

Está en:

OEI - Programación - CTS+I - Sala de lectura -

---

## Restricciones y oportunidades en la conformación de la Tecnología. El caso de la Orimulsion<sup>(1)</sup>

**Hebe Vessuri & Maria Victoria Canino**  
**Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas**

---

Venezuela es el país con las mayores reservas petroleras del Hemisferio Occidental; es el segundo en depósitos de gas natural y el que tiene las mayores reservas de petróleo extra pesado en el mundo.<sup>(2)</sup> Sin embargo, hasta la nacionalización del petróleo en 1976, la industria petrolera, en manos privadas extranjeras a través del régimen de concesiones, dependió casi totalmente de tecnología foránea, con poca repercusión sobre las capacidades tecnológicas del país. Los pequeños laboratorios que las firmas concesionarias construyeron en Venezuela después de la Segunda Guerra Mundial fueron para investigación en exploración y operaciones *upstream* y no para actividades *downstream*.<sup>(3)</sup> Cuando las compañías comenzaron a construir sus grandes y costosos laboratorios de investigación en los Estados Unidos, cerraron la mayoría de los pequeños laboratorios de ultramar.

Las acciones más tempranas del gobierno venezolano para adiestrar recursos humanos en geología y petróleo datan de 1930 y desde finales de la década de 1950 hubo una política pública conocida como "venezolanización de la industria petrolera" para el reemplazo gradual de los profesionales extranjeros por venezolanos con miras a la futura nacionalización de la industria.<sup>(4)</sup> En 1975 Venezuela estaba preparada para asumir la operación cotidiana de las instalaciones de la industria; no obstante, carecía de suficientes capacidades como para satisfacer las necesidades tecnológicas de mediano y largo plazo si la industria iba a competir en el ámbito internacional.<sup>(5)</sup>

En 1976, en el contexto de la nacionalización, se decidió que la nueva Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA) y sus filiales operadoras tuvieran un centro de IyD para asegurarles el acceso a la tecnología de las compañías matrices de las ex concesionarias locales y de otras firmas petroleras al igual que compañías de servicio especializadas. Cuando a comienzos de los Setenta, se planteó por primera vez la idea del Centro, las concesionarias extranjeras no prestaron mucha atención a estos planes y los ignoraron; para algunos la idea de un Centro de IyD venezolano era una broma. El INTEVEP nació en 1976 bajo los auspicios de la industria petrolera nacionalizada.

El grueso del Centro de Petróleo y Petroquímica del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC) -unas 70 personas entre investigadores y personal de apoyo-, que era la institución con la mayor concentración de capacidades de IyD en la todavía incipiente comunidad científica nacional, se trasladó al INTEVEP en 1977. En 1979 el Instituto adquirió su perfil actual como filial de PDVSA, organizado como una empresa mercantil y manejado como una empresa petrolera. A pesar de su inserción en el *holding* petrolero, un problema

cultural de la sociedad venezolana también se reflejó en el INTEVEP: le llevó años y esfuerzo legitimarse en el medio nacional.. Investigadores y altos funcionarios gerenciales sostienen que tuvieron que superar la noción dominante que lo hecho en el extranjero es mejor que cualquier cosa producida localmente. Así fue como no siempre se le reconoció a ese Instituto y lo que él representa en términos de actividad científico-tecnológica, su verdadera importancia. Aunque la institución ya tiene veinte años, sólo en el Plan de Negocios de 1993-2002 la casa matriz, PDVSA, incluyó por primera vez el aspecto tecnológico ya no meramente como una actividad sino enmarcada en su estrategia de negocios.

La posibilidad de explotación de los recursos minerales de la Faja Petrolífera entró en la agenda política con la misma nacionalización. Con relación a ese tema la industria petrolera venezolana se encontraba en severa desventaja con relación a sus competidores internacionales en cuanto a información y experticia científica, técnica y gerencial. Independientemente de lo que la industria pudiera haber sabido de sus posibilidades, la plana mayor trabajaba con un escenario que presentaba muchas áreas grises. Las autoridades tampoco estaban bien ubicadas en términos de información para remediar esta situación, por lo menos al comienzo. Además, incluso cuando la brecha se redujera en relación a la "información física" sobre resultados, quedaban serias dudas respecto a la capacidad de los tomadores de decisiones para evaluar esa información. Una insuficiencia crónica de personal técnico en las diferentes unidades del gobierno y la industria, no sólo en conexión con la investigación y la producción, sino también ligado a la planificación y toma de decisiones persistió por bastante tiempo. Para entonces, en Venezuela se podían contar con los dedos de las manos los investigadores *full time* en cuestiones vinculadas al petróleo. Sin embargo, en 1994 sólo el INTEVEP contaba con 1.634 empleados distribuidos tal como se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1: Distribución del Personal. INTEVEP, 1994**

<b>a) en términos de calificación:</b>	
No Universitarios	767 (47%)
Primer grado (Lic. o Ing.)	532 (32.5%)
Maestría	208 (12.7%)
Doctorado	127 (7.7%)
<b>b) En términos de función:</b>	
Científico/técnico	971 (59%)
Soporte técnico	419 (26%)
Gerencia	244 (15%)
TOTAL	1634 (100%)
<b>c) Por tipo de actividad (en horas/hombre, 1993)</b>	
I+D	36%
Investigación Básica	5%
Servicios técnicos especializados	19%
Ingeniería	5%
Servicios internos	29%
Adiestramiento	4%
Otras	2%

Fuente: INTEVEP, División de Personal, Informe Interno; INTEVEP, Resumen de Actividades, 1993, 1994.

La creación y consolidación de un centro de investigación petrolera en un país en desarrollo sin tradición científica ni técnica no fue una tarea fácil. Las cifras de la tabla 1 muestran un avance notable, aunque en términos de personal calificado el Instituto todavía está considerablemente por debajo de los estándares internacionales. Paralelamente a este crecimiento institucional, el INTEVEP buscó promover la formación de recursos humanos y de la capacidad de investigación básica y aplicada en las universidades y centros de investigación académicos nacionales, con la intención de aumentar la base de apoyo científica y técnica del contexto venezolano.

## LA ORIMULSIÓN®

La innovación que analizamos en este estudio es la Orimulsión. Técnicamente ésta consiste en 70% de bitumen natural de 7-10 API de gravedad, 30% de agua y un surfactante comercialmente disponible, *nonyl phenol ethoxylato*, que se agrega para estabilizar al emulsionante y evitar que el agua y el bitumen se separen. Sin embargo, el proceso no es tan sencillo como parece porque uno de los factores claves que permiten que la ORIMULSION® logre su elevada eficiencia de combustión de 99.9% es el pequeño tamaño de las gotas de bitumen en la emulsión. Cada una tiene que ser de aproximadamente 20 micrones o un cincuentavo de milímetro de diámetro y estar distribuida en forma pareja en el agua.<sup>(6)</sup>

En lo que sigue, reconstruimos el proceso por el cual se llegó a este producto. Aunque muy probablemente todavía no somos testigos de la completa estabilización<sup>(7)</sup> de la ORIMULSION® como diseño sociotécnico, no obstante su composición física ya tiene un perfil sociocientífico bastante constante y ha surgido como un "nuevo combustible" en el mercado energético mundial, rara ocurrencia en la historia contemporánea, particularmente cuando tiene la potencialidad de impactar significativamente a un consumidor de combustible importante como lo es la industria eléctrica. Lo que resulta más inesperado es que esta innovación tecnológica se haya producido en un país en desarrollo con una tecnología petrolera nacional inmadura y prácticamente sin una tradición científica.

La evolución del proyecto de la ORMULSION® puede resumirse como sigue:

### a) El problema inicial

A comienzos de la década de 1980, el problema que enfrentaba la industria petrolera venezolana no era descubrir un nuevo combustible sino resolver de manera económica el problema del transporte a través de tuberías de los crudos pesados y bitúmenes ubicados en la cuenca del río Orinoco en el sudeste de Venezuela, hasta los puertos y refinerías en las áreas costeras a 300-400 kilómetros de distancia. Esta era una época de precios elevados del petróleo y cuando la refinación aparecía como la única posibilidad de uso de los crudos pesados y extra pesados.

La primera solución técnica que se buscó fue formular emulsiones de agua y surfactantes como alternativa a los métodos convencionales de aplicación de calor, diluentes, "flujo anular", etc. Las primeras etapas de trabajo se hicieron a nivel de laboratorio. Parte de la investigación se hizo con el soporte técnico de universidades locales, particularmente la Universidad de Los Andes, a través del laboratorio del Prof. J.L. Salager, y por medio de un acuerdo de investigación en colaboración por tres años con *British Petroleum Research International* (BP) para la formulación de emulsiones de aceite en agua y en su transporte. Esta actividad

temprana fue probablemente el resultado de contactos personales entre algunos funcionarios de INTEVEP y BP.<sup>(8)</sup>

Algunas personas en las operadoras habían estado jugando con una cantidad de ideas para aprovechar los crudos pesados de la Faja aún antes de la nacionalización. Cuando se creó el INTEVEP, Nelson Vázquez y Eli Schwartz, de Lagoven, quienes pasaron a cargos directivos del mismo, y Roberto Rodríguez, quien pronto entró a la División de Ingeniería General de INTEVEP, dieron inicio a la sección de petróleos pesados del Instituto. Se atribuye a Schwartz el haber construido los laboratorios donde se prepararon las primeras emulsiones de petróleo pesado en agua. en noviembre de 1979 y el establecer así la agenda para el trabajo posterior sobre formulación de emulsiones y quema directa de bitumen.

Un joven egresado de química, Ignacio Layrisse, que había ingresado en INTEVEP en 1977 para trabajar en el departamento de ingeniería de producción, se vio expuesto en esa etapa temprana a las diferentes operaciones de campo en las operadoras del *holding* petrolero nacional. Esto le permitió adquirir una visión más integral del mundo petrolero que la que normalmente tendría un químico. En 1979 fue enviado por Schwartz a Sunbury, cerca de Londres, a trabajar en la División de Nuevas Tecnologías de la British Petroleum en recuperación mejorada, deshidratación, recuperación de minerales, etc., desde el punto de vista de los fenómenos interfaciales. A su regreso a Venezuela, se le encomendó organizar un grupo de tratamiento de crudos de INTEVEP. Dos años más tarde ya había unas diez o doce personas trabajando sobre fenómenos de interfase, que llegó a ser conocido como el grupo de emulsiones.<sup>(9)</sup> Aunque no era un experto en el campo, Layrisse aparece como el más temprano militante de la ORIMULSION® en INTEVEP. Tiene los rasgos de un verdadero líder pionero, creativo, con convicción y audacia, con la fuerza y el coraje de improvisar y empujar las cosas adelante.<sup>(10)</sup>

## b) El primer logro

La meta era lograr emulsiones estables en condiciones dinámicas, pero fáciles de romper. Entre los requerimientos estaban la disponibilidad de surfactantes de bajo costo usables en bajas concentraciones y un equipo de mezclado con una capacidad para 10.000 bpd, es decir, disponibilidad de un equipo con alta energía y baja capacidad de producción. Hacia finales de 1984, el grupo de emulsiones consiguió su primer logro. En un desarrollo conjunto con BP, adquirió la capacidad de controlar las emulsiones no con alta energía, como se había buscado, sino con baja energía de mezcla, evaluación del proceso de ruptura en los niveles de laboratorio y de planta piloto, una significativa reducción de la viscosidad y buena estabilidad.

El grupo de investigación de INTEVEP ya había conseguido un fluido que podía ser transportado, pero no entendía su reología ni cómo iba a comportarse su viscosidad. Ya el equipo sabía que como una emulsión son gotas de algo en algo diferente, el tamaño de las gotas era fundamental pero nada de esto podía ser controlado por ellos todavía. Formaban emulsiones y las ponían en frascos, algunos de los cuales se quebraban a los tres días y otros a los tres meses, pero eran incapaces de proporcionar una explicación satisfactoria. A esta altura, es oportuno mencionar cómo se dio el proceso que llevó al primer logro. Un miembro clave en este episodio fue una joven química venezolana (M.L.Chirinos) quien había obtenido su B.Sc. en Birmingham, Inglaterra, en química ambiental y que había ingresado en el INTEVEP a su regreso de Inglaterra. La tarea que se le asignó fue medir viscosidades de bitumen de muestras de crudos emulsionados con hidróxido de sodio y con diferentes surfactantes, enviados desde los pozos de exploración ubicados en todo el país. En el marco del acuerdo de colaboración establecido con la BP, Chirinos fue enviada a Sunbury con la instrucción de aprender sobre propiedades interfaciales, estudiar la conducta viscosa de esas

emulsiones y llegar a controlarlas.

Si bien la joven no tenía formación avanzada (entre otras cosas había sido enviada a Sunbury porque sabía inglés y seguramente no había otro personal disponible), había adquirido experiencia en el testeo de incontables muestras de emulsiones en Venezuela y en consecuencia había desarrollado una "intuición" y comprensión empírica de los fenómenos físicos a través de un conjunto de parámetros observacionales. Ella se daba cuenta que la velocidad con la cual mezclaba las emulsiones, la cantidad de surfactante usada, la temperatura a que se hacían las pruebas, tenían algo que ver, aunque en ese momento no sabía por qué ni cómo. Algo en particular llamaba su atención: en la literatura técnica encontraba siempre la recomendación de aplicar energía elevada para las emulsiones.

Una noche, alguien dejó una batidora doméstica en el laboratorio para ser reparada. Siguiendo un impulso repentino, la joven decidió hacer emulsiones con la batidora. Midió el agua, el surfactante INTAN (también desarrollado por otro grupo del INTEVEP), y puso en marcha la batidora a baja velocidad. En sus palabras, obtuvo "una emulsión que parecía una *mousse* de chocolate, tan bonita, marrón oscuro, opaca, no negro brillante" como las emulsiones que había visto hasta entonces. Cuando colocó la muestra bajo la grilla del microscopio, se dio cuenta que casi todas las gotas tenían el mismo tamaño y eran pequeñas. Nunca había visto eso, porque siempre había gotas grandes junto con otras pequeñas, etc. En esta emulsión, por el contrario, todas las gotas eran pequeñas y de tamaño similar. Pasó toda la noche tratando diferentes fórmulas y haciendo una tabla para producir en forma controlada gotas del tamaño deseado. Al día siguiente, cuando mostró sus resultados en el laboratorio, todo el mundo se entusiasmó y en seguida los pizarrones se llenaron de fórmulas. Había comenzado el tiempo de las explicaciones científicas. La patente resultante de esta forma de mezclar, llamada HIPR (*high disperse phase emulsion*), pertenece conjuntamente a INTEVEP y BP. Inclusive hoy continúa siendo la tecnología básica usada para la Orimulsion®, y otros investigadores de INTEVEP (Hercilio Rivas) están tratando de encontrar una tecnología alternativa que sea aún menos consumidora de energía.

c) El primer gran obstáculo resulta en la redefinición del objeto

El clima de optimismo estimulado por esos éxitos tempranos sufrió un severo revés con la crisis petrolera de 1984-1985. Los precios del petróleo cayeron acentuadamente y dieron lugar a un nuevo escenario para la investigación que estaba en curso. Por un breve lapso los proyectos de la Faja Petrolífera, entre ellos el del grupo de emulsiones, perdieron su atractivo. ¿Qué hacer, en esas condiciones, con los 260 x10 barriles de bitúmenes de la Faja?

"Los venezolanos siempre mostraron más interés que los canadienses en encontrar una salida comercial para sus vastos recursos de bitúmenes. Llegaron a ver así que la producción de un combustible adicional, con precios competitivos para las plantas productoras de energía tenía el potencial de transformar su economía acosada por las dificultades y compensar en algo el ingreso perdido por la caída de los precios del petróleo desde 1986"<sup>(11)</sup>

En vista del nuevo escenario económico, había que definir rápidamente un horizonte alternativo para que la iniciativa investigativa no perdiese su dinamismo. Afortunadamente, lo que se había convertido en una senda precaria de investigación de emulsiones (concebida hasta entonces sólo en términos de transporte de bitúmen, como proyecto de mecánica de fluidos) tomó un nuevo rumbo con la ayuda de otra iniciativa relacionada con la Faja Petrolífera, la del grupo de combustión de INTEVEP. Este grupo trabajaba en forma independiente sobre quema directa de bitúmen prácticamente desde el comienzo de las actividades de formulación de emulsiones. El uso de bitúmenes como combustible le parecía atractiva a una de las compañías operadoras nacionales, Lagoven (ex Shell), impulsada entre

otras razones, por el interés demostrado por la gigantesca corporación japonesa Mitsubishi, como parte de la estrategia de Japón de diversificar sus fuentes de aprovisionamiento energético.

Para establecer la colaboración entre los dos grupos, de emulsiones y combustión, fue necesario redefinir el proyecto. Como ya se mencionó, el procedimiento aplicado en las emulsiones de transporte era agua más inyección de surfactantes; las emulsiones resultantes tenían un elevado contenido de sales y eran inestables, entre otras cosas porque el propósito de las emulsiones era sólo transportar el bitumen, por lo cual se esperaba que al llegar a destino se pudiera volver a separar la emulsión nuevamente en agua y bitumen. Al establecerse como nueva meta la quema de la emulsión basada en bitúmenes, se definió un nuevo conjunto de requerimientos a ser alcanzados: el fluido debería durar un año o más y soportar su manejo por bombas y tuberías; debería quemarse como un combustible líquido convencional, similar al *fuel oil*; y estar libre de contaminantes como el sodio.

El grupo de combustión de INTEVEP había identificado experiencias previas en la literatura; entre otras, la compañía brasileña de petróleo (Petrobrás), por ejemplo, había hecho pruebas de combustión con emulsiones de residuos de petróleo en agua. Sin embargo, no se conocía ninguna experiencia en gran escala y la idea básica del grupo de combustión derivaba de su propia experiencia con una pequeña planta piloto de combustión en INTEVEP, en conexión con un proyecto venezolano/alemán para evitar la corrosión por vanadio cuando se quemaba el *fuel oil*. Domingo Rodríguez, líder del grupo de combustión, usó como modelo de base la mezcla carbón-agua y, por analogía con ese proyecto anterior, trató de agregar sales diferentes al sodio, que pudieran comportarse como el sodio pero que resultaran beneficiosas para la combustión. El magnesio, que fue el aditivo usado para contrarrestar la corrosión del vanadio, reemplazó al sodio y ayudó a la emulsión.

#### d) Nace la idea de la ORIMULSION®

En julio de 1985 tuvo lugar el primer test de combustión con una emulsión que tenía entre 35% y 40% de agua, mucho más de lo que se utiliza ahora (30% o menos). En esa época, el grupo de emulsiones trabajaba en una escala tan pequeña que inclusive para el test de quema, tuvieron que hacer una "ensalada" con todas las pequeñas muestras disponibles en ese momento. Por supuesto, esta emulsión todavía no era ORIMULSION®, aún faltaba mucho para que se convirtiera en un combustible. No obstante, el test público capturó la imaginación de algunas de las personas importantes de Lagoven, particularmente de quien desde entonces lideraría lo que llegó a ser conocido como el Proyecto Orinoco de Lagoven, Manuel de Oliveira. En ese momento, los dos grupos de investigación de INTEVEP -de emulsiones y de combustión- comenzaron a trabajar juntos, bajo la denominación única de "Proyecto Orinoco" de INTEVEP. El nombre de la ORIMULSION® se concibió en esos días, en ocasión de la visita de un asesor de patentes de Estados Unidos, para reflejar el aporte combinado de los grupos de combustión y emulsiones.

Junto con el nombre, se determinaron las especificaciones que deberían caracterizarla para que ésta fuera un verdadero combustible. La ORIMULSION® fue concebida para llenar un nicho de mercado haciéndola atractiva a algunos grupos sociales relevantes.. La meta fue establecerla como un combustible no convencional que pudiera quemarse en plantas de energía convencionales, como alternativa al carbón y a combustibles con elevadas cuotas de azufre, efectuando cambios mínimos en los quemadores. El producto era nuevo pero estaba dirigido a reemplazar otro producto ya bien establecido en el mercado, el sistema de quema de carbón en uso común, ofreciendo precios competitivos al igual que mejores condiciones de combustibilidad y limpieza ambiental. Debería llegar a los mercados internacionales en tanqueros convencionales, siendo un combustible con alta eficiencia de combustión, alto valor

de calor, y con una llama estable muy limpia. Finalmente, aunque no menos importante, debería ser capaz de asegurar un aprovisionamiento ilimitado, los cientos de billones de barriles de petróleo/bitumen del Orinoco. No sabemos quiénes fueron quienes definieron los requerimientos, si los investigadores o los gerentes, pero pareciera claro que tuvo que haber ingerencia de personas experimentadas en aspectos vinculados a las condiciones de los mercados internacionales y la identificación de nichos posibles en estrecho diálogo con los investigadores.

El esquema de trabajo incluía desde la emulsificación a fondo de pozo hasta la formación de emulsiones. En la última parte de 1985 y comienzos de 1986, casi todo el trabajo pesado se concentró en montar una planta piloto para la formación de emulsiones con las características buscadas en el complejo de la planta Jobo en Morichal en la región del Orinoco, con el objeto de testar el combustible en plantas de combustión con mayor capacidad que la de INTEVEP, para poder analizar mejor las características del nuevo combustible. La presión de clientes interesados -Mitsubishi- fue muy grande y se convirtió en una pesada carga psicológica, porque el producto como tal no estaba todavía a punto, faltaban aún resolver varios pasos técnicos. No obstante, en 1986-1987 se hicieron una serie de tests de combustión e ingeniería (se prepararon más de 50,000 barriles de emulsión) para probar la estabilidad dinámica y estática y la combustibilidad que tenía este nuevo combustible líquido y optimizarlo, no sólo en las instalaciones de investigación de combustión de INTEVEP en Venezuela, sino también en el Centro de Investigación y Desarrollo de las Industrias Pesadas de la Mitsubishi en Nagasaki, Japón y en el Laboratorio de Desarrollo Kreisinger de Ingeniería de Combustión en los Estados Unidos.

e) Un nuevo cuello de botella, una nueva solución

A esta altura del desarrollo, cuando la ORIMULSION® producida en la nueva planta de 15.000 bpd en Morichal (EPM-1) comenzó a ser bombeada a la estación terminal de Punta Cuchillo en Puerto Ordaz, a unos setenta kilómetros de distancia, se presentó el primer contratiempo técnico serio. El producto comenzó a exhibir un aumento marcado de la viscosidad cuando comenzó a ser bombeado por las tuberías, efecto conocido en la jerga técnica como "envejecimiento". Mientras la producción se había mantenido a niveles pequeños (para fines de demostración) la emulsión era colocada en barriles que tenían que ser movidos para transportarlos a diferentes destinos. Cuando se la movía, la emulsión regresaba a su estado original y de ese modo el fenómeno no era perceptible. Pero cuando la emulsión comenzó a ser transportada a través de una tubería de gran diámetro, dada la muy baja velocidad dentro del oleoducto la parte central de la emulsión permanecía casi estática y el fenómeno del "envejecimiento" se hizo visible. Este es un efecto conocido en la ciencia de las emulsiones, por el cual una fracción de la fase continua (agua en este caso) se difunde en las gotas de bitumen (la fase dispersa), hinchándolas y creando artificialmente una emulsión más concentrada con mayor viscosidad asociada. Es lo que se llama una emulsión múltiple, es decir, una emulsión de agua-en-aceite-en-agua. En Morichal, este efecto fue tan severo que en un momento dado fue necesario interrumpir el envío del combustible al terminal de despacho, deteniéndose la evaluación de la combustión. Como se habían asumido compromisos comerciales en base a las pruebas de demostración, todo el proyecto estaba amenazado.

¿Qué estaba sucediendo? ¿Se trataba acaso de un efecto asociado a la doble cobertura eléctrica? ¿Era tal vez la aparición de una fase de alta viscosidad del surfactante? ¿O más bien era la reducción de la fase continua efectiva debido a la presencia de agua/crudo/agua? ¿Era algo desconocido? ¿Era hinchazón osmótica? Prácticamente todo el año 1987 fue un período intenso de búsqueda de explicaciones, que varios miembros del equipo recuerