÓN.



Tal y como las parvadas, que en su formación por un momento configuran algo, hacen una determinada figura, la conformación de determinado grupo de personas supone un inusual cruce de caminos. De acuerdo con Latour (1995: 244) “Desde el punto de vista de la producción de hechos, se puede considerar que un grupo es el resultado de varias trayectorias entretrejidas”. Un grupo tal y como es, supone una posibilidad entre miles de otras, por ello, conforma en sí mismo una forma momentánea específica, singular de agrupación.

En este caso, cuando hablamos de grupo, hablamos de un conjunto de recursos - humanos y no- que articulan su acción hacia el objetivo de mejorar la producción de hidrocarburo por medio de un bioproducto, es decir, se trata de un conjunto de investigadores, de equipo, de materiales, actuando e interactuando de tal manera que, un día, eventualmente, todo el trabajo por ellos desplegado, se traduzca en una mayor recuperación de hidrocarburo.

Los recursos humanos son buscados tanto al interior como al exterior del IMP, se les tripula, es decir, se les integra y se les asignan “horas hombre”, sobre cuya base se calcula su salario. Un investigador puede participar en distintos proyectos, distribuyendo su horario de tal forma que esto sea posible. La formación del grupo pasa por la socialización al interior de esta cultura epistémica específica, es decir, de científicos que han adquirido experiencia en el abordaje de petróleo y que han hecho crecer su ciclo de credibilidad en proyectos pasados, en donde interactuaron con colegas quienes, durante la participación, se percataron de los conocimientos, habilidades y capacidades de cada uno de los integrantes. Este conocimiento permanece como un acervo que se moviliza cuando se busca a alguien para determinado propósito o conjunto de propósitos dentro del proyecto.

Para el caso de los recursos materiales, el IMP cuenta con una muy buena infraestructura, con laboratorios y equipos propios, algunos de los cuales, son de muy alta especialización. Cada uno es gestionado por un personaje denominado “ejecutivo de laboratorio”, cuya función es la de dar mantenimiento a los laboratorios, equipo e instrumental; asignar espacios, y realizar la tramitología relativa a ellos. Se supone que toda persona del IMP puede utilizar todo el

instrumental existente en él; sin embargo, durante el trabajo de campo se observó que existen ciertas delimitaciones territoriales, entendidas como demarcación y apropiación de ciertos espacios. Dado los trámites que han de pasarse para adquirir cada cosa, esta territorialización es vista como una consecuencia natural de realizar todo ese trabajo. Existe por caso, también, que ciertas pruebas se mandan a laboratorios tanto del IMP como externos y sólo se reciben los resultados, previo pago.

La selección del instrumental, material –experimental y computacional- y biotas con las que ha de revestirse el laboratorio son el resultado de un proceso que comienza con la delimitación de las hipótesis de trabajo. Se utiliza lo que ya existe, dado que su uso se ha venido consolidando dentro de esta cultura epistémica y también se estudian los catálogos, las páginas web y las actualizaciones sobre innovaciones en esta materia. Cada instrumento es analizado a la luz de las hipótesis y es así como el campo de lo que se investiga y el avance tecnológico disponible en el momento se configuran y reconfiguran mutuamente.

Cabe mencionar que cuando se tuvo la ocasión de preguntar el cómo y porqué se seleccionaba un equipo y no a otro, o a una persona y no a otra, la respuesta siempre iba en el sentido de: *“pues porque estoy en esto, a esto me dedico, porque ya lo sé, es algo que ya comprobamos”*. Esto es, habitan una cultura epistémica determinada y como tal comparten las prácticas de la misma. Por ahí pasa el proceso de formación del grupo, es ahí en donde socializa y se conoce a los futuros componentes del grupo, humanos y actantes.

Latour (1995:53) delimita al grupo de la siguiente manera: “Primero, para delinear un grupo, sin importar si tiene que ser creado desde cero o simplemente actualizado, tiene que haber voceros que hablen a favor de la existencia del grupo” y continúa: (1992:82) “Tanto las personas capaces de hablar, como las cosas incapaces de hacerlo, tienen portavoces. Propongo llamar a los representados, sean personas o cosas, actantes”. (1995:106) “Cualquier cosa que modifica con su incidencia un estado de cosas es un actor o, si no tiene figuración aun, un actante”. En este caso en particular, el equipo de investigación se

convierte en portavoz del microorganismo, quien es un ejemplo idóneo de actante por tanto su rol es preponderante, articula a todos los demás actores: investigadores, entidades gubernamentales y burocráticas, innovaciones tecnológicas cristalizadas en equipo, comunidades científicas y áreas de conocimiento. Se le somete a la acción y actúa en sí mismo transformando con su actuación el escenario por el que pasa, se le manipula y transforma de tal manera que se espera que logre un sinnúmero de hazañas, que van desde la recuperación del hidrocarburo, cuya traducción se estima en millones de dólares, si el desplazamiento se hace en términos económicos, y que sustente el mundo petrolizado en que vivimos, dándonos turbosina, gasolina, plásticos, poliéster, pintura, barniz, velas, fármacos y en fin, todos sus derivados, si el desplazamiento se hace en términos materiales.

¿Cómo ha pasado? Primero, a través de la articulación de una enorme cadena de circunstancias y del interesamiento de diferentes entes y actores. Como hemos visto, se ha dado el caso particular y específico para ciertos países del globo terráqueo, de encontrar en la superficie que delimita su territorio, aquello que se ha dado en llamar “el oro negro”, y este, a su vez, ha sido, a partir de finales del siglo XIX y durante todo el XX la fuente de energía que mueve nuestro mundo moderno. Por ello, alrededor de él se articulan diversos intereses económicos y geopolíticos que imponen como necesaria la recuperación de la mayor cantidad de hidrocarburo que sea posible y para tal efecto, los Estados- nación productores de petróleo – como México- cuentan con instituciones que regulan la política en materia energética y asignan recursos a quienes hacen investigación científica en este sector.

Por su parte, quienes desarrollan investigación para esta industria en particular, se dan cuenta y refieren que para abordar el problema que tienen enfrente, han de hacerlo con la convergencia de distintos especialistas y articulando la parte teórica con la experimental. Proponen, convencen, crean alianzas internas y externas, y echan a andar un proyecto cuyo contenido ofrece la recuperación de aceite a través de un bioproducto, es decir, un microorganismo que, una vez que ha sido construido en el laboratorio bajo ciertos parámetros, lleve el petróleo hacia

la superficie, garantizando y reproduciendo así el funcionamiento del mundo, hasta en tanto se consoliden nuevas fuentes de energía.

En todos estos momentos, ocurren desplazamientos hacia lugares concretos y específicos, a la vez que lábiles en tanto no estén fijados definitivamente, en función de las distintas traducciones que de ellos se hacen. De acuerdo con Callon (1986: 19) “traducir es desplazar (...) Pero traducir es también expresar en el propio lenguaje lo que otros dicen y quieren, porqué actúan como lo hacen y cómo se asocian entre sí; significa situarse como portavoz”. En la siguiente tabla se da cuenta de la traducción de los distintos intereses, en función de cada grupo, y de los desplazamientos que han tenido lugar por efecto de cada traducción particular.

TABLA IV.

GRUPOS	INTERÉS	TRADUCCIÓN	DESPLAZAMIENTO
Estado - Nación	El Petróleo	Económica	Nacimiento y desarrollo de una industria.
Entes gubernamentales encargados de conducir la industria petrolera nacional	Producir hidrocarburo	Tecnológica	Ganancias de alrededor de cien dólares por unidad de barril producido.
Pemex / IMP	Recuperar el Petróleo a través de un bioproducto	Política y ambiental	Aumento en la producción de hidrocarburo a través de métodos ambientalmente viables.
Equipo de investigación	Crear el bioproducto	Tecnocientífica	Creación de un nuevo objeto.

Es decir, hasta este momento, se han concatenado una serie de circunstancias que hacen factible la enunciación de la oración “el petróleo puede ser recuperado vía microbiana”. En el momento en el que se le asignan recursos al proyecto, comienza también el enrolamiento formal de los distintos actores que conforman el grupo, aunque previamente, como hemos visto, se acuerda verbalmente la participación de los recursos humanos y se prevé quien pueda desempeñar los distintos roles establecidos. Enrolar es fijar identidades, de acuerdo con Callon (1986: 11) “el enrolamiento (...) designa el mecanismo por el cual se define y asigna un conjunto de roles interrelacionados a actores que los aceptan. El interesamiento tiene éxito cuando logra el enrolamiento”. Al interior del grupo, la distribución y asignación de roles está planteada de la siguiente manera:

TABLA V.
DISTRIBUCIÓN Y ASIGNACIÓN DE ROLES

Identidad	Rol – Asociación
Microorganismo	Protagonista. Se espera desplace hidrocarburo de un sitio difícil, en donde hay grandes cantidades. Es el hilo que articula a los distintos actores y entidades, naturales y sociales por igual.
Investigadores Teóricos	Redefinen su identidad, en función del microorganismo. Modelan y predicen su comportamiento a escala molecular a través de programas computacionales. Discuten, plantean y replantean el rol del microorganismo.
Investigadores experimentales.	Someten al microorganismo a distintas pruebas de resistencia, de acuerdo a los propósitos de la investigación, es decir, lo fortalecen, haciéndolo resistente a altas presiones, temperaturas y salinidad y evalúan su desempeño en función del sistema roca – fluido, o sea, con distintos tipos de aceite, salmuera (agua congénita) y núcleos (rocas).

Instrumentos y reactivos	Extensión de los investigadores, permiten y posibilitan la serie de pruebas de resistencia a las que el microorganismo es sometido.
Jefe de proyecto	Engrana a las distintas entidades y actores, tanto a los organismos gubernamentales, en específico a Pemex y la burocracia del IMP con el grupo de investigación. Coordina la parte teórica con la experimental. Formula y plantea directrices de investigación.

Siguiendo el modelo de problematización propuesto por Callon (1986), podemos observar que el enunciado “el petróleo puede ser recuperado vía microbiana”, y las consecuencias en la vida material que de él se derivan, se vuelve un punto de paso obligado para una serie de actores heterogéneos, entre los que se cuentan un grupo de investigadores, el microorganismo que se espera eventualmente logre el desplazamiento del hidrocarburo, y el propio aceite, variable en su composición (recordemos: en ligero, superligero, mediano, pesado y extrapesado) y en su situación geográfica y por lo tanto en sus reacciones al microorganismo. Todo ello, tomando en cuenta las disposiciones que imponen los distintos organismos encargados del petróleo nacional. Las acciones de cada uno de ellos son interdependientes y necesarias para configurar el efecto deseado.

Es así como se ha dado cuenta de la naturaleza de este proyecto y de la formación del equipo de investigación que le insufla vida y dimensión material al interior del IMP, quienes lo protagonizan, su génesis, su presentación formal para ser aprobado ante un CIIS, las condiciones y criterios de aprobación, la asignación de recursos, la formación del grupo de investigación, y la formación de roles e identidades. También, la racionalización burocrática que opera y da estructura formal a un proyecto de investigación científica y los distintos roles que ejerce al interior del proyecto, en fin, hemos visto las distintas variables que se articulan, y la forma particular en que lo hacen, para posibilitar una propuesta de investigación cuyo fin es la recuperación de hidrocarburo.

ENTREACTO SITUACIONAL II

LA GUERRA DE LOS TACONES.

El mundo del petróleo es un mundo predominantemente masculino. De ingenieros, químicos, físicos, investigadores, técnicos, trabajadores, todos hombres. Sin embargo, las mujeres poco a poco se han ido insertado en este mundo masculino y este estar transforma todo el campo. Existe, incluso, un discurso -equipado de una oficina- de equidad de género al interior del IMP. Sin embargo, la estancia de las mujeres y su inclusión precaria están acompañadas de tensiones, que permanecen latentes, de repente estallan y se manifiestan de diversas maneras. Una de ellas, es lo que hemos dado en llamar “la guerra de los tacones”.

Todo comenzó un día en que el nuevo director del IMP, el Doctor Vinicio Suro Pérez, convocó a una sesión para presentar su plan de trabajo y escuchar y resolver dudas de los trabajadores del instituto. Estas juntas se hacen en el auditorio y se llenan a su máxima capacidad, por lo que también en la cafetería, igualmente llena- se transmiten en tiempo real.

Al final, en un momento dado, una mujer tomó el micrófono y expuso que las mujeres, si llevaban tacones, no podían entrar a la biblioteca, porque el piso está lleno de agujeritos. El director reaccionó mal y se negó a modificar el suelo de la biblioteca, y pidió que se dejara de usar tacones, aduciendo motivos de seguridad. La biblioteca es, en efecto, una obra netamente ingenieril, para cuya construcción se pensó en todo, menos en la posibilidad de que fuera a entrar una mujer con tacones.

A partir de este hecho, se implementó, entonces, una campaña que regulaba el uso de los tacones, llamada “pasos firmes por tu seguridad”. En ella se establecía, incluso, la medida exacta de los tacones aceptable: “ancho: mínimo 2 cm; largo: mínimo 2 cm; altura máxima: 5 cm”. Se operó a través del Sistema Integral de Administración de la Seguridad, Salud Ocupacional y Protección Ambiental (SIASSOPA) del IMP en varios frentes: vía correo electrónico institucional,

carteles, anuncios en la gaceta oficial y la llamada de atención de los agentes del orden del SIASSOPA.

Algunas de las mujeres, por su parte, respondieron con carteles que pegaron afuera de sus oficinas y sobre todo, emprendieron la resistencia calzando los tacones más altos que encontraron en su clóset. En los baños, en los pasillos y en el comedor, en sus charlas cotidianas, socializaban su inconformidad y su resolución a seguir calzando tacones, pero también, y más allá de los tacones, otras molestias relativas a su inclusión precaria, por ejemplo, las mujeres de la limpieza, contratadas a través de *outsourcings* son más propensas a sufrir acoso, ante el cual, están realmente indefensas. Otro ejemplo: el congreso “Petrolera”, está diseñado para que los asistentes sean hombres, y ni de broma contemplan la participación de una mujer. Para el año 2013, en la clausura del evento se programó un “performance” de Maribel Guardia, y en el programa se podía leer, en las actividades para acompañantes: “día de shopping”. Ninguna mujer del equipo de investigación estudiado quiso ir. Son cosas de la vida cotidiana que expresan lo que sucede de forma más amplia y estructural: la presencia femenina no se acaba de digerir en un mundo predominantemente masculino como lo es el de la industria petrolera en México y falta bastante para su inclusión real.

Es así que, cuando el trabajo de campo inició, se presenció el insólito espectáculo que desplegaron mujeres usando tacones muy altos. De ocho, diez centímetros o más, pues se esperaba que en el paisaje predominara aquella bota petrolera - industrial, generalmente negra o café, con casquillo, resistente a incendios, a la eventual caída de una plataforma, de un tanque de gas, o de cualquier reactivo o material y antideslizante al petróleo u otros aceites. Hay que decir que las mujeres de ciertas áreas –como la planta piloto y lugares de mayor riesgo- siempre llevaron este tipo de bota, porque no puede ser de otro modo, con y sin campaña que norme el uso del calzado.

Finalmente, con el tiempo y ante la resistencia, para el 30 de mayo del 2013, día en que el director del instituto presentó a los trabajadores la nueva estructura organizacional del instituto dijo: “prometo no hablar de los zapatos”.

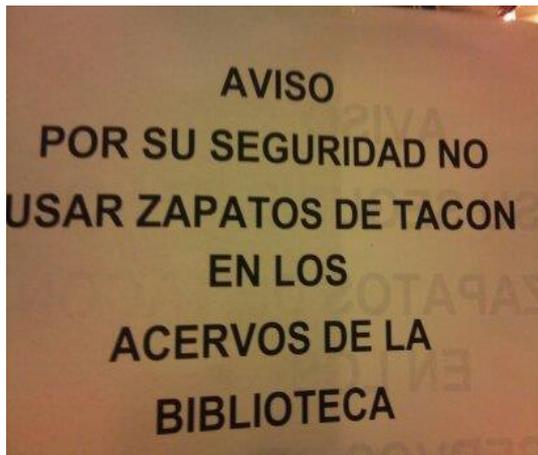


Foto 1: Prohibición institucional de acceso a la biblioteca en tacones.

Foto 2: Piso de la biblioteca.



Foto 3: Aspecto de un pasillo de la biblioteca.

Foto 4: Cartel que especifica las medidas de un tacón para que este pueda ser legítimamente utilizado en el IMP.



Fotos 5 y 6. Expresión de la resistencia opuesta a las medidas institucionales para normar el cuerpo y la estancia de las mujeres.

CAPÍTULO IV

QUE EL PETROLEO SEA RECUPERADO VÍA MICROBIANA.

En capítulos anteriores, se hizo una revisión de la situación actual del petróleo en México, los entes gubernamentales responsables de su conducción, de la manera en que se extrae y sus fases de recuperación. También se dio cuenta de la conformación de un proyecto de investigación cuyo objetivo es su recuperación a través de un bioproducto, el papel de la burocracia, sus protagonistas, sus roles e identidades, los distintos desplazamientos que lo posibilitan y la manera en que se articulan.

Este capítulo versará sobre la manera en que los investigadores le insuflan vida al proyecto, es decir, tratará de ahondar en el trabajo realizado en el laboratorio, sitio sede de transformaciones que van en, al menos, tres direcciones: interna - humana, ya que los investigadores se equipan durante el proceso de trabajo; interna – no humana, ya que el microorganismo pasa por una modelación y pruebas de resistencia que lo llevan a recuperar hidrocarburo con eficiencia y exterior, por cuanto el resultado de esta producción implica traducciones en distintos órdenes, como los económicos, políticos y de reproducción de un mundo basado en los combustibles fósiles como fuente de energía. Versará también sobre su organización, en específico, sobre la manera en que cada uno de los actores que intervienen al interior del grupo de investigación fija su rol tanto teórico como experimental, las sedes y los instrumentos que utilizan, la omnipresencia de la visualización y de las representaciones que la fijan, el modo en que convergen científicos provenientes de distintas áreas del conocimiento y los mecanismos que han creado para traducirse y entenderse cotidianamente, para dar cuenta de la manera en que su articulación conjunta logra, al fin, un producto tecnocientífico.

IV. I EL LABORATORIO

El laboratorio es la piedra angular del quehacer científico. Se trata de un sitio en donde las condiciones están normalizadas, estandarizadas y controladas de tal suerte que los experimentos que ahí se realizan sean susceptibles de replicarse en cualquier otro laboratorio. Se trata, también, de aquel lugar en dónde se encuentran los instrumentos necesarios para maniobrar, en función de

determinadas hipótesis de trabajo y del lugar sede del trabajo experimental y de una buena parte de los recursos, humanos y no y de sus prácticas y transformaciones locales.

En aras de fijar el concepto, y dar orden a lo que se atestiguó en el laboratorio usado por este grupo de trabajo en particular, se hizo, primero, una revisión de la definición en la literatura. De acuerdo con Latour (1992:69) “Podemos definir al laboratorio como un lugar que reúne uno o más instrumentos”. (1992:91) “los laboratorios son (...) lo bastante poderosos para definir la realidad. La realidad es lo que resiste”. (1983:67) “El laboratorio (...) es un gran y eficiente transformador de fuerzas”.

De acuerdo con Knorr-Cetina “La noción de laboratorio ha emergido históricamente como un conjunto de formas social y técnicamente diferenciadas. (...) La importancia de este concepto está ligado a la reconfiguración del orden tanto social como natural”. “Los procesos de laboratorio alinean el orden natural con el social mediante la creación de objetos reconfigurados y factibles en relación con agentes de un tiempo y lugar determinado. Pero los laboratorios también instalan a científicos reconfigurados, quienes devienen factibles en relación con estos objetos. Mejor dicho, las contrapartes son agentes mejorados en varios sentidos para ajustarse en un orden emergente particular”. “El punto de interés es cómo el orden social es reconfigurado en conexión con este proceso de laboratorización”.

“El laboratorio es un repositorio de materiales de procesamiento y dispositivos que continuamente alimentan la experimentación. Más generalmente, los laboratorios son objetos de trabajo y atención sobre y más allá de los experimentos. (...) Los laboratorios ahora son unidades colectivas que encierran en ellos una circulación de substancias, materiales, equipamiento y observaciones. (...) La circulación de objetos, investigadores e información produce un mundo de vida dentro de la cual los laboratorios son locales, pero cuya extensión va mucho más allá de sus límites”.

“He definido (a los laboratorios) como unidades relacionales que ganan poder instituyendo diferencias con su medio: diferencias entre los órdenes reconfigurados creados en el laboratorio y las convenciones y arreglos encontrados en la vida cotidiana, pero por supuesto, también diferencias entre las disposiciones de laboratorios contemporáneos y aquellas encontradas en otros tiempos y lugares. (...) Se pueden vincular a los laboratorios como unidades relacionales, a, al menos, tres realidades: al medio que configuran, al trabajo experimental que se lleva a cabo en ellos, modelado en función de dichas reconfiguraciones, y con el “campo” de otras unidades en las cuales los laboratorios y sus características están situados”. (Knorr- Cetina 1999: 26- 44).

De acuerdo con Vinck (2007:4-5) “El laboratorio es una forma de organización típica de la “*sociedad del conocimiento*”. Su capacidad de actuar en el mundo de los objetos y su dinamismo se apoyan en su destreza y su *capacidad de reconfigurar entidades del mundo natural y social*. Los laboratorios son también unos espacios de confrontación con la naturaleza y de atención con la naturaleza, alrededor de objetos de los cuales las formas, los estatus y los contornos no están estabilizados, y gracias a que se produce justamente la fabricación de problemas y de cuestionamientos interesantes. El laboratorio entonces no es simplemente una organización que coordina a individuos o grupos con habilidades conocidas y establecidas con vista a una producción sociotécnica identificada, sino un dispositivo de reapertura de los objetos, de los instrumentos y de las habilidades, evaluado por su capacidad de aumentar la exploración y la intensidad del cuestionamiento”.

La literatura sobre el tema converge, pues, en la existencia de varios niveles de análisis para abordar al laboratorio, primero, como el sitio sede de la imbricación y transformación social y natural. Segundo, como la matriz de una serie de instrumentos y de objetos que han sido resultado de una forma particular de cristalización del conocimiento y cuya puesta específica en funcionamiento da lugar, a su vez, a otras nuevas formas de cristalización del conocimiento. Tercero, como el lugar de formas diferenciadas de abordar un problema. Cuarto, como una producción histórica y social diferenciada según el lugar y el tiempo. Quinto, como el lugar de configuración del campo de investigación al que el laboratorio se

adscribe. Sexto, una forma de organización particular de una sociedad. Séptimo, escenario de la problematización y cuestionamientos en diversos campos del saber, de estabilización y de reapertura de objetos, instrumentos, habilidades y roles, todo lo cual se ha confirmado. Añadiría también, para este caso, como un territorio, es decir, como una apropiación concreta y temporal del espacio por los actores que lo habitan.

Es así que todo científico que se respete se esfuerza grandemente por construir un buen laboratorio. En este caso, como se ha visto, cada realización tiene su correlato en una intrincada gestión burocrática. Acceder a un espacio determinado, poblarlo del instrumental y de los recursos humanos capaces de manejarlo, implicó previamente una gestión considerable, ya que, recordemos que cada instrumento que existe en el laboratorio, cada persona, y la obtención del espacio mismo pasa por la aprobación de varias instancias y servidores públicos habilitados para dar vistos buenos.

IV. II ESPACIO FÍSICO

En el caso que nos ocupa, los investigadores refieren que el laboratorio en donde están asentados fue un espacio que se construyó poco a poco y que se estabilizó a través de esfuerzo y trabajo sostenidos. Uno de ellos recuerda: *“este era un espacio abandonado, como una bodega en donde se acumulaban cosas, pero sin precauciones, por ejemplo, reactivos que no pueden estar juntos, por la peligrosidad que su cercanía genera, aquí estaban juntos, estaba lleno de polvo, desordenado”*.

De tal suerte que la trayectoria de este laboratorio lo ubica como una construcción colectiva establecida en las instalaciones del IMP de forma temporal, ya que también se pudo atestiguar que oficinas y laboratorios pueden montarse y desmontarse –una vez que la decisión está tomada- en cuestión de un día y lo mismo aparecer de un momento a otro, como desaparecer sin dejar el menor rastro. En dicha decisión interviene la vigencia y utilidad de la investigación desarrollada en su seno y la acumulación de capital simbólico por parte de los investigadores, es decir, si algún proyecto desarrollado por un investigador tiene éxito, éste podrá entonces solicitar un espacio mayor, con las adecuaciones que considere pertinentes.

Una vez que el grupo de investigación ubicó ese espacio como susceptible de ser limpiado, ordenado, adecuado y equipado, se hicieron las numerosas gestiones para llevar a efecto su propósito, de tal suerte que en el laboratorio que ocupan tienen a la mano la mayoría de los equipos necesarios para llevar a cabo su labor cotidiana. Eventualmente, si necesitan otros equipos que se encuentran al interior del IMP se puede acceder a ellos, llenando previamente una bitácora. Si se necesitan pruebas, análisis, o imágenes y se pueden hacer en los laboratorios del IMP se mandan a hacer, previo pago. Si no, se buscan laboratorios externos.

Si bien los espacios y objetos que alberga el IMP en teoría son de uso colectivo, durante el trabajo de campo no se tuvo ocasión de presenciar que alguien que no formara parte del equipo asistiera a utilizar el instrumental del laboratorio, vale decir entonces, que la apropiación del laboratorio por los investigadores ocurre por dos vías, a saber: 1) desarrollan un sentido de pertenencia al medio físico que les es propio y 2) se apropian simbólicamente del laboratorio. Es una suerte de “yo soy de aquí y este laboratorio es mío” pero tácito y lábil, ya que no está escrito en ninguna parte, operando más bien en el plano simbólico, pero con incidencia real en la práctica cotidiana de las y los investigadores.

El hecho de que el laboratorio no estuviera dado como un espacio físico en donde las instalaciones y el equipo instrumental preexisten a la llegada del equipo de trabajo, sino que fuera una construcción colectiva y gradual, que se consolidó a través de la perseverancia para hacer los trámites, hace que quienes participaron de esa construcción lo sientan como un espacio propio, si bien se sabe que la propiedad es del IMP y que en teoría lo puede usar cualquier persona que lo requiera.

También se pudo observar que este equipo de trabajo en particular tiene una socialización más bien endógena, interactuando realmente poco con otros colegas. Esto se explica en parte por la competencia con otros grupos al interior del IMP, y por el celo con que los investigadores guardan sus objetivos, hipótesis de trabajo y rutas de investigación. Cabe mencionar que circulan muchas acusaciones de plagio de ideas, o de apropiación indebida del trabajo ajeno sin otorgar crédito a la autoría intelectual de determinadas ideas o rutas de investigación. Por ello, el acceso a otros espacios y el uso que hacen de otros

equipos no son frecuentes y tratan de tener el instrumental de uso cotidiano bajo su resguardo, en su laboratorio. En este sentido, los objetos utilizados por el equipo de trabajo se confirman como una puerta de acceso, como una posible pista de la acción concertada en torno a ciertas líneas de investigación y a los métodos utilizados. El siguiente escenario sucede algunas veces: alguien ajeno al equipo se acerca a sus integrantes, y le pregunta qué hace, de qué se trata su investigación, en formas cordiales o bruscas. Como respuesta, los integrantes se repliegan más sobre su grupo, saliendo solo quienes tienen alguna relación interpersonal con alguien de otro equipo.

De la misma manera, la composición de los grupos de investigación cambia la forma de apropiación del lugar. En este laboratorio, al momento en que se realizó el trabajo de campo, se encontró que la estructura demográfica de la población que hace el trabajo experimental, se encontraba en la etapa de vida que se ha dado en llamar “juventud”, ya que sus edades oscilaban entre los 23 y los 34 años, y en donde las mujeres eran mayoría. Ello imprimía un carácter particular al ambiente del laboratorio, traducido en prácticas de la vida cotidiana que van desde el habla, las posturas corporales, la música que escuchaban y el volumen, el lugar y los dispositivos con que lo hacían hasta el uso de determinados zapatos. Ello se pudo comprobar al contrastar este laboratorio con otro, predominantemente masculino, tema que, sin embargo, escapa al propósito de esta tesis, lo que quiero resaltar es la modelación y apropiación del espacio físico por sus habitantes y viceversa, es decir, la modelación de los habitantes por el espacio físico.

IV. III SUBGRUPOS. FUNCIONES. SEDES

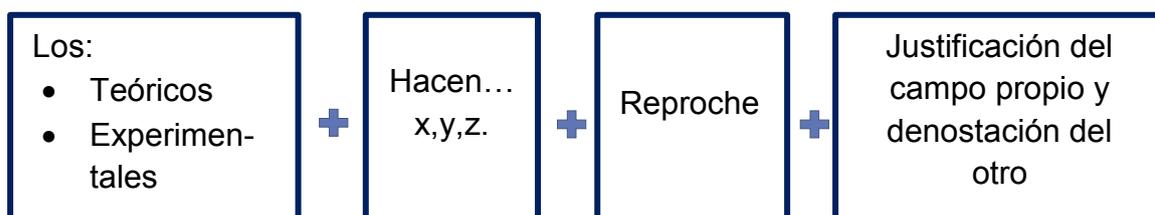
Una descomposición del grupo por roles puede hacerse de acuerdo a las funciones asignadas a cada uno de los componentes. En este caso, existe una parte cuya función es establecer las directrices teóricas de la investigación, y está compuesto por los investigadores de mayor edad, quienes todos los días sostienen una o varias discusiones teóricas. A estas discusiones se pueden agregar otros colegas que no pertenecen propiamente al grupo de investigación pero que son consultados para cosas específicas relativas a su especialidad; ellos a su vez, pueden hacer consultas o exponer dudas en el marco de estas discusiones entre distintos colegas que se van agregando y desagregando.

Por otra parte, quienes desarrollan los métodos y los experimentos en el laboratorio son en su mayoría jóvenes que han egresado de la maestría o estudiantes de doctorado que desean adquirir habilidades de formación científica experimental. También, hay un integrante, ya doctorado, que va a probar métodos específicos a su área del conocimiento (química), que por su edad interactúa más con los teóricos, participando de sus discusiones. Vale decir que este integrante es común tanto a la parte teórica como a la experimental.

Ahora bien, los jóvenes están invitados a participar de las discusiones y, a veces, tienen que ir de forma obligada, sin embargo, durante el trabajo de campo se pudo observar que, dada la carga de trabajo, prefieren no hacerlo, hecho que a veces molesta o desilusiona a los investigadores teóricos.

En efecto, en el trabajo de campo se verificó que existe en la práctica una caracterización de cada rol sancionada por los integrantes del grupo, en donde existe la tendencia a considerar al teórico como un ser alejado de la realidad y entregado a profundas cavilaciones, mientras que el investigador experimental es considerado como aquella persona ocupada diligentemente de las cuestiones prácticas y tangibles de la investigación, y que, justamente a causa de este trabajo, puede llegar a perder de vista cuestiones de más largo alcance.

Se pudo observar que esta división teórica / práctica, a veces, tomaba forma en una suerte de reproche que escuche a menudo, cuyo esquema es el siguiente:



Por ejemplo: *“Allá arriba, los teóricos luego se ponen a platicar de otras cosas, discuten mucho tiempo y tenemos plazos de entrega de resultados... (nosotros) los experimentales no podemos divagar como ellos”*.

Ahora bien, la sede de cada investigador cambia según sus funciones, aunque no existe una separación tajante entre ellas, es decir, no obstante la distinción hecha

entre teóricos y experimentales, el investigador experimental no es ajeno a la teoría y viceversa, al contrario, se nutren mutuamente. De hecho, parte de los teóricos hacen experimentos, pero ya no en el laboratorio, sino en software especializado, debido a la escala en que trabajan, lo que se abordará más adelante.

Por su parte, el jefe de proyecto está obligado a establecer las directrices de investigación y orquestarlas, por un lado, y por el otro, llevar a cabo las gestiones burocráticas, por lo que su función conoce como sede su oficina y eventualmente se desplaza a otra oficina, sede de las discusiones teóricas y al laboratorio, en donde recoge los resultados del día e instruye las directrices experimentales y discute con “los muchachos” qué tipo de experimento o método es más adecuado para llegar a algún objetivo intermedio o general.

Como se mencionó, a veces se les pide a “los muchachos”, es decir, a los investigadores experimentales que asistan a las discusiones teóricas, o a la oficina del jefe a entregar resultados. Por la oficina del jefe desfilan todo tipo de personas, entre las que se pueden contar: funcionarios, otros colegas, proveedores, secretarias, trabajadores, técnicos y estudiantes. Es, en fin, el engrane entre el interior del proyecto de investigación y el exterior.

Por último, cabe mencionar que un investigador teórico en el IMP está inhabilitado para ser jefe de proyecto, hecho que da cuenta de cómo los roles caracterizados y sancionados en la práctica inciden en la organización del trabajo y quehacer científicos, al menos en el IMP.

Con el fin de mostrar la modelación e interrelación mutua entre el jefe de proyecto y los dos subgrupos de trabajo -el teórico y el experimental- y entre los espacios y quienes trabajan en ellos, en la siguiente tabla se muestra la sede o el espacio físico que ocupa cada integrante o subgrupo del proyecto, el rol que desempeña y las funciones adscritas a dicho rol. Lo anterior también posibilita el establecimiento de la distribución poblacional en espacios determinados, al tiempo que descubre la manera en que cada rol particular requiere un entorno adecuado a sus funciones y cómo ello se traduce en una determinada organización laboral.

TABLA I. Funciones llevadas a cabo por cada subgrupo y sede.

SEDE	ROL	FUNCIÓN
Laboratorio	Experimental	<p>Producción del microorganismo. Recuperación, caracterización y preparación de muestras de aceite, salmuera (agua de mar) y rocas.</p> <p>Evaluación de los medios <i>ad hoc</i> de enriquecimiento para el microorganismo.</p> <p>Determinar el coeficiente de reparto del microorganismo.</p> <p>Aislar y seleccionar especies que estabilizan emulsiones.</p> <p>Desarrollo de diversos métodos de extracción y caracterización del microorganismo.</p> <p>Evaluación del microorganismo; determinar efectos en el aceite y en la roca.</p>
Oficina	Teórico	<p>Caracterización y evaluación teórica: Determinación de la naturaleza de las interacciones moleculares entre microorganismo, fluidos y roca.</p> <p>Determinar: energías de adhesión entre complejos; coeficientes de reparto y estabilidad térmica y salina del microorganismo.</p>
	Jefe de proyecto	<p>Investiga fundamentos teóricos y metodológicos. Coordina y articula la parte teórica con la experimental y viceversa.</p> <p>Revisa, analiza y discute los resultados de ambas partes y hace las gestiones burocráticas.</p>

IV. IV DISCUSIÓN TEÓRICA

La oficina de uno de “los teóricos”, funge como centro alrededor del cual gravitan otros tantos investigadores, agregándose en un mismo punto, investigadores de varios proyectos, cada uno tratando de resolver problemas específicos de su investigación. De esta manera, se colectiviza un corpus de conocimiento teórico común a químicos, físicos y biólogos con sus distintas especialidades.

En el marco de las reuniones en la sede de “los teóricos” encontramos el siguiente esquema de desarrollo e interacción y la siguiente manera en que se entretajan los aspectos teóricos con los prácticos. Para esto último, a veces se le pide a alguno (s) de “los muchachos” (experimentales) que suba obligatoriamente a presenciar y a participar de la discusión, dependiendo de si ésta concierne directamente a su parte del trabajo. También el jefe de proyecto funge como enlace, al participar diariamente de las discusiones por la mañana, y por la tarde recoger y analizar los resultados del día en el laboratorio. A grandes rasgos, las reuniones teóricas discurren y se ensamblan al trabajo así:

1. Como condición previa, pertenencia a una disciplina específica: física, química y biología y sus derivados, compuestos y subdivisiones: biología molecular, microbiología, bionanotecnología, bioquímica, química analítica, química orgánica, química computacional, fisicoquímica, física teórica y cuántica¹⁴.
2. Discusión teórica: exposición, argumentación, análisis y –no siempre– conclusiones.
3. Regreso al laboratorio con fórmulas e hipótesis para comprobar supuestos, y a la oficina para escribir informes, artículos y patentes.
4. En el laboratorio surgen otras nuevas dudas e hipótesis. Se regresa al paso 2.

Se puede decir, entonces, que describen un movimiento de ida y vuelta, pero no lineal. El punto uno es un prerrequisito que sirve como punto de partida, pero los siguientes tres movimientos no se derivan lógicamente el uno del otro, sino que pueden ocurrir durante todo el proceso de trabajo, pero se abordan y presentan

¹⁴ De acuerdo con los investigadores, a escala atómica las disciplinas convergen, de ahí que su nombre también refleje las intersecciones entre áreas comunes en dicha escala: bioquímica, fisicoquímica, por ejemplo.

de esta manera para facilitar su análisis y es un movimiento que se repite para todos los conceptos de las disciplinas concernidas, contenidas en el punto 1. Lo anterior se presenta esquematizado de la siguiente forma:



Cabe mencionar que los conceptos son estudiados antes, durante y después de las discusiones, ya sea en bibliografía especializada, en internet y en la discusión con colegas, quienes traducen y clarifican los conceptos, y que las dudas surgen cuando existe una respuesta no esperada, cuando se detecta algo sin respuestas razonables. Al tratar de elaborar una explicación, los científicos generan preguntas, hipótesis y supuestos que alimentan la discusión teórica, en donde son razonados. Posteriormente, se regresa al laboratorio y eventualmente se les da respuesta.

IV. V EL MICROORGANISMO

En este punto, cabe identificar al microorganismo como un actor principal, que da sentido a la actuación de este equipo de trabajo, por cuanto alrededor de él se articularían varios mundos, transformando la realidad a su paso. Como dice Latour (1983: 42) “un grupo de gente, armada con un laboratorio (el único lugar donde el agente invisible se hace visible) se situará fácilmente en todas las relaciones, siempre que se perciba la intervención de un microbio”.

En este caso, el microorganismo daría mantenimiento y vigencia a un modo de producción de energía basado en los combustibles fósiles y a la dependencia de los ingresos de la federación –hasta ahora todavía- basada en la venta de la Mezcla Mexicana de Exportación, pero introduce una mejora en términos ambientales en cuanto a la producción de hidrocarburos. Él le daría continuidad a este mundo petrolizado, en cuya entraña de asfalto y turbosina se escenifican nuestras vidas.

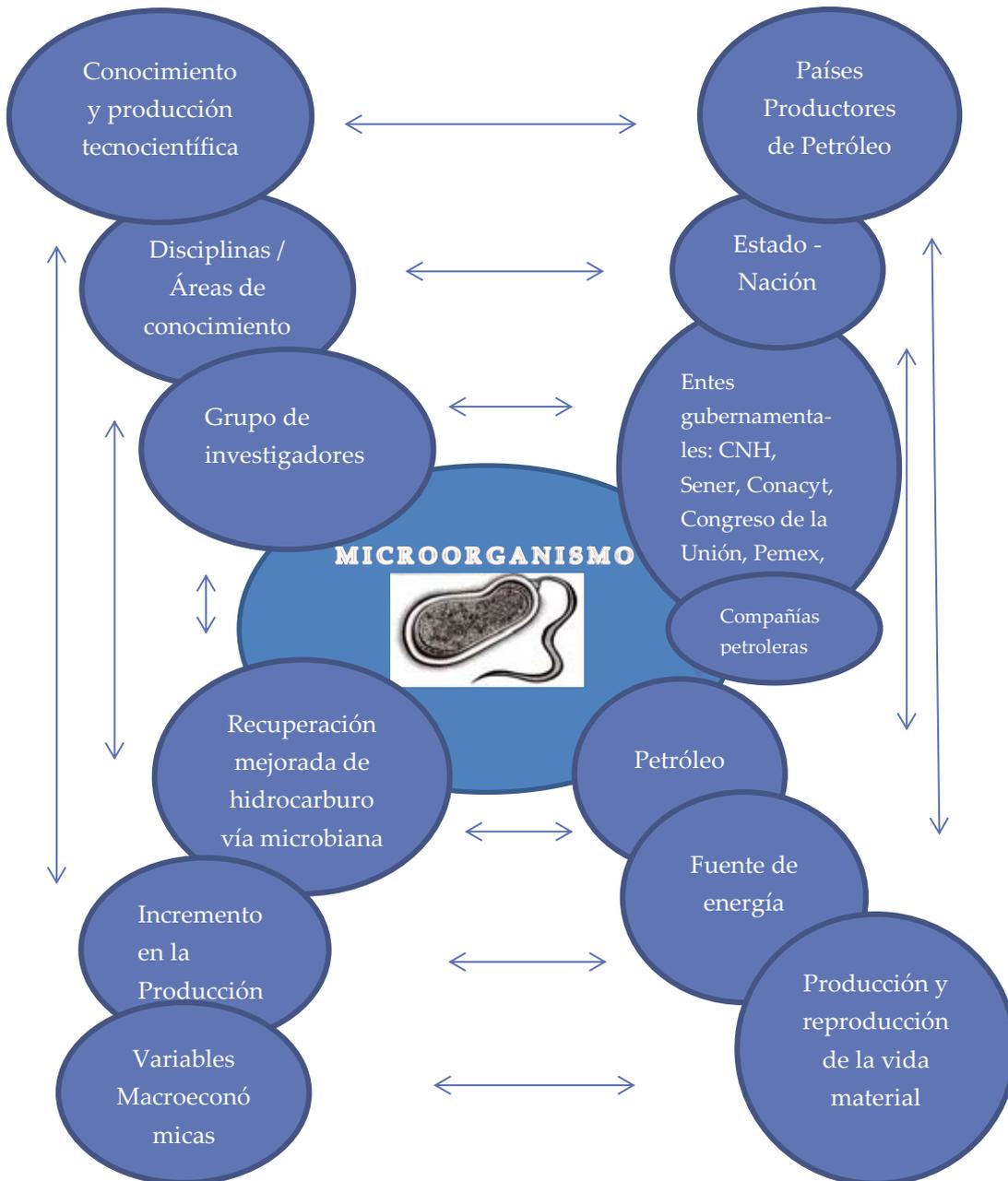
El microorganismo llega al laboratorio tal y como llegan todos los que se encuentran en él, -humanos u objetos- es decir, abriéndose camino entre una extensa red de burocracia. Es conocido por el equipo de investigación de dos maneras: por la literatura disponible sobre el tema y experimentalmente, es decir, porque existe en muestras de petróleo que han sido analizadas justamente para determinar qué clase de microorganismo puede de facto soportar las condiciones de yacimiento (alta presión, temperatura y salinidad). Por lo tanto, proviene tanto de un banco de microorganismos ubicado en Japón, como de los pozos petroleros de Chicontepec.

Como todo lo que existe en el laboratorio, ha habido también, previamente, un proceso de estudio para determinar qué microorganismo de entre todos los existentes –como procariotas, bacterias, eucariotas, protozoos, algas, hongos e incluso virus- es de mayor utilidad para el propósito específico de mejorar la recuperación de hidrocarburo. Este proceso se hace de forma experimental, probando la respuesta de distintos microorganismos a diferentes condiciones para determinar cuál es el que se adapta mejor a las condiciones del yacimiento y al mismo tiempo, puede romper la tensión superficial e interfacial entre el agua de mar y el aceite para facilitar su desplazamiento y recuperación.

El microorganismo, de hecho, hasta donde concluyó el trabajo de campo, ya desplazaba hidrocarburo -a escala de laboratorio- con mayor eficiencia y limpieza que los productos químicos, pero su proceso de estabilización continúa y aún le faltaba ser probado tanto en la planta piloto que existe al interior del IMP, como a una escala mayor, como el yacimiento mismo, lo que implicaría también, determinar qué cantidad de producto se necesitará a esa escala y producirlo.

A continuación, se muestra un esquema para ilustrar cómo el microorganismo es un actor central, encontrándose como punto de intersección de varios y diversos actores, articulándolos. También, para dar cuenta de qué manera las producciones de laboratorio modifican y conforman la realidad incorporándose a nuestra vida cotidiana, transformándola y configurándola de una cierta manera.

Red de actores heterogéneos que articula el microorganismo:



Microorganismo tomado de: <http://biogeocarlos.blogspot.mx/2011/02/arte-microbiologia-bacterias.html>

El esquema anterior, un punto de una red articulada por un microorganismo, sirve, también, para dar cuenta de la forma en que la ciencia y la sociedad se encuentran imbricadas y cómo se modelan mutuamente con su interacción y también para dar cuenta de cómo nuestras vidas y destinos personales están entremezclados y compuestos de producciones tecnocientíficas en mayor o menor grado. Compuestos de: napalm, de petróleo, de radioactividad, de

centrales y pruebas nucleares, de penicilinas, de microorganismos, de cadenas de ADN y ARN, etcétera, entidades, todas ellas, fruto de laboratorio.

IV. VI UNIVERSO DE OBJETOS

Los laboratorios son un microcosmos saturado de objetos, cada uno proveniente de distintos lugares y tiempos y cuya existencia cristaliza distintas formas de conocimiento y de saber hacer. En la literatura sobre el tema, crece el interés porque el mundo de los objetos sea tomado en cuenta. En efecto, si el laboratorio ha sido definido como aquel lugar en el que existen instrumentos, el primero no se comprende sin los últimos y el trabajo de campo llega al punto necesario de abordar la interacción entre los investigadores y los objetos existentes en su laboratorio para dar cuenta de las prácticas situadas de dichos individuos.

En la literatura sobre el tema encontramos teoría que apunta hacia la toma en cuenta de la cultura material (Fogelberg y Glimell: 2003), es decir, del equipamiento y de los objetos como actores preeminentes en la comprensión de la acción colectiva y situada, toda vez que “la producción de conocimientos pasa por la implementación de dispositivos técnicos” (Vinck 2006:1) y los investigadores dedican una buena parte de su trabajo en conocer las novedades en cuanto a instrumentos se refiere, sus capacidades, la forma en que éstos pueden ajustarse a sus objetivos y los resultados que de ellos pueden esperar. De este modo, forman al interior de sus laboratorios una determinada cultura material indisociable de su quehacer.

Los instrumentos en su conjunto conforman una colección, un universo de objetos que dan cuenta, también, de la localidad y especificidad del trabajo llevado a cabo por cada laboratorio. En este caso, por ejemplo, como se trata de reproducir el sistema roca – fluido a escala de laboratorio, encontramos muestras de núcleos de roca, petróleo de todos los tipos –ligero, mediano, pesado y extra pesado- y agua congénita de yacimiento. A su vez, como se analiza su interacción con un microorganismo, existen instrumentos para su visualización, producción, reproducción, crecimiento y mantenimiento, así como otros que lo analizan a diferentes presiones, temperaturas y salinidad. También, como se pretende analizar y dotar al microorganismo de las propiedades que rompan la tensión interfacial entre el agua y el aceite y lo fluidifiquen facilitando su recuperación, se

modela a escala atómica, lo que implica otros instrumentos, en este caso, software, para proyectar, modelar y predecir interacciones a escala molecular.

¿Cómo fue el proceso mediante el cual se equipó este laboratorio? ya se ha mencionado cómo la selección de cada instrumento, si es nuevo, en el sentido de que no se ha trabajado antes con él y probado su utilidad y eficacia, o de que no sea un instrumento con el que se trabaja de rutina, como por ejemplo las cajas Petri, supone previamente el estudio de su factibilidad técnica y administrativa, es decir, se analizan sus propiedades y su relación con las hipótesis de trabajo, así como si cubre una necesidad real y es útil dentro del IMP. Este análisis para el equipamiento se hace a través de los catálogos facilitados por diversos proveedores, y / o a través de internet y se discute con colegas.

Los proveedores, a su vez, si abastecen de equipo muy especializado, son pocos a nivel nacional, a veces son dos o incluso una sola compañía. Por ello, sus agentes conocen de primera mano las necesidades de muchos y muy diversos grupos de investigación de diferentes instituciones. Así, se constituyen como vehículo de información sobre el uso en general del equipo, pero también del uso particular con que los investigadores lo han investido para hacerlo trabajar en función de sus objetivos y van socializando esta información entre los distintos grupos de investigadores que atienden.

De esta manera, los proveedores se constituyen como actores en el equipamiento por cuanto conocen el equipo y sus funciones, -de hecho, ofrecen sesiones de capacitación en el uso adecuado e inadecuado-, pero también, porque conocen la manera de ajustarlo de tal suerte que solventen necesidades y se ajusten a diversos propósitos de trabajo y son vehículo de socialización de este conocimiento entre actores variados.

Cabe mencionar que al tratarse de un centro público de investigación enfocado en el petróleo, la compra de cada instrumento o equipo es factible, incluso si el precio es muy elevado, pero adecuándose a la naturaleza, necesidades reales y funciones del IMP. Por ello, carece de muchos equipos, y en cambio es dueño de algunos otros que se encuentran en contadas instituciones a nivel nacional, como ciertos reómetros y tensiómetros. Pero, por ejemplo, si se desea conocer la secuenciación genética de un microorganismo proveniente de algún yacimiento

determinado, se tiene que solicitar a otro laboratorio, mediante el trámite descrito anteriormente, ya que al no ser un instituto de investigación en ciencia genómica, de adquirirse el equipo con el que esto se lleva a cabo, sería subutilizado. En cambio, en 2006, por ejemplo, el IMP adquirió un equipo de microscopía electrónica para conformar el laboratorio de ultra alta resolución, que incluye dos microscopios electrónicos de barrido; seis microscopios electrónicos de transmisión, denominados “Titán”; dos microscopios de fuerza atómica; una estación de doble haz (iónico y electrónico); un nanomanipulador y equipo periférico para preparación de muestras¹⁵.

Aunque no es el objeto de estudio de esta tesis, cabe mencionar que la introducción de dicho equipo en sí mismo, es suficiente para modificar las relaciones sociales, ya que para “desquitar” su precio, -dos millones de dólares- el IMP ha establecido convenios de cooperación y alianzas con otras instituciones, especialmente universidades, si bien, a la fecha, existen quejas porque este equipo no toma muestras húmedas, fundamentales para la investigación en materia de petróleo.

Volviendo al tema que nos ocupa, si, por ejemplo, durante el transcurso de una investigación sale a la venta un equipo que se adecúa mejor a las hipótesis de trabajo, es imposible adquirirlo, ya que no estuvo contemplado en el proyecto de trabajo que aprueba el CIIS, y por lo tanto, en el presupuesto destinado al proyecto.

Como, en suma, cada objeto es, en sí mismo una entidad compleja cuya descripción a través de la palabra escrita se antoja complicada y peor, ambigua, aquí nos allegamos al recurso de la exposición visual, por medio de fotografías para dar cuenta de este mundo abigarrado de objetos, cuidadosamente clasificados y almacenados en el laboratorio de este equipo de trabajo.

La propuesta es describirlos haciendo uso de un registro visual para facilitar la comprensión y conexión con las prácticas locales y con lo que dota de especificidad a este laboratorio, que es justo lo mismo que lo entrelaza a distintos

¹⁵ Véase al respecto la siguiente nota: “Posee el IMP el equipo más avanzado del mundo de microscopía electrónica”. En: <http://www.jornada.unam.mx/2006/10/10/index.php?section=ciencias&article=a02n1cie>.

mundos, y en donde, como se mencionó, cohabitan microorganismos, con el correspondiente equipo para su desarrollo, cuidado y medición de su eficiencia, junto con aceite de distinta gradación API proveniente de los yacimientos difíciles y fracturados de Chicontepec, agua congénita y núcleos de roca.

Consideramos lo anterior útil y pertinente en este caso primero, atendiendo al principio de simetría propuesto primero por Bloor (1976) y reformulado por Latour (2005) ya que, si algo se pudo concluir del trabajo de campo es que la representación visual es fundamental para la construcción de algún conocimiento y vale lo mismo para las ciencias exactas que para las sociales y porque las fotografías, tal como los objetos encontrados en el laboratorio, logran abstraer un lugar y momento específicos y dar cuenta de ellos.

Se hace un esfuerzo por contar una historia cronológicamente, a manera de seguir ciertas pistas que el camino recorrido para llegar al laboratorio dejó, mostrado a través de los integrantes del equipo de investigación, aunque, a veces, esta historia se verá intersectada por distintas otras cosas, tal como sucedió en el propio trabajo de campo. De tal suerte que a partir de ahora se propone hacer, paralelamente, una otra lectura a través de un ensayo de sociología visual, cuyos fundamentos teóricos han quedado asentados en la introducción y que básicamente sostienen, de acuerdo con Harper (2000) la utilidad de las imágenes para explicar mundos saturados de significado sociológico y para preservar la observación de forma más clara que en el diario de campo y con Garrigues la pertinencia de considerar “cuerpos fotográficos situados en el tiempo, el espacio y una sociedad o un medio dados” (Garrigues 2000:6).

Los datos se presentan de acuerdo al modo narrativo propuesto por Harper (1988:7) es decir, estructurados para dar cuenta de algo, en este caso, del proceso de realización de un producto tecnocientífico para mejorar la recuperación de hidrocarburo, ya que, siguiendo con Harper (Op. Cit) “las fotografías pueden ser leídas para entender matices de interacción, presentaciones del yo, y la relación entre las personas y su medio ambiente material”.

Las fotografías se presentan, intencionalmente, de forma híper saturada, ya que así es como se encontraron en el IMP y en el laboratorio mismo.

IV. VII APARTADO DE SOCIOLOGÍA VISUAL

IV.VII.I IMP



Foto 1: Instituto Mexicano del Petróleo. Vista satelital.

Coordenadas geográficas:

19.4893617

-99.1479623

Imagen tomada de Google maps.



Foto 2: IMP visto a ojo humano. Mismas coordenadas (19.4893617, -99.1479623)

Acceso al fondo a la izquierda, torre.

IV.VII.II PAISAJE LOCAL.



Foto 3: Canchas de Fútbol. Al fondo, la Torre, sede de la directiva y lugar de las reuniones del CIIS



Foto 4: "Los talleres", vistos desde el tercer piso de un edificio.



Fotos 5, 6, 7, Y 8: Torre petrolera, barriles de aceite y de gasoleo característicos, afuera de la planta piloto, en donde se busca reproducir las condiciones de yacimiento.

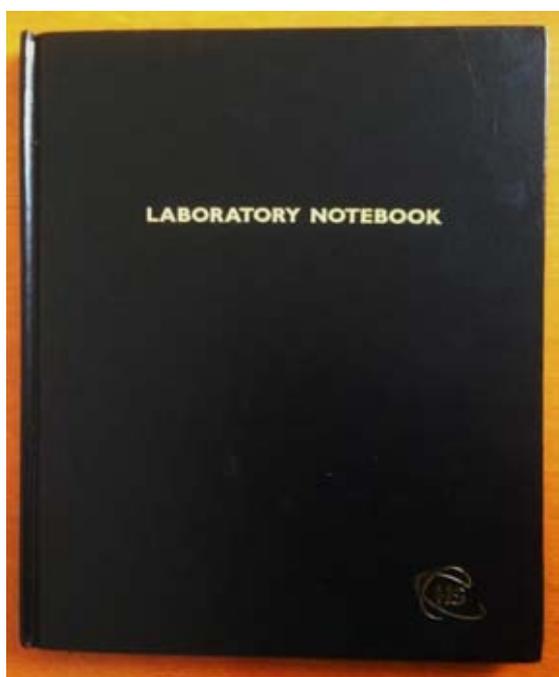


Fotos: 9, 10, 11, 12 Y 13: En el paisaje predominan tanques de todo tipo de gases para la experimentación.

IV.VII.III OFICINA



Foto 14: Oficina del jefe de proyecto. En ella predominan los instrumentos propios para la gestión, como documentos y el correo electrónico. También, libros y artículos sobre bionanotecnología, biología, química y petróleo, informes de trabajo, catálogos de material y bitácoras, entre otros.



Fotos 15y 16: Las bitácoras son un instrumento que podría analizarse en sí mismo. Contienen la historia día a día del curso que ha seguido el trabajo teórico y experimental. Aquí, una sirve para los conceptos teóricos y el diseño de los métodos y la otra, para registrar qué hacen los investigadores experimentales y darle seguimiento, continuidad y articulación al trabajo.



Foto 17: Interior de una de las bitácoras. Contiene conceptos teóricos, notas sobre las discusiones, diseño de métodos, referencia bibliográfica y papeles - traductores (se hablará más adelante de ellos).

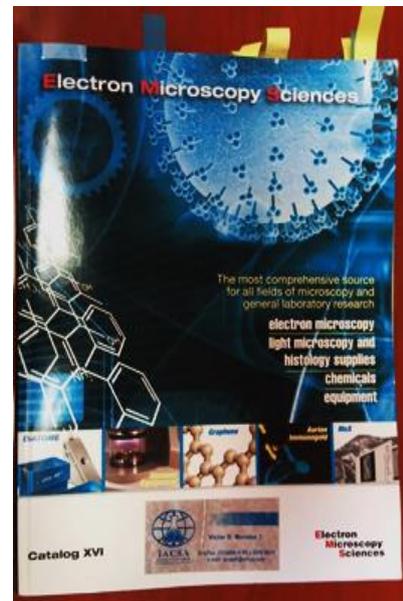


Foto 18: Estante de un librero en cuyo interior solo hay catálogos de instrumental y equipo tecnocientífico.

Foto 19: Portada de uno de los catálogos, contiene novedades en microscopía electrónica, su descripción y aplicaciones. Las hojas con separadores contienen los artículos de interés para el proyecto, que son investigados con proveedores, colegas y en la web.

IV.VII.IV LABORATORIO



Foto 20: Conexiones hacia el exterior. Flujo interior.



Foto 21: Aspecto general: tuberías, conexiones, mesa de trabajo, frascos, microorganismos, petróleo, agua destilada, guantes, entre otros.



Foto 22: Vista parcial. Tanques de agua, muestras y recipientes de vidrio.



Foto 23: Vista parcial del laboratorio.



Foto 24: Detalle de la red de instalaciones.



Foto 25: Código de identificación de fluidos.



Foto 26: Saturación de materiales.



Foto 27: Muestras de petróleo y agua congénita provenientes de yacimientos de Chicontepec.



Foto 28: Aceite pesado.

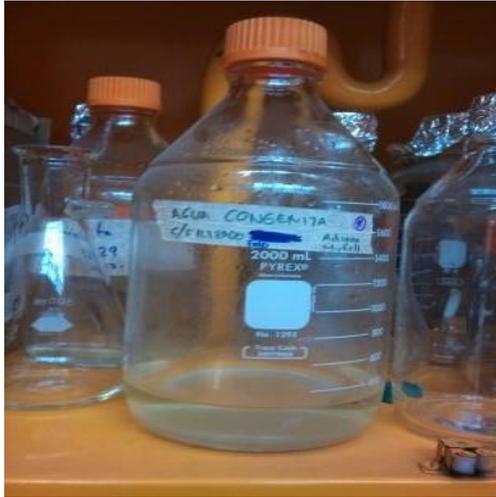


Foto 29: Muestra de agua de yacimiento.

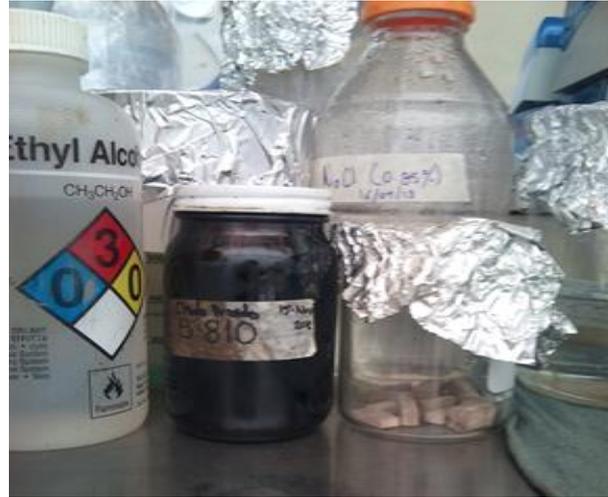


Foto 30: muestras para reproducir el sistema roca – fluido. Crudo pesado a la izquierda y a la derecha, rocas de yacimiento.



Foto 31: Microorganismo visto a través del microscopio.



Foto 32: Muestras de aceite y microorganismo, preparadas para verlas con el Microscopio confocal.



Foto 33: Refrigerador a -20°C. Ubicación del microorganismo y de otras muestras.



Foto 34: Microorganismo en aceite.



Foto 35: Bioreactor. Busca mantener las condiciones ambientales propicias al microorganismo. Al frente, sobre un banco, bitácora en la que se registran las unidades, pesos y medidas, y las distintas variables a las que es sometido el microorganismo y que frecuentemente, al final, adquieren la forma de una gráfica.

Foto 36: Centrífuga. Por el movimiento, el microorganismo se precipita hacia el fondo y es aislado.

Foto 37: Tensiómetro. Mide la tensión superficial (fuerzas cohesivas entre las moléculas de un líquido) y se usa para determinar el desempeño del microorganismo.



Foto 38: Homogeneización agua – aceite por emulsión.



Foto 39: Matraces.



Foto 40: Distintos medios de cultivo para el microorganismo.



Foto 41: muestra conectada a un desecador, para retirar la humedad.



Foto 42: Dispensadores. Extensión natural del brazo del investigador experimental. Dosifican cantidades milimétricas exactas.



Foto 43: Toma del trabajo experimental.



Foto 44: Preparación de muestras.



Foto 45: Método de Du Noüy o del anillo, para determinar la tensión superficial de líquidos.

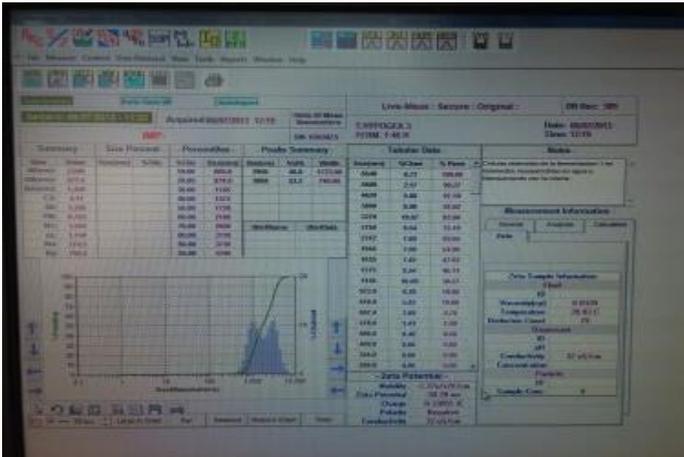


Foto 46: Zetametro: instrumento de inscripción gráfica para ver partículas en vivo. Muchos instrumentos incluyen un software que arroja resultados directamente en forma de gráfica, que sirven en sí mismas, o que pueden servir, a su vez, para construir otras gráficas, que pueden o no aparecer en artículos.

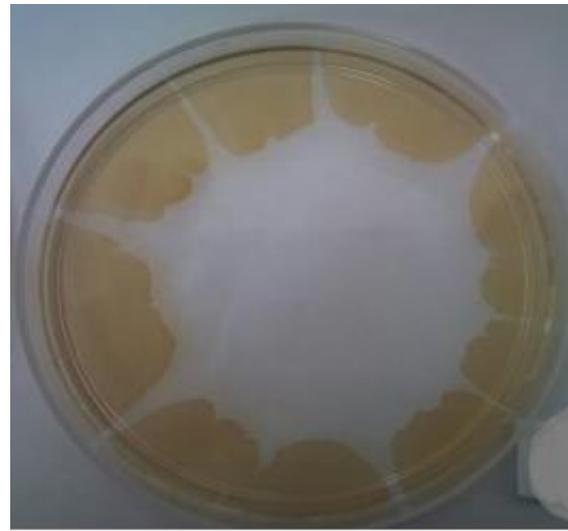


Foto 47: Hábitat del microorganismo, ya transformado por varias pruebas de resistencia y por la modelación cuántica.

Foto 48: Desplazamiento de hidrocarburo hecho por el microorganismo. En una caja Petri, se coloca agua congénita y aceite, en este caso, pesado. El aceite flota en la superficie. Se le añade una gota del producto y ocurre el desplazamiento.



Fotos 49, 50 y 51: En las gavetas: reactivos.





Abigarrado de objetos. Fotos 52 – 69: Portaobjetos, tubos, tapas, gradillas, más tubos, resistencias, probetas graduadas, matraces, gradilla a detalle, tapas de frascos, pipetas, frascos serológicos, buretas, frascos para muestras, frascos Corning y jeringas.



Foto 70: Bote de basura para materiales peligrosos. El petróleo no se debe arrojar al caño y el instrumental se lava con un detergente especial.

Foto 71: Finalmente, los desechos son recogidos del laboratorio y se canalizan a varios lugares, dependiendo de sus propiedades y su peligrosidad.

IV.VIII INTERACCIÓN INVESTIGADORES – OBJETOS – MICROORGANISMO

La interacción entre investigadores y equipo en el marco de un laboratorio crea tanto nuevos objetos como nuevos sujetos. De acuerdo con Vinck, el equipamiento es referido por los actores (de su etnografía) atendiendo a dos vías, una material y la otra, de adecuación de capacidades a dicha materialidad: “en cuestión de equipamiento del laboratorio, los actores se refieren a su base material: lote de instrumentos científicos y recursos técnicos de toda suerte (...) y también, se refieren a la cultura material del colectivo de investigación: competencias que permiten hacer buen uso de los instrumentos, reglas y saber hacer” (Vinck 2006: 14-15).

El proceso de equipamiento resulta entonces una construcción permanente que comienza con identificar el equipo y hacerse de él, y pasa por las transformaciones que éste introduce, entre otras, el desarrollo de las competencias necesarias para sacarle provecho, proceso por el cual el investigador se transforma a sí mismo, se reviste también de un equipamiento.

En este marco se encuentran clasificados un cierto número de objetos característicos de la actividad tecnocientífica, tales como: objetos frontera (Leigh; Griesemer: 1989; 393): “objetos científicos que están presentes en la intersección entre diversos mundos sociales, al mismo tiempo que satisfacen los requerimientos informacionales de cada uno de ellos. Los objetos frontera son objetos tanto lo suficientemente plásticos para adaptarse a las necesidades locales y a las restricciones de las varias partes que los emplean, como lo suficientemente robustos para mantener una identidad común entre los sitios. (...) Tienen diferentes significados en diferentes mundos sociales pero su estructura es lo suficientemente común a más de uno como para hacerlo reconocible, un medio de traducción”; los cuasi objetos: (Serres, citado en Latour 1992; 256) “lo que circula por lo colectivo y lo moldea por su misma circulación”; los objetos de inscripción: (Latour: 1983, 1992) “cualquier estructura, sea cual sea su tamaño, naturaleza o coste, que proporcione una exposición visual de cualquier tipo en un texto científico. (...) La definición no la proporciona el costo ni la sofisticación, sino, únicamente, la siguiente característica: la estructura proporciona una inscripción que constituirá el último estrato de un texto científico”; los móviles inmutables: (Latour: 1992:212) objetos móviles, estables y combinables que

permiten actuar a distancia, que pueden ser transportados, manteniéndose estables y que pueden ser almacenados o agregados a otros; los objetos intermedios (Vinck:1999:392) “entidades físicas que enlazan a los actores humanos entre ellos”, de entre los cuales distingue entre fijos: cuando “los actores humanos gravitan alrededor del objeto” y circulantes: cuando son “enviados de un actor a otro” y la noción de equipamiento (Vinck:2006;17) “es una entidad (artefacto, símbolo, norma, competencia) asociada a otra entidad cuyas propiedades contribuye a transformar”.

Es así que la importancia de los objetos estriba, de acuerdo con Vinck (2009/1: 55) en que “ayudan a cartografiar y a calificar las relaciones entre actores y a documentar sus prácticas en el universo de producción de conocimientos científicos (...) Intervienen en la estructuración de las actividades de investigación individuales y colectivas, en la armonización de las prácticas de los investigadores y en la constitución de un espacio de circulación de saberes (hechos, hipótesis, ideas a explorar, resultados intermedios”.

Como se ha visto, cuando los objetos interactúan con el investigador producen algo nuevo, modifican su entorno. Ello se confirmó en varios sentidos, y para ilustrarlo y en aras de ordenar lo que sucede en este laboratorio, primero se presenta la siguiente tabla, en donde se describen de forma muy general y ordenados bajo seis criterios muy básicos, los instrumentos, según su utilidad principal, en función del rol ejercido al interior del equipo. Los criterios de agrupamiento son: 1) instrumentos de medición; 2) instrumentos de almacenamiento; 3) instrumentos de visualización; 4) instrumentos para experimentación; 5) muestras y 6) instrumentos para el microorganismo. Ello sirve también para hacer mención de las acciones que el uso del instrumental incorpora en el marco del laboratorio, por ejemplo, medir, pesar, registrar, observar, limpiar, dar orden, etiquetar y almacenar son prácticas incorporadas a todos los integrantes de la parte experimental, y las hacen mecánicamente.

Tabla II. Objetos de acuerdo al rol desempeñado.

Rol	Objeto
Experimental	<p>-Instrumentos de medición: pipetas, gradillas, vasos de precipitados, báscula, jeringas, probetas, balanza analítica, pisetas, buretas, vidrio de reloj, frascos Corning.</p> <p>-Instrumentos de almacenamiento: refrigerador, etiquetas, viales, válvulas, tapas, frascos ámbar, frascos de vidrio.</p> <p>-Instrumentos de visualización: zetametro, cámara fotográfica, microscopios para ver a distintas escalas, portaobjetos, cromatógrafo de gases, aceite de inmersión para el microscopio, hojas, espectrofotómetro, colorantes.</p> <p>-Instrumentos para experimentación: Cajas Petri, frascos serológicos, tubos cónicos y falcon, agua destilada, tensiómetro, reactivos, guantes, bitácoras, protocolos, métodos, manuales, pipeta Pasteur con bulbo, puntas y columnas, lámpara de alcohol, anillo de Du Noüy, reómetro, parrilla eléctrica, reactores de tres bocas, enfriador de vidrio, soporte universal, mechero.</p> <p>-Muestras: rocas, agua congénita, aceite de diversos grados API, microorganismos.</p> <p>-Instrumentos para el microorganismo: campana de flujo laminar, incubadora, baño con incubación, bomba de vacío, bioreactor, agitador, licuadora, centrífuga, autoclave.</p> <p>-Instrumentos propios del laboratorio: estaciones de trabajo, botes de basura para cada tipo de residuo, ventiladores, instrumentos de limpieza, mesas, sillas, instalación eléctrica, de gas nitrógeno, de agua, gavetas, bancos, tuberías, jabón sin fosfatos, cloroformo, acetona,</p>
Teórico	Escritorios, sillas, computadora, software, pizarrón, libros y artículos de investigación, cuadernos, documentos, artículos de papelería, café.
Jefe de proyecto	Escritorios, sillas, libreros, computadora, teléfono, impresora, libros y artículos especializados, bitácoras (3), carpetas, documentos administrativos, cuadernos, pizarrón, catálogos de instrumental, artículos de papelería y cajas apiladas.

El conjunto de instrumentos descrito configura un tipo particular de relación y de interacción frente a su objeto de estudio, que caracteriza ontológicamente al laboratorio como uno de biotecnología del petróleo, lo dota de especificidad diferenciándolo de los laboratorios químicos, por ejemplo, o de aquellos en dónde los técnicos pasan muestras por distintos aparatos.

Los objetos encontrados en este laboratorio, por su parte, caen, en efecto, en las categorizaciones propuestas por la teoría, intersectando a veces dos o más conceptos, compartiendo límites unos con otros, por ejemplo, los registros en la bitácora de cierto fenómeno observado pueden al mismo tiempo ser objetos de inscripción, móviles inmutables e intermedios, al cumplir con las condiciones de servir para artículos, movilizar saberes que almacenados y ensamblados ofrecen otro punto de vista y circular entre la red de actores.

Ahora, se presenta otra tabla con el resultado de la interacción entre el investigador y el instrumental antes descrito sobre el microorganismo, es decir, el proceso de creación del producto tecnocientífico. Aquí se encuentra, también, a muy grandes rasgos el núcleo del trabajo de los investigadores por estabilizar un objeto que mejore la recuperación de hidrocarburo y es en donde se encuentra desplegada la actuación científica de este equipo a su máxima expresión.

TABLA III. Resultado de la interacción entre los investigadores y los objetos sobre el microorganismo.

Investigador	Microorganismo
Jefe de proyecto	Es proyectado con ciertos atributos para recuperar hidrocarburo. Es traído al laboratorio y gestionado al interior del IMP y al exterior, en Pemex.
Experimentales	
Investigador A	Lo cultiva, reproduce, cuida, alimenta y lo hace crecer. Hace distintas pruebas para determinar y comprobar si ha comido y qué y en qué medio crece mejor.
Investigador B	Propone y diseña las pruebas a las que lo someten. Evalúa su resultado en la tensión superficial y sobre el sistema roca – fluido.
Investigador C	Lo observa a distintas resoluciones, bajo distintas luces en distintos microscopios y con distintas tinciones ¹⁶ . Analiza en qué medio crece más.
Investigador D	Evalúa su desempeño. Caracteriza sus propiedades físico – químicas.
Investigador E	Lo cultiva, reproduce, cuida, alimenta y lo hace crecer. Hace distintas pruebas para determinar y comprobar si ha comido y qué y en que medio crece mejor.
Investigador F	Lo prueba. Mide sus reacciones ante el sistema roca - fluido en distintas cantidades y condiciones.
Teóricos	Lo ven, manipulan y modelan a escala atómica. Adaptan y estabilizan sus propiedades fisicoquímicas.

Es así que la acción conjunta de los recursos humanos y técnicos abona a la creación de una caja negra, un bioproducto, que, al mismo tiempo, caracteriza ontológicamente al laboratorio en una especialización que se ha dado en llamar biotecnología del petróleo, a las personas y objetos que entran en contacto entre sí.

¹⁶ Tinción o coloración es una técnica utilizada en microscopía para mejorar el contraste en la imagen vista al microscopio.

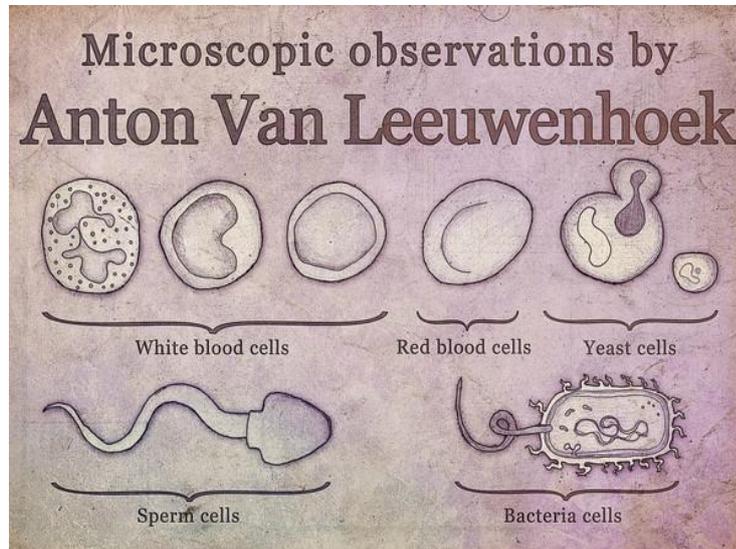
Aparte de lo anterior, todos, en un punto dado, paran sus actividades y se sientan para leer, hacer gráficas, interpretarlas, hacer artículos y sus informes mensuales, trimestrales y semestrales (que deben entregar al IMP) y estar al pendiente de los congresos, sus requisitos y el arreglo de transporte, estancia y la tramitología implicada.

Cabe mencionar que durante el proyecto, como se mencionó, distintos investigadores se agregan y se desagregan en algún punto. Aquí, la entrada al equipo de tres personas sirve para ilustrar la medida en que un investigador es tal hasta que su acción se coordina con el instrumental. En este caso, se atestiguó la llegada de un estudiante de doctorado cuyo propósito era retar, -con un conjunto de emulsiones que llevaba- aquella máxima de que el agua y el aceite no se mezclan. Provenía de una universidad del interior de la república y se quedó una semana con un plan de trabajo meticulosamente diseñado para aprovechar al máximo la existencia de ciertos instrumentos que no tenía a la mano en su escuela, específicamente, una máquina de dispersión de alto rendimiento, que gira a 3000 revoluciones por minuto y el reómetro, que sirve para medir la viscosidad. Al final, fue gracias al primer instrumento que logró estabilizar –en este caso, hacer homogénea- una muestra con petróleo y agua, es decir, ya no quedaron en dos fases separadas.

El cuerpo teórico sobre los objetos en el trabajo científico ya es robusto. En este caso, lo que resulta interesante es la observación de las formas imprevistas en que la teoría se manifiesta empíricamente, y que aquí, configuraron dos jóvenes oriundos de la sierra de Guerrero que viajaron al IMP para hacer sus prácticas profesionales. Conocidos genéricamente al interior del equipo como “los niños”, impactaron positivamente a sus compañeros por la voluntad de llegar, estar y cumplir con una semana de trámites para ingresar. Si bien, al parecer, se dudaba de su desempeño en un principio, en el transcurso de su estancia, el jefe de proyecto se mostró muy satisfecho. Ellos por su parte, tuvieron que adaptarse y transformarse en algo nuevo y distinto de lo que antes eran, ya que, según dijeron, en su escuela no existía ningún tipo de instrumento, del más básico al más sofisticado. Los conocían sólo teóricamente y no habían experimentado con ninguno. Así, las dos primeras semanas las dedicaron a descubrir los

instrumentos y su utilidad. Su interacción con los instrumentos los transformó, dotándolos de nuevas habilidades y capacidades de acción.

IV.IX VER



Tomado de: www.behance.net

Anton Van Leeuwenhoek (1632-1723) fue un holandés, comerciante de telas que, en aras de observar mejor la calidad de las mismas, aprendió soplado y pulido de vidrio y construyó diversos lentes, y posteriormente microscopios, bajo los cuales se dispuso a observar todo lo que se le atravesó: bichos, escamas, plumas, pelo, esperma, hojas, cristales, pólvora, madera, metales, etc. Vio bacterias y microorganismos y fue el primero en ver al espermatozoide en 1678. De acuerdo con Gilbert (2005:198) Leeuwenhoek “creyó en primer lugar, que ellos eran animales parásitos que vivían en el semen, (de ahí el término *espermatozoide*, cuyo significado es “animales de esperma”). Él originalmente asumió que ellos no tenían nada que ver con la reproducción del organismo en que fueron encontrados, pero más tarde comenzó a creer que cada espermatozoide tenía un embrión preformado. (...) Hasta 1876 Oscar Hertwig y Herman Fol demostraron de manera independiente que el espermatozoide entraba al gameto femenino y que se producía la unión de los dos núcleos celulares”. Es decir, pasaron casi 200 años para que se resolviera el enigma de la fecundación, en un debate largo que tuvo muchos momentos, argumentos y postulantes, pero Leeuwenhoek tuvo el mérito de ser el primero en ver. A partir de ello, nada podía permanecer como antes.

Visto y escuchado durante el trabajo de campo:

I.

-“¿Por qué este (experimento) no lo haces en un frasco serológico, como los demás?”

-Porque en caja Petri puedo ver el desplazamiento de hidrocarburo que hace el producto”.

II.

“Doctor: quiero ver correr tu experimento”.

III.

“¿Importa o no importa lo que se puede ver? ¿Qué aporta el confocal para ver y caracterizar un fenómeno?”

IV.

“Cada tinción te permite ver cosas diferentes: por ejemplo, el rojo de Nilo te permite ver ADN y ARN”.

V.

“(Un laboratorio) Me entrega los resultados, pero no me dejan ver cómo hacen la prueba... no tiene caso”.

VI.

“La siguiente etapa consistirá en la observación experimental del desplazamiento de aceite de campo por el microorganismo. Después, vamos a videograbar las corridas experimentales, capturar imágenes en función del tiempo de inyección del surfactante para estimar su saturación por tiempo muestreado”.

La hormiga tomó la bola con sus dos patas delanteras, la alzó del áfido, y la sostuvo. ¡A esa escala el mundo es tan diferente que se puede coger agua y sostenerla!

Richard Feynman (1985:56)

Parafraseando a Hesse, si para nacer hay que romper un mundo, para crear uno nuevo hay que verlo, hay que prefigurarlo. Dentro del mundo de objetos existentes en el laboratorio, los que sirven para producir alguna forma de visualización se hicieron omnipresentes en este caso, a distintas escalas, pero sobre todo, en el trabajo a escala molecular. De acuerdo con Fogelberg y Glimell (2003:96- 97) “parece existir entre los científicos, la sólida creencia de que la verdadera existencia de la nanotecnología recae en sus instrumentos, especialmente, los de visualización”. Ser visto es pues, existir, no solo en el sentido puramente sensualista del término, sino también, en la larga construcción dentro de una cultura epistémica que subyace a la mirada. Nótese, también, en la cita, la tríada científicos – instrumentos – visualización.

En efecto, en este equipo de investigación la preeminencia de la parte visual abarca, al menos, dos dimensiones imbricadas: una simple, relativa al sentido de la vista y que permite la verificación continua y otra que implica la movilización e incorporación del conocimiento de cada uno de los integrantes del equipo para crear una representación de lo que ocurre con el sistema roca- fluido y con el bioproducto a diferentes escalas, que interactúa y se conecta a formas locales específicas, como el sistema roca - fluido proveniente del Paleocanal de Chicontepec.

En este caso, los investigadores emplean, a muy grandes rasgos, tres escalas de visión, a saber: 1) a ojo (humano); 2) de laboratorio (microscopía) y 3) atómica y molecular (software). Entre una y otra escala existen también aparatos que permiten una visibilidad intermedia (mesoscopía), o dotados de un tipo de luz o enfoque especial para distintos propósitos. Conviene mencionarlo porque su trabajo está cruzado por todas las escalas de representación, ya sea que verifiquen el desplazamiento de hidrocarburo a ojo humano, o que manipulen interacciones moleculares a escala atómica. Tampoco hay que olvidar que la palabra microbio es definida por la Real Academia de la lengua Española como el “nombre genérico que designa a los seres organizados solo visibles al

microscopio”¹⁷ definición que remarca la asociación fundamental entre la visualización y los instrumentos, como el microscopio, para caracterizar, en este caso, una forma de vida. No estamos diciendo que los microorganismos no existan independientemente de los instrumentos, sino que su ser y estar, y con el de ellos, el nuestro, adquieren otra dimensión cuando pasan por un objeto de visualización, como el microscopio.

En la siguiente tabla se presenta a grandes rasgos las escalas de visión utilizadas por los científicos, y qué es lo que cada una de ellas permite caracterizar. Aquí, la escala atómica está revestida de gran importancia, por cuanto todo está compuesto por átomos, que interactúan unos con otros atrayéndose o rechazándose, conformando las propiedades físico – químicas de la materia, y dando paso a la organización de sistemas complejos y lo que los investigadores buscan hacer aquí, es, en gran medida, modificar la manera en que los átomos se atraen o repelen para configurar y dar forma, en este caso, al microorganismo.

Tabla IV. Escalas de visión y caracterización de fenómenos.

ESCALA	PARA CARACTERIZAR
Átomos – moléculas	Composición atómica y propiedades físico – químicas de la materia.
Laboratorio	La vida, los microorganismos.
Ojo humano	Efectos en el sistema roca – fluido

IV.X REPRESENTACIÓN Y PAPELES - TRADUCTORES

La imagen que los investigadores buscan estabilizar, es una en donde el aceite fluye hacia la superficie de forma limpia y eficiente. Para lograrla, la abordan desde varias disciplinas, como si cada uno tuviese una pieza de un rompecabezas, en donde también, ha de contemplarse cómo embonan unas piezas con otras, o cómo los conceptos se traducen de tal manera que sean aprehendidos por todos, para después ser movilizados en beneficio del proyecto y de la forma particular de construcción de conocimiento que realizan.

Pero ¿qué pasa en una reunión en dónde cada uno de los integrantes proviene de distintas especialidades y posee una cosmovisión propia, que es su punto de partida, pero que por sí misma no alcanza para abarcar todo el fenómeno de la

¹⁷ En: <http://buscon.rae.es/drae/srv/search?val=microbios>

recuperación de hidrocarburo y necesita establecer un diálogo con quienes pueden contribuir a la construcción de ese conocimiento?

¿Qué sucede cuando cada integrante posee distintas bases conceptuales constituyentes de un idioma particular, que se expresan en formas de aplicación del conocimiento diferenciadas entre especialidades? Es como una suerte de torre de Babel en donde cada quien habla un idioma distinto, pero a diferencia de aquella, en este caso debe de existir forzosamente el entendimiento.

Por ello, además de las discusiones, los actores recurren a cada momento a objetos que les faciliten este proceso, en forma de textos que circulan por la red, como documentos, pizarrones y hojas de papel. Ocurre como dice Vinck: (2009/1:56) “El objeto intermedio está encargado por sus actores de vehicular fragmentos de una naturaleza a propósito de la cual el conocimiento está en proceso de construcción”.

Siguiendo en el marco de los objetos intermedios, Vinck (1999: 405) también dice que “los intercambios de papeles son el operador de la puesta en coherencia y de coordinación más extendidos. Participan en la construcción de redes tanto como manifiestan su existencia (...) Esta organización material es investida por los actores porque crea las condiciones de posibilidad de un trabajo científico cooperativo: opera sobre la visibilidad y el desempeño de la red. La entrada por los objetos subraya esas modestas dimensiones tradicionales del intercambio y la colaboración”.

En efecto, en un número importante de eventos ocurridos durante la acción situada de este equipo de trabajo, se pudo constatar que la visualización es un acto fundamental, que intersecta a todos los objetos descritos por la teoría, es decir, se encontraron objetos frontera, intermedios, de inscripción, cuasi objetos, y móviles mutables y combinables que, al mismo tiempo, cumplían la función de proyectar una determinada representación visual.

Así, muchos de los instrumentos que existen para que el equipo trabaje sirven para proyectar una forma específica de visualización. Para ver, por supuesto, hay que estar entrenado para ello y para ofrecer una interpretación razonable de lo

que se ve. No ven igual los químicos que los biólogos, o éstos que los físicos, ni los fenómenos se ven igual en las distintas escalas de trabajo.

Durante el trabajo de campo también se pudo constatar que en efecto, al menos para este proyecto, lo que se ve no solo importa, sino que en ciertos momentos es decisivo para la toma de decisiones, el esbozo y planteamiento de ideas, la formulación y reformulación de hipótesis, la producción del trabajo en sí mismo abordado teórica o experimentalmente, las conclusiones a las que permite llegar, la comprensión interdisciplinaria, la construcción de nuevos objetos, la caracterización de fenómenos, estructuras y procesos y la corroboración o refutación de hipótesis.

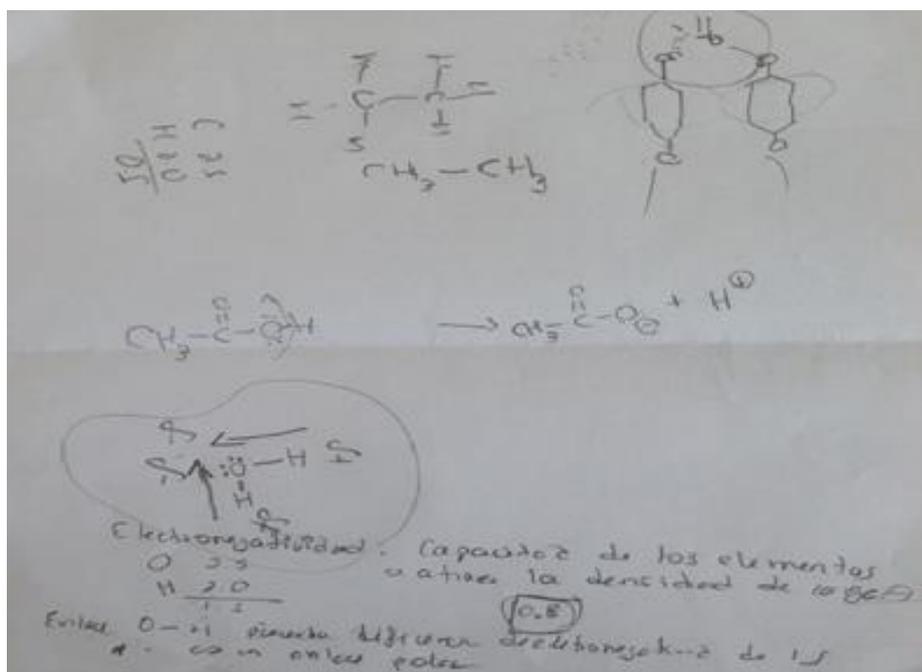
El entendimiento interdisciplinario ocurre a través de la traducción de cosmovisiones y también, de la manera de ver que dichas cosmovisiones (o áreas en las que se subdivide el conocimiento, química, física y biología especialmente para este caso) estructuran y forman. Esta traducción requiere, primero, fijar el concepto que se desea socializar y operar una traducción desde la química, por ejemplo, a un nivel comprensible para todos. El soporte de dicha traducción siempre fue un papel en el que se plasmaba un concepto determinado con su explicación y se hacía circular por el colectivo. Los llamaremos en adelante papeles – traductores.

Como los conceptos se manifiestan en las tres escalas de visión definidas anteriormente, llega un momento en que para fijar y compartir un concepto se hace necesaria hacer una representación visual, y ello ocurre en este caso a través de representaciones traductoras fijadas en el papel antes mencionado, que circula por el colectivo de investigadores. A veces, también, son fijadas en el pizarrón, pero recordemos que este objeto solo se encuentra en las oficinas, y el papel se encuentra presente en todas las sedes y puede desplazarse como el móvil mutable de Latour. Es decir, la traducción entre pares ocurre en dos niveles: entre disciplinas y entre escalas, y puede apreciarse, por ejemplo, en la coexistencia, en un mismo papel, de representaciones de átomos, de microbios y de yacimientos petroleros.

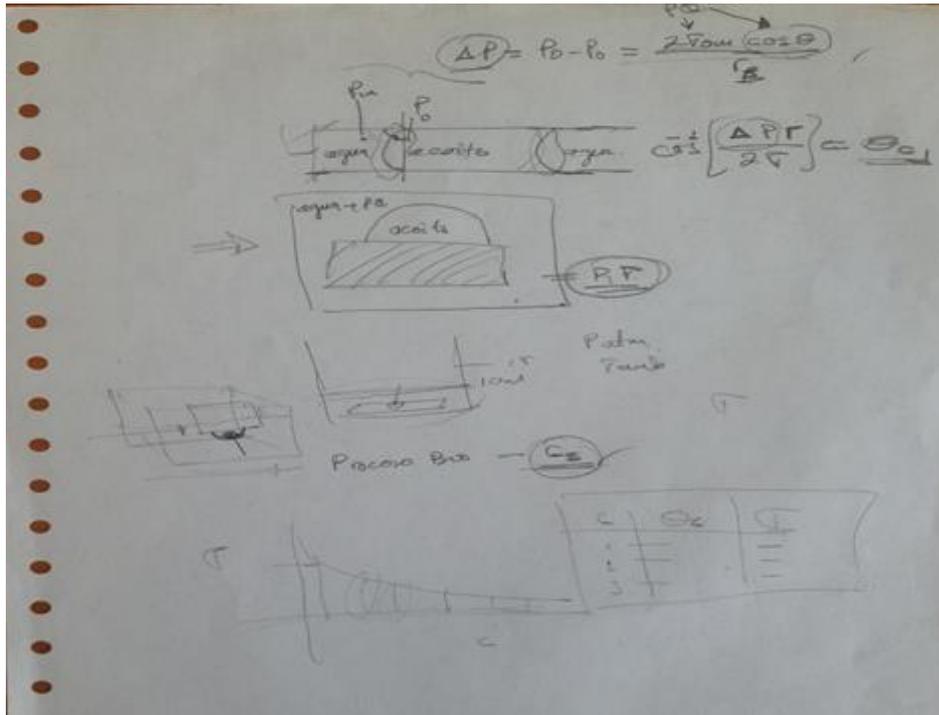
Es así que el vehículo de la traducción interdisciplinaria, en este caso, fue un papel en dónde se plasma una representación de lo que se pretende traducir.

Este papel se encuentra en el núcleo de los objetos que la teoría definió previamente, ya que los intersecta a todos. En él, se exponía el concepto que se quería hacer traducible a los compañeros de equipo, al tiempo que se explicaban sus propiedades y funciones en un lenguaje que iba de menor a mayor complejidad. También, la representación descubría la ocurrencia de fenómenos a una escala invisible al ojo humano, lo que permitía fijar el concepto en la mente de los demás, avanzando en la construcción colectiva del conocimiento.

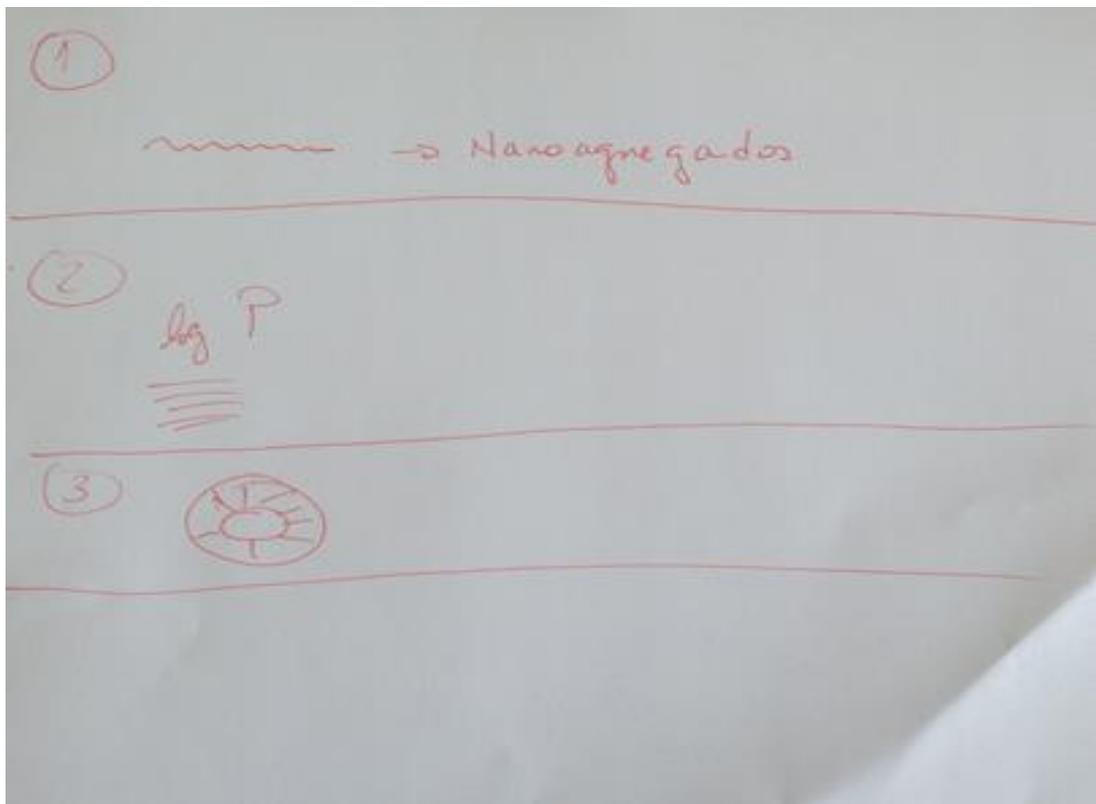
Así, durante el trabajo de campo, todas, el 100% de las veces que se presencié una discusión, un intercambio de ideas, o una planificación del trabajo –sin importar la sede ni el rol- los investigadores llegaban a un punto en el que pedían una hoja de papel, o bien, la sacaban ellos mismos de algún lado, y en ella hacían un dibujo para, según ellos, volver un concepto de su disciplina accesible a los demás, como se puede ver en las siguiente evidencia empírica recolectada durante el trabajo de campo:



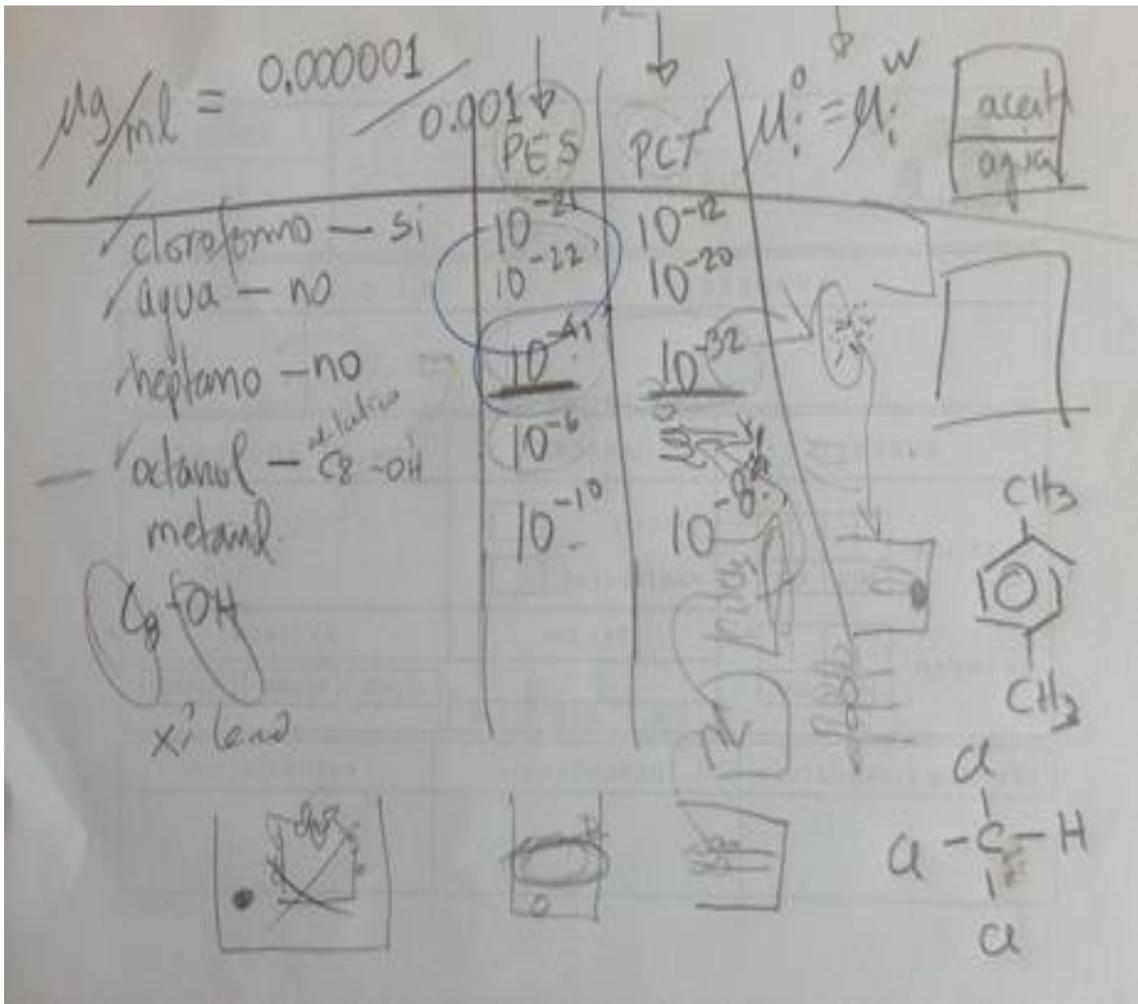
Papel-traductor I. Comprensión de conceptos y mecanismos.



Papel-traductor II: Comprensión de conceptos y mecanismos.



Papel - traductor III. Integración del trabajo para generar artículos.



Papel – traductor IV. Planeación del trabajo.

Es así que este papel permite el diálogo, la traducción y entendimiento entre científicos teóricos y experimentales provenientes de distintas disciplinas y se pudo encontrar durante todo el proceso de su trabajo. Las explicaciones, acompañadas de representaciones fijadas en un papel se constituyeron como un actor fundamental en la construcción colectiva de conocimiento, aunque el papel - traductor, normalmente conoce dos fines: o termina hecho bola en el bote de la basura, una vez que ha cumplido su función, o a veces, se conserva pegado en la bitácora del investigador, si éste es ordenado y no acumula cientos de papelitos en distintos lugares.

Ahora bien, el papel – traductor debe entenderse como un objeto intermedio producto de una determinada cultura epistémica. Aquí, estoy distinguiendo las distintas disciplinas de donde provienen los investigadores, de lo que están creando al hacer interactuar ciertas partes de su conocimiento y no otras, con las de sus colegas, con el fin de recuperar hidrocarburo en Chicontepec. Es en este marco en donde tales objetos encuentran sentido, de lo contrario, serían meros jeroglíficos ininteligibles para quien no comparte esta cultura y su lenguaje. También, el papel – traductor obtiene esta capacidad en el momento en que aparece, solo cuando se conjuga con la explicación verbal y el apoyo previo y posterior de la bibliografía, sin estos dos elementos, aun perteneciendo a la cultura epistémica, no cumplen la función de traducir, quizá lo hagan en cierta medida, pero no en la adecuada para darle continuidad al trabajo, sino solo para desplegar conceptos de forma muy general.

Recapitulando, este objeto incorpora: una cultura epistémica, conocimiento de distintas disciplinas, escalas de visión, textos y transmisión oral del conocimiento. Se abona a la cultura material; moviliza y expone conceptos, mecanismos, y entidades variados, tales como agrupaciones de átomos y moléculas, microorganismos y yacimientos fracturados; facilita con su circulación el entendimiento, la cooperación y el trabajo al interior de una red de actores heterogéneos y permite compartir y fijar el conocimiento inter y transdisciplinario.

Para concluir, dado que partimos de la premisa de que las construcciones de laboratorio producen desplazamientos o traducciones en distintos ámbitos, se presenta en la siguiente tabla una matriz de datos que expone los desplazamientos derivados de las distintas interacciones entre los actores identificados como más relevantes en este proyecto, a saber: 1) el microorganismo, 2) el equipo, 3) los investigadores, 4) sus disciplinas, 5) el IMP y 6) la industria petrolera. Las intersecciones se leen como el desplazamiento producido por la categoría contenida en la fila, sobre la categoría contenida en la columna.

MATRIZ DE DESPLAZAMIENTOS POR INTERACCIÓN Y REDEFINICIÓN DE IDENTIDADES.

	Microorganismo	Equipo	Investigadores	Disciplinas	IMP	Industria Petrolera
Microorganismo	Aparece de entre los distintos microorganismos uno nuevo, capaz de mejorar el flujo de fluidos, resistiendo alta presión, temperatura y salinidad.	Provee nuevas posibilidades de uso y confirma las existentes.	Amplían sus marcos epistémicos y analíticos al introducir al microorganismo en ellos.	Se coloca como susceptible de ser abordado por otras disciplinas, crea mezclas entre ellas, las intersecta, como la bioquímica.	Legitimación como centro público de investigación y de desarrollo científico y tecnológico. Es patentado.	Se fortalece. Recupera hidrocarburo.
Equipo / objetos/ instrumentos	Lo transforma en una entidad nueva.	Se valida entre otros existentes.	Los equipa. Los habilita en el uso de equipo y materiales. Adquieren nuevos conocimientos y habilidades. Construyen un laboratorio.	Derivan de ellas, las confirma en sus supuestos creando nuevos objetos.	Se hace de un capital tecnológico con el que puede construir alianzas.	Abre y posibilita vías de uso y apropiación
Investigadores	Lo someten a pruebas de resistencia transformándolo en algo distinto de lo que era, haciéndolo capaz de recuperar hidrocarburo.	Lo investigan, adquieren, adecuan, transforman y crean según sus objetivos.	Se afirman frente a otros grupos de investigadores al interior y exterior del IMP. Hacen artículos y patentes.	Las transforman, las mezclan, las dotan de nuevos objetos de investigación. Amplían sus límites, a la vez que los hace difusos, por cuanto su desarrollo requiere un análisis a escala atómica, donde las disciplinas más bien convergen.	Lo fortalecen.	Habilitan a los microorganismos como vías eficientes y limpias para la recuperación de hidrocarburo

Lo que sucede es que el laboratorio es el locus de un cruce de caminos. Cruce de caminos, en este caso, entre los investigadores, una serie de objetos y un microorganismo y por efecto de esta interacción nada puede volver a ser como antes, se producen nuevos mundos, tal como cuándo un día, Leeuwenhoek, armado con uno de sus microscopios, vio un espermatozoide.

Recapitulando, se ha abordado al laboratorio en sus dimensiones teóricas y empíricas. Se siguió su trayectoria y se descubrió una forma de apropiación del espacio particular, derivado del hecho de que su formación es el resultado de una construcción colectiva y de la composición demográfica de los y las integrantes de la parte experimental -que son quienes trabajan en el laboratorio- encontrándose que, en el momento en que se hizo el trabajo de campo, predominaban los jóvenes y las mujeres eran mayoría. Ello no es estable, dado que se agregan y desagregan investigadores en las distintas etapas del proyecto. También, se dio cuenta de que el equipo socializa solo endógenamente, debido al plagio de ideas –potencial, real o figurado- que existía en el IMP.

También se establecieron las identidades, roles, funciones, instrumentos y sedes adscritos a cada investigador, pudiendo desagregarlos en tres grandes categorías, a saber: 1) teóricos, 2) experimentales y 3) el jefe de proyecto. Se describió su interrelación y también, el contenido y desarrollo de una discusión teórica hasta que llegó el punto necesario de identificar al microorganismo como un actor central, por tanto se encuentra en un nodo de aquella red de actores heterogéneos cuyo objetivo es la recuperación de hidrocarburo.

Posteriormente, se hizo una revisión teórica y un acercamiento empírico al mundo de objetos de que se pertrechan los investigadores. Ello impuso el despliegue paralelo de un ensayo de sociología visual para dar cuenta de forma más clara del paisaje cotidiano, las sedes del proyecto, como la oficina y el laboratorio, el trabajo que ahí se realiza y su correspondiente saturación de objetos y su utilidad. Posteriormente, se expuso el resultado de la interacción entre investigadores y objetos sobre el microorganismo.

Finalmente, se estableció la preponderancia del acto de ver a distintas escalas y con distintos instrumentos y se conoció el mecanismo por el cual se opera la

cooperación, la traducción y el entendimiento entre grupos de investigadores provenientes de distintas áreas del conocimiento, es decir, objetos varios como textos, el pizarrón y los papeles – traductores y se establecieron algunos de los desplazamientos resultantes de la interacción entre los principales actores.

CONCLUSIONES

Este trabajo se propuso como objetivo general hacer un análisis y descripción de las condiciones que posibilitan la investigación y el desarrollo científico y tecnológico en un centro público de investigación dedicado a apoyar a la industria petrolera, identificando los actores y escenarios intervinientes en éste y cómo se articulan para generar conocimiento y tecnología en un proyecto dirigido a mejorar el flujo de fluidos del hidrocarburo.

Al momento en que estas líneas son escritas, rigen unas leyes y prácticas que pronto se verán modificadas en virtud de la entrada en vigor de la “reforma energética”, por ello, sin proponérselo, un aporte de este trabajo puede ser el que expone un ejemplo particular de saber / hacer ciencia en México, bajo un régimen pronto a desaparecer¹⁸. Las tensiones e incertidumbres que la transición generó quedaron, no obstante, descritas en el entreacto situacional I.

Para llevar a cabo dicha empresa se partió de la premisa teórica de que las producciones tecnocientíficas se encuentran en el núcleo de una red de actores heterogéneos, (teoría del actor – red). Por ello, en el primer capítulo, se identificaron cuáles son los actores que intervienen en este proceso de producción, y las cadenas de traducción de intereses subyacentes al petróleo y su recuperación.

Se hizo un corte analítico que nos llevó a establecer, primero, la existencia de petróleo en suelo nacional expropiado a compañías extranjeras el 18 de marzo de 1938 por el entonces Presidente Lázaro Cárdenas del Río, y lo que de ello se derivó, es decir, el forzoso nacimiento de una industria petrolera que delegó su conducción en Pemex y que posteriormente, creó al IMP para desarrollar investigación científica y tecnológica en este sector, dos actores centrales de entre las entidades gubernamentales.

¹⁸ Véase, por ejemplo, la siguiente nota: “¿Desaparecerá el Instituto Mexicano del Petróleo?” en: <http://www.jornada.unam.mx/2014/06/17/opinion/a16a1cie>

Otros organismos encargados del sector energético son: la Comisión Nacional de Hidrocarburos -que en estos momentos tiene un rol más bien discreto, y que a partir de la “reforma energética” tendrá un papel preponderante-, la Secretaría de Energía, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y el Congreso de la Unión.

Posteriormente se buscó analizar al petróleo en sí mismo y su traducción a la dimensión económica y financiera nacional, dibujándose la siguiente problemática:

- Una alta dependencia de la federación en los ingresos derivados del petróleo.
- Una caída en la producción de hidrocarburo.
- El declive de las reservas 3P (probadas, probables y posibles).
- El agotamiento de yacimientos, sobre todo, del más productivo: Cantarell.

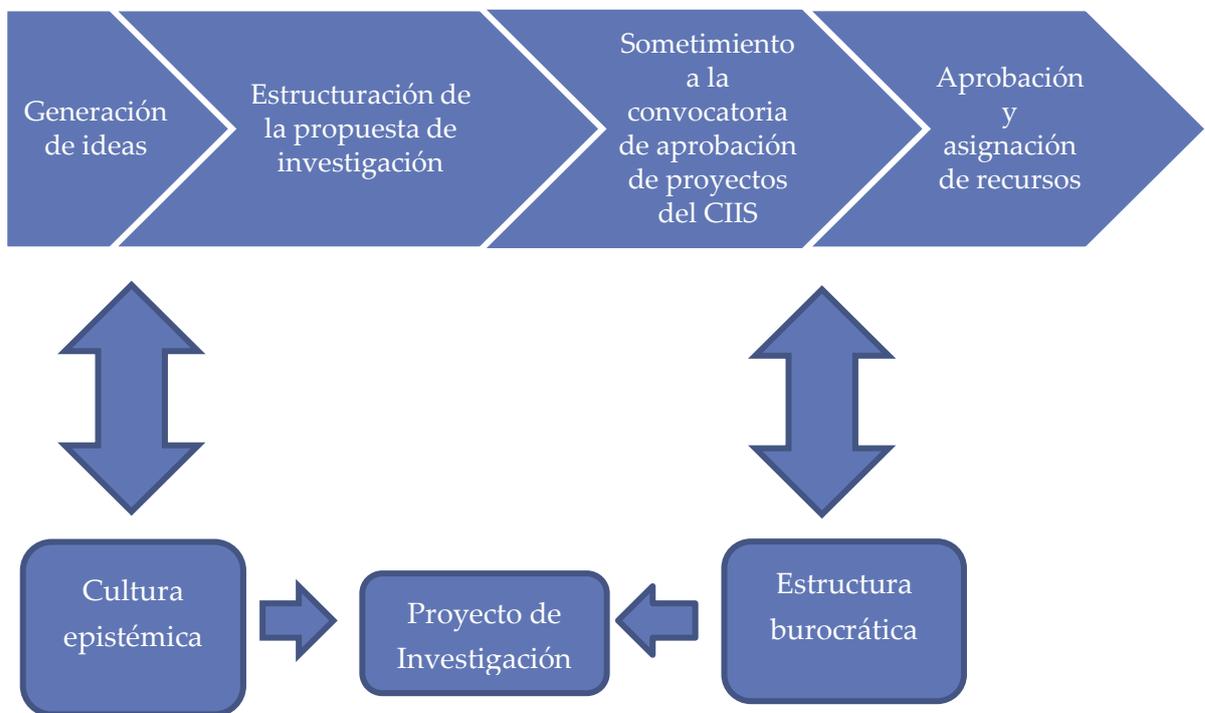
A continuación, en el segundo capítulo, para identificar las respuestas que desde la ciencia y la tecnología se ofrecen a este escenario, nos adentramos en la forma en que el petróleo es abordado desde la dimensión de la producción en la industria petrolera, indagando que la recuperación de hidrocarburo conoce tres fases: primaria, secundaria y terciaria, así como las técnicas y el porcentaje de recuperación correspondientes a cada etapa, descubriendo que una vez agotadas las dos primeras, queda un remanente de aceite en el yacimiento del orden del 70 e incluso del 80 por ciento de la producción.

Dentro de la última etapa, correspondiente a la recuperación terciaria y/ o mejorada hicimos una revisión bibliográfica, -cuya comprensión se alcanzó realmente en el trabajo de campo-, de los métodos IOR – EOR (Improved / Enhanced Oil Recovery, en español recuperación mejorada de hidrocarburo) y el volumen de aceite factible de recuperar por estos procesos, dentro de cuyos métodos se encuentra la emergente propuesta de recuperación vía bacteriana, (MEOR o Microbial Enhanced Oil Recovery) a aplicarse, en este caso, en el paleocanal de Chicontepec, en donde existen gran cantidad de campos

maduros (*brown fields*), que aun contienen un alto volumen de aceite remanente después de las dos primeras fases de extracción.

Posteriormente, en el tercer capítulo, se abordó la creación de un proyecto basado en la recuperación vía bacteriana al interior del IMP y las fases que hubo de pasar para llevarse al plano de la realidad. En esta etapa, de precondiciones que posibilitan el despliegue del proyecto, encontramos la siguiente trayectoria y dos estructuras subyacentes: la pertenencia a una cultura epistémica y el ordenamiento burocrático.

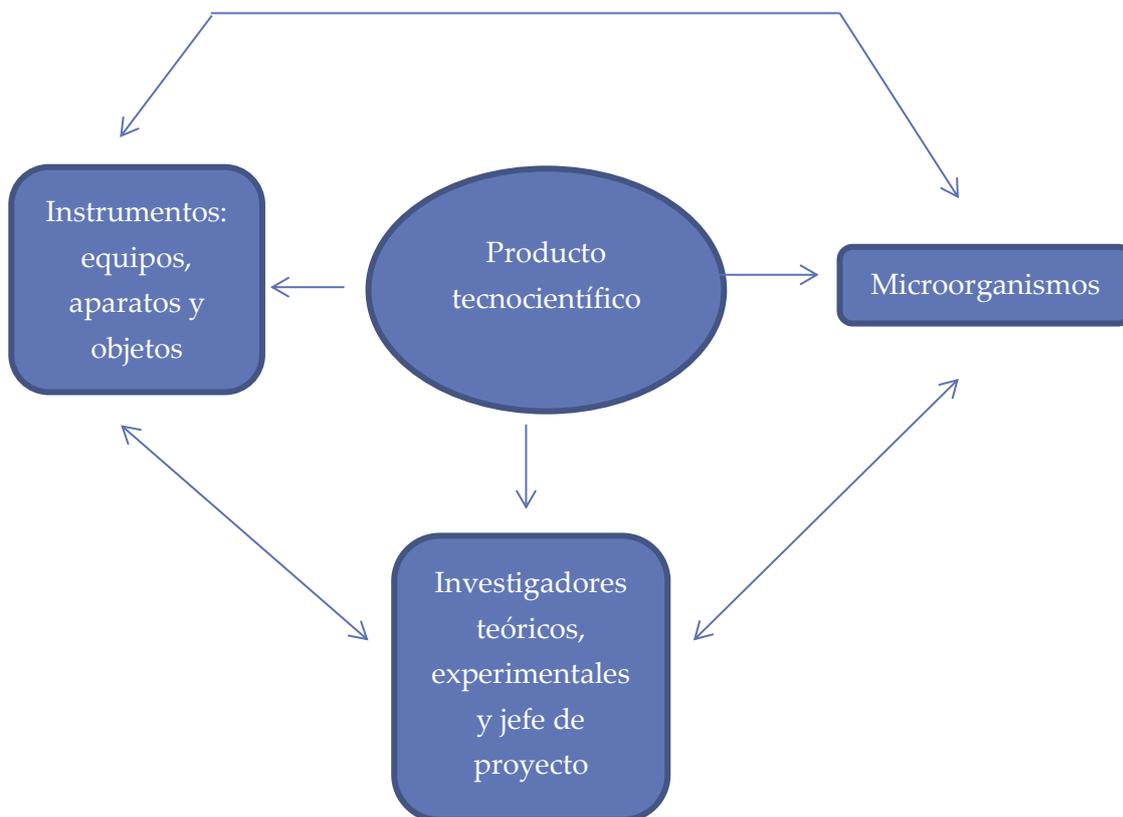
Trayectoria del proyecto en la fase previa al despliegue:



En efecto, se encontró que la generación de las ideas que dan cuerpo a un proyecto, son producidas y socializadas entre grupos de investigadores que provienen de distintas disciplinas, pero cuyo enfoque se centra en el petróleo, creando una cultura epistémica (Knorr- Cetina) subyacente a sus modos de acción y a sus prácticas concretas. La burocracia, a su vez, se estableció como un actor *sui generis* y paradójico, que al mismo tiempo que posibilita y norma la acción, le impone, en la práctica, innumerables obstáculos.

Una vez que el proyecto ha sido aprobado y con los recursos monetarios liberados, comienza la etapa de despliegue y con ella, la conformación del equipo de trabajo. En este caso, se pudo establecer que dicha formación pasa también por la cultura epistémica, es decir, por un corpus de conocimiento amplio y multidireccional de recursos humanos y no humanos, creado y socializado al interior de la red que conforman los investigadores, conocimiento que capitalizan y actualizan a cada momento.

La creación del producto tecnocientífico, a nivel del proyecto de trabajo al interior del IMP, teje una red cuyos actores principales, básicamente, son los siguientes, y que fijan sus identidades cada uno en función de los otros:



Posteriormente, en el cuarto capítulo, se abordó la dimensión empírica y la dinámica microsocial del trabajo de producción científica a través de una etnografía y para ello, primero se hizo una revisión teórica del concepto de laboratorio, sitio sede de la imbricación y transformación social y natural, siguiendo principalmente a Latour, Knorr- Cetina y Vinck.

Se advirtió que la formación del laboratorio obedecía a una construcción colectiva, lo que daba a sus habitantes un sentimiento de arraigo y pertenencia, y que la estructura demográfica de la población estaba compuesta en su mayoría por jóvenes y por mujeres, aunque esto puede variar, ya que en las distintas fases del proyecto se agregan y se desagregan investigadores. Se distinguió que la socialización es más bien endógena, o vertida hacia el interior del grupo, debido al temor al plagio de ideas en el IMP. También, se advirtió que el grupo se puede descomponer en subgrupos, a saber: el teórico, el experimental y el jefe de proyecto y a cada uno corresponde una sede: la oficina o el laboratorio, unas funciones (modelar, gestionar, articular y experimentar) y unos instrumentos de trabajo acordes.

En la parte de discusión teórica, se encontró el siguiente modelo de desarrollo, interacción y articulación entre subgrupos:



El microorganismo se ha identificado como un actor estratégico que articula alrededor de sí la acción coordinada y conjunta de los instrumentos, equipo e investigadores, que conforma y transforma la realidad a su paso. Llega al laboratorio también, abriéndose camino entre la burocracia y pasando por el

crisol de la cultura epistémica, que es donde se define qué tipo de microorganismo es el adecuado para la recuperación de hidrocarburo, conociéndolo por dos vías: 1) a través de la literatura y 2) a través de aislarlos de muestras de petróleo, por ello, provienen de dos fuentes: un banco ubicado en Japón y de los pozos petroleros de Chicontepec. En el momento en que se terminó el trabajo de campo, y para dicha de los investigadores concernidos en su producción, el microorganismo ya desplazaba hidrocarburo con eficiencia.

Los objetos son otro actor identificado como preeminente. Su existencia es capaz de abstraer el momento y lugar de su creación, al tiempo que se convierten en sostén de la realización de otros nuevos objetos. Tomarlos en cuenta se impone como necesario para dar cuenta de: 1) la acción situada del equipo de investigadores, 2) la localidad y especificidad del trabajo y 3) la caracterización ontológica del laboratorio. Para este caso concreto, el universo de objetos hallados expresa las tres líneas anteriores, a grandes rasgos, de la siguiente manera:

- Objetos para la reproducción del sistema roca – fluido: se encontraron muestras de núcleos de roca, petróleo de todos los tipos –ligero, mediano, pesado y extra pesado- y agua congénita de yacimiento.
- Interacción del sistema roca – fluido con el microorganismo: se encontraron instrumentos para su visualización, producción, reproducción, crecimiento y mantenimiento, así como otros que lo analizan a diferentes presiones, temperaturas y salinidad.
- Modelación y producción a escala atómica de las propiedades fisicoquímicas para que el microorganismo rompa la tensión interfacial entre el agua y el aceite y lo fluidifique facilitando su recuperación.
Objeto principal: software.

Se encontró que la trayectoria de equipamiento del laboratorio pasa por un estudio de factibilidad técnica y administrativa. Los objetos son analizados en función de sus propiedades y su relación con las hipótesis de trabajo del proyecto a través de la bibliografía, el internet, catálogos, con colegas y también con los proveedores, quienes, al ser un número reducido, son vehículo

de socialización del conocimiento de los distintos usos y aplicaciones dados a los objetos por investigadores de distintas disciplinas e instituciones.

El mundo de objetos encontrados al interior del laboratorio impuso la necesidad de un registro que mejorara la descripción y se propuso, entonces, realizar un ensayo de sociología visual, también, atendiendo el principio de simetría propuesto primero por Bloor (1976) y continuado por Latour (2005), es decir, si lo que se ve importa en las “ciencias duras” también es así para las ciencias sociales.

Posteriormente en el análisis de la interacción entre investigadores, objetos y el microorganismo se hizo una revisión bibliográfica de la conceptualización de los objetos, encontrando principalmente: el objeto- frontera (Leigh; Griesemer: 1989); los cuasi objetos (Serres) los objetos de inscripción: (Latour: 1983, 1992), los móviles inmutables: (Latour: 1992) los objetos intermedios (Vinck:1999) y la noción de equipamiento (Vinck:2006), todos, los cuales se encontraron en el proyecto de investigación.

En el trabajo de campo se encontraron diversos objetos, y se clasificaron de forma más básica, en seis categorías, a saber: 1) instrumentos de medición; 2) instrumentos de almacenamiento; 3) instrumentos de visualización; 4) instrumentos para experimentación; 5) muestras y 6) instrumentos para el microorganismo, en el caso del laboratorio. En el de las oficinas, la especificidad y diferenciación se encontraba, básicamente, en el software para modelado atómico, el pizarrón y el café para los investigadores teóricos, y en los catálogos e instrumentos de gestión, para el jefe de proyecto

Durante la etnografía se puso el lente en la interacción de los investigadores, los instrumentos y el microorganismo y lo que ello da como resultado, es decir, el proceso de creación del producto tecnocientífico. A continuación, se presenta la siguiente tabla para ilustrar cómo la acción y la secuencia de acciones, individual y conjunta, de los recursos humanos y técnicos, abonan a la creación de una caja negra, un bioproducto, que, al mismo tiempo, caracteriza ontológicamente al laboratorio en una especialización que se ha dado en llamar biotecnología del petróleo, a las personas y objetos que entran en contacto entre sí.

Resultado de la interacción entre los investigadores y los objetos sobre el microorganismo.

Investigador	Microorganismo
Jefe de proyecto	Es proyectado con ciertos atributos para recuperar hidrocarburo. Es traído al laboratorio y gestionado al interior del IMP y al exterior, en Pemex.
Experimentales	
Investigador A	Lo cultiva, reproduce, cuida, alimenta y lo hace crecer. Hace distintas pruebas para determinar y comprobar si ha comido y qué y en qué medio crece mejor.
Investigador B	Propone y diseña las pruebas a las que lo someten. Evalúa su resultado en la tensión superficial y sobre el sistema roca – fluido.
Investigador C	Lo observa a distintas resoluciones, bajo distintas luces en distintos microscopios y con distintas tinciones. Analiza en qué medio crece más.
Investigador D	Evalúa su desempeño. Caracteriza sus propiedades físico – químicas.
Investigador E.	Lo cultiva, reproduce, cuida, alimenta y lo hace crecer. Hace distintas pruebas para determinar y comprobar si ha comido y qué y en que medio crece mejor.
Investigador F.	Lo prueba. Mide sus reacciones ante el sistema roca - fluido en distintas cantidades y condiciones.
Teóricos	Lo ven, manipulan y modelan a escala atómica. Adaptan y estabilizan sus propiedades fisicoquímicas.

La noción de equipamiento de Vinck se comprobó ampliamente con tres investigadores que se vieron modificados ellos mismos, o alcanzaron sus objetivos de trabajo solo en el momento en que accedieron al instrumental y equipo.

También, se descubrió que ver es fundamental y abarca, al menos, dos dimensiones: una simple, relativa al sentido de la vista y que permite la verificación continúa y otra que implica la movilización e incorporación del conocimiento de cada uno de los integrantes del equipo, y de ello da cuenta la omnipresencia de los instrumentos que sirven para producir alguna forma de representación y visualización a distintas escalas, de entre las cuales se distinguieron principalmente tres: 1) a ojo (humano); 2) de laboratorio (microscopía) y 3) atómica y molecular (software). Entre una y otra escala existen también aparatos que permiten una visibilidad intermedia (mesoscopía).

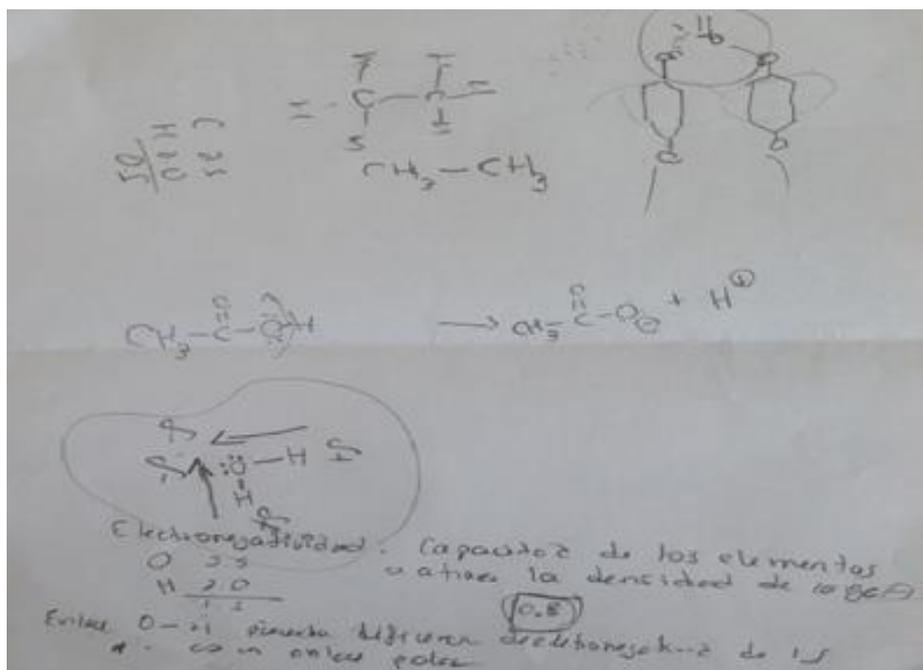
También se halló que el entendimiento entre los distintos investigadores de este equipo se producía en virtud del uso de objetos que circulan por el colectivo de investigadores, como textos, documentos, pizarrones y también, en buena parte, por un instrumento de visualización que se encuentra en la intersección de todos los objetos encontrados en la teoría, y que aquí denominamos papeles – traductores por ser, justamente, vehículos de la traducción entre pares que provienen de distintas disciplinas. Estos papeles – traductores aparecieron siempre y en todas las sedes, cuando un investigador necesitó explicar algo. La traducción entre pares ocurre en dos niveles: entre disciplinas y entre escalas.

En este vehículo de la traducción interdisciplinaria, se exponía el concepto que se quería hacer traducible a los compañeros de equipo, al tiempo que se explicaban sus propiedades y funciones en un lenguaje que iba de menor a mayor complejidad. También, la representación descubría la ocurrencia de fenómenos a una escala invisible al ojo humano, lo que permitía fijar el concepto en la mente de los demás, avanzando en la construcción colectiva del conocimiento.

El papel – traductor debe entenderse como un objeto intermedio producto de una determinada cultura epistémica. Es en este marco en donde tales objetos encuentran sentido. El papel – traductor obtiene esta capacidad cuando se conjuga con la explicación verbal y el apoyo previo y posterior de la bibliografía.

Este objeto incorpora: una cultura epistémica, conocimiento de distintas disciplinas, escalas de visión, textos y transmisión oral del conocimiento. Se

abona a la cultura material; moviliza y expone conceptos, mecanismos, y entidades variados, en este caso: agrupaciones de átomos y moléculas, microorganismos y yacimientos fracturados; facilita con su circulación el entendimiento, la cooperación y el trabajo al interior de una red de actores heterogéneos y permite compartir y fijar el conocimiento inter y transdisciplinario.



Ejemplo de papel - traductor. Comprensión de conceptos y mecanismos.

Para concluir, se presentó una matriz de datos que expone los desplazamientos derivados de las distintas interacciones entre los actores identificados como más relevantes en este proyecto, a saber: 1) el microorganismo, 2) el equipo, 3) los investigadores, 4) sus disciplinas, 5) el IMP y 6) la industria petrolera. Las intersecciones se leen como el desplazamiento producido por la categoría contenida en la fila, sobre la categoría contenida en la columna.

MATRIZ DE DESPLAZAMIENTOS POR INTERACCIÓN.

	Microorganismo	Equipo	Investigadores	Disciplinas	IMP	Industria Petrolera
Microorganismo	Aparece de entre los distintos microorganismos uno nuevo, capaz de mejorar el flujo de fluidos, resistiendo alta presión, temperatura y salinidad.	Provee nuevas posibilidades de uso y confirma las existentes.	Amplían sus marcos epistémicos y analíticos al introducir al microorganismo en ellos.	Se coloca como susceptible de ser abordado por otras disciplinas, crea mezclas entre ellas, las interseca, como la bioquímica.	Legitimación como centro público de investigación y de desarrollo científico y tecnológico. Es patentado.	Se fortalece. Recupera hidrocarburo.
Equipo / objetos/ instrumentos	Lo transforma en una entidad nueva.	Se valida entre otros existentes.	Los equipa. Los habilita en el uso de equipo y materiales. Adquieren nuevos conocimientos y habilidades. Construyen un laboratorio.	Derivan de ellas, las confirma en sus supuestos creando nuevos objetos.	Se hace de un capital tecnológico con el que puede construir alianzas.	Abre y posibilita vías de uso y apropiación
Investigadores	Lo someten a pruebas de resistencia transformándolo en algo distinto de lo que era, haciéndolo capaz de recuperar hidrocarburo.	Lo investigan, adquieren, adecuan, transforman y crean según sus objetivos.	Se afirman frente a otros grupos de investigadores al interior y exterior del IMP. Hacen artículos y patentes.	Las transforman, las mezclan, las dotan de nuevos objetos de investigación. Amplían sus límites, a la vez que los hace difusos, por cuanto su desarrollo requiere un análisis a escala atómica, donde las disciplinas más bien convergen.	Lo fortalecen.	Habilitan a los microorganismos como vías eficientes y limpias para la recuperación de hidrocarburo



ANEXOS

Anexo I. Guión etnográfico para el trabajo de campo:

Fecha:		Hora:	Lugar:	
1. Prácticas. Actor:		2. Ecología/ Organización.		3. Economía / Distribución de recursos.
Acción ¿Qué hace? Pruebas.	¿Cómo hace?	¿Para qué parte del proyecto lo hace? ¿Cómo se ensambla con otras partes?	Objetos intervinientes en la acción: ¿Con qué hacen? Procedencia.	
NOTAS:				

Anexo II. Guión de entrevista inicial al jefe de proyecto.

Fecha:

Hora:

Lugar:

- INICIO.
 - ¿De qué se trata el proyecto?
 - ¿Cuál es el punto de partida de este proyecto?
 - ¿Cómo se generaron la (s) idea(s) que dan forma al proyecto?
 - ¿En que difiere de los proyectos de las compañías de investigación del sector privado?

- PRESENTACIÓN, MARCOS INSTITUCIONALES. RECURSOS.
 - ¿Presenta esta investigación en el marco de alguna convocatoria institucional?
 - ¿Cuáles son los criterios de aprobación?
 - ¿Cómo es el proceso de aprobación?
 - ¿Cuándo es aprobado?
 - ¿Quién y cómo le asigna recursos?
 - ¿Qué instituciones intervienen? (Pemex, IMP, Sener, Conacyt, etc.) ¿Hay otros actores?

- RELACIÓN CON PEMEX
 - ¿Cómo y con quien se negocia en Pemex? ¿Quiénes intervinieron en estas negociaciones, introdujeron modificaciones para aceptarlo?
 - ¿De qué otra manera se relacionan con Pemex, cómo es esa relación?

- ENROLAMIENTO DE ACTORES, EQUIPAMIENTO.
 - ¿Cómo se enrolaron todas las personas que integran el proyecto? (proveedores, investigadores, servicios profesionales)
 - ¿Cómo son seleccionados?
 - ¿Cuántos son en total y cuáles son los roles asignados para cada uno en el proyecto?
 - ¿De qué áreas del conocimiento provienen?
 - Una vez que han aceptado el proyecto ¿cómo elige los instrumentos que debe adquirir de entre todo lo existente?

- LABORATORIO
 - ¿El laboratorio tiene reglas, cómo se gestiona su uso?
 - ¿De dónde y cómo obtienen las muestras?
 - ¿De acuerdo al diseño del proyecto en qué fase van?

-Agradecimiento y despedida.

BIBLIOGRAFIA

ALBORNOZ, Mario. (2007) Los problemas de la ciencia y el poder. *Revista CTS*, nº 8, vol. 3, p. 47-65. Argentina.

BLANCO, Mercedes. (1994) *Hacia una antropología de la burocracia*. Nueva antropología. Vol. XIV. No. 46, Septiembre, 1994, pp. 117-129. México. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=15904608>.

Consultado el 6 de junio de 2013.

BLOOR, David. (1976) *Knowledge and social imagery*. London: Routledge & Kegan Paul.

CALLON, M. (1986) <<Some elements of a sociology of translation: domestication of the scallops and the fishermen of St Brieuc Bay>> En J, Law, *Power, action and believe: a new sociology of knowledge?* London, Routledge. p. 196- 223. Disponible en:

https://bscw.uniwuppertal.de/pub/nj_bscw.cgi/d8022008/Callon_SociologyTranslation.pdf.

Consultado el 6 de junio de 2013.

COBEÑAS H, Rafael, I.T.B.A., STANLEY L. Hogg, VALDEZ ROJAS & HOGG S.A *Mejoramiento de la producción de petróleo mediante el uso de aplicaciones biotecnológicas*. Disponible en: http://www.inlab.com.ar/Bacterias_Petrotecnia.pdf

Consultado el 5 de marzo de 2013.

COMISIÓN NACIONAL DE HIDROCARBUROS (2012) *El futuro de la producción de aceite en México: Recuperación avanzada y mejorada IOR-EOR*. México. Disponible en: http://www.cnh.gob.mx/docs/IOR_EOR.pdf. Consultado el 5 de marzo de 2013.

--- (2010) *Proyecto Aceite Terciario del Golfo. Primera revisión y recomendaciones*. México. Disponible en: http://www.cnh.gob.mx/docs/ATG/ATG_primera_revision_8abril.pdf.

Consultado el 5 de marzo de 2013.

FEYNMAN R. (1985) *Surely you´ re jocking, Mr. Feynman*. U.E.A: Bantam books. Disponible en:

<http://sistemas.fciencias.unam.mx/~compcuantica/RICHARD%20P.%20FEYNMAN-SURELY%20YOU'RE%20JOKING%20MR.%20FEYNMAN.PDF>.

Consultado el 6 de marzo de 2013.

FOGELBERG Hans, GLIMELL Hans, (2003) *bringing visibility to the invisible: towards a social understanding of nanotechnology*, Göterborg, Göterborg University.

GARRIGUES (2000) *L´écriture photographique, essai de sociologie visuelle*. Paris: L'Harmattan.

GILBERT, Scott. (2005) *Biología del desarrollo*. Buenos Aires: Editorial médica panamericana. pp. 198.

GUAJARDO, Guillermo. (2004) "El papel del Instituto Mexicano del Petróleo en el cambio tecnológico de PEMEX: la búsqueda de un margen de maniobra en el subdesarrollo. 1965-1990". Disponible en:

<http://www.economia.unam.mx/amhe/memoria/simposio20/Guillermo%20GUAJARDO.pdf>.

Consultado el 6 de junio de 2013.

HARPER, D. (1988) <<Visual Sociology: Expanding Sociological Vision>> *The american sociologist*. Spring. p. 54 – 70. Disponible en:

<http://jan.ucc.nau.edu/~pms/cj355/readings/harper.pdf>

Consultado el 6 de marzo de 2013.

--- (2000) <<The image in sociology: histories and issues>> *Journal des anthropologues* p.80-81. Disponible en: <http://jda.revues.org/3182>

HOBBSAWM, E. (1998) *Historia del Siglo XX*. Buenos aires: Grijalbo Mondadori.

KNORR CETINA, Karin. (1999) *Epistemic cultures: how the sciences make knowledge*. E.U.A: Harvard University Press.

--- (2005) *La fabricación del conocimiento*. Argentina: Universidad Nacional de Quilmes Editorial.

KRAIMER, (2005) <<Introducción>>. En: Knorr-Cetina Karin. *La fabricación del conocimiento*. Argentina: Universidad Nacional de Quilmes Editorial.

LATOURE (1983) Dadme un laboratorio y moveré el mundo. Publicación original: "Give Me a Laboratory and I will Raise the World", en: K. Knorr-Cetina y M. Mulkay (eds.), *Science Observed: Perspectives on the Social Study of Science*, Londres: Sage. p. 141-170. Versión castellana de Marta I. González García. Disponible en:

http://www.brunolatoirenspanol.org/03_escritos_02_laboratorio.pdf.

Consultado el 6 de junio de 2013.

--- (1992) *Ciencia en acción. Como seguir a los científicos e ingenieros a través de la sociedad*. Barcelona: editorial Labor.

--- (2005) *Reensamblar lo social. Una introducción a la teoría del actor-red*. Argentina: Editorial manantial.

LATOURE, B. y WOOLGAR, S. (1995) *La vida en el laboratorio. La construcción de los hechos científicos*. Madrid: Alianza editorial.

LOUVEL, S. (2008) « Quel(s) recours à l'enquête ethnographique pour analyser la trajectoire d'une organisation ? Proposition de trois idéaux-types à partir d'un retour critique sur la littérature. », *ethnographiques.org*, Numéro 16 - juin 2008.

Disponible en: <http://www.ethnographiques.org/2008/Louvel.html>

Consultado el 6 de junio de 2013.

MERTON R. K. (1942) *La sociología de la ciencia*, vol. 2. Madrid: Alianza Editorial.

PEMEX (2012) *Pemex 75 años. La empresa, su gente y la economía mexicana*. México.

RIP, A. (1996) *La república de la ciencia en los años 90*. Madrid. Versión mimeografiada.

SALAGER, Jean- Louis. (2005). *Recuperación Mejorada del Petróleo*. Cuaderno FIRP N° S357C 2005. Venezuela. Universidad de Los Andes.

STAR L. S., GRIESEMER (1989) Institutional ecology, "Translations" and boundary objects: amateurs and professionals in Berkeley's museum of vertebrate zoology. *Social Studies of science* (19), p. 387-420.

STAR, L. S. (2010) Ceci n'est pas un objet – frontière! Reflexions sur l'origine d'un concept. En *Revue d'anthropologie des connaissances*, 2010/1 Vol. 4, N.1, p.18-35.

VINCK, Dominique. (1999 a) <<Les objets intermediaires dans les réseaux de coopération scientifique. Contributions à la prise en compte des objets dans les dynamiques sociales>>. *Revue française de sociologie*. XI, p.385-414.

--- (2006) <<L'équipement de chercheur: comme si la technique était déterminante>> *Ethnographiques.org*, Numéro 9 – Février. Disponible en: <http://ethnographiques.org/2006/vinck.html>.

Consultado el 6 de junio de 2013.

--- (2007) *Sciences et société. Sociologie du travail scientifique*. París: Armand Collins.

--- (2009) <<De l'objet intermédiaire à l'objet frontière. Vers la prise en compte de travail d'équipement>>. *Revue anthropologie des connaissances*. 2009/1 Vol. 3, n° 1, p.51-72.

WEBER, Max. (1984) *Economía y sociedad*. México: FCE.

TESIS:

Sánchez Ramírez Obed (2009). *Recuperación mejorada de hidrocarburos mediante desplazamiento miscible con co2 en yacimientos naturalmente fracturados*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería. México. UNAM.

CONSULTADO EN LA RED:

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Disponible en:

http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1_170614.pdf

Consultado el 8 de diciembre de 2013.

IMP. Página web 2013:

<http://www.imp.mx/acerca/?imp=historia>.

Consultado el 5 de marzo de 2013.

<http://www.imp.mx/comunicacion/gaceta/?imp=nota¬a=090402-1vi>

Consultado el 28 de mayo de 2013.

México oil & gas review 2013.

<http://www.mexicooilandgasreview.com/mogronline2013/index.html>

Consultado el 6 de junio de 2013.

Pacto por México 2013. Disponible en:

[http://www.presidencia.gob.mx/wpcontent/uploads/2012/12/Pacto-Por-](http://www.presidencia.gob.mx/wpcontent/uploads/2012/12/Pacto-Por-M%C3%A9xico-TODOS-los-acuerdos.pdf)

[M%C3%A9xico-TODOS-los-acuerdos.pdf](http://www.presidencia.gob.mx/wpcontent/uploads/2012/12/Pacto-Por-M%C3%A9xico-TODOS-los-acuerdos.pdf)

Consultado el 10 de diciembre de 2013.

Pemex. Página Web 2013.

<http://www.pemex.com/index.cfm?action=content§ionID=1&catID=10004>.

Consultado el 5 de marzo 2013.

Pemex (2012) Anuario Estadístico. Disponible en:

<http://www.ri.pemex.com/files/content/Anuario%20Estadistico%202012.pdf>

Consultado el 5 de marzo de 2013.

Pemex.(2012) Las reservas de hidrocarburos de México. Disponible en:

http://www.pemex.com/acerca/informes_publicaciones/Documents/Libro%20Reservas%202012.pdf. Consultado el 6 de marzo de 2013.

Pemex. (2012) Glosario y nomenclatura. Disponible en:

http://www.ri.pemex.com/files/content/8_Glosario%20y%20Nomenclatura_2012.pdf Consultado el 6 de marzo de 2013.

Reforma energética 2013. Disponible en:

<http://presidencia.gob.mx/reformaenergetica/#!/reforma>

Consultada el 10 de diciembre de 2013.

NOTA PERIODÍSTICA:

La jornada: "Posee el IMP el equipo el equipo más avanzado del mundo de microscopía electrónica". Disponible en:

<http://www.jornada.unam.mx/2006/10/10/index.php?section=ciencias&article=a02n1cie> Consultado el 12 de mayo de 2014.

OTROS SITIOS:

Presentación sobre tensoactivos o surfactantes:

<http://depa.fquim.unam.mx/fina/presenta/tensoactivos.pdf>

Consultado el 16 de marzo de 2013.

Google maps. Mapa del IMP disponible en:

<https://www.google.com.mx/maps/@19.4895428,99.1475715,793m/data=!3m1!1e3>

www.behance.net

www.petroquimex.com

<http://biogeocarlos.blogspot.mx/2011/02/arte-microbiologia-bacterias.html>

<http://www.youtube.com/watch?v=85GyGT8Si0g&feature=youtu.be>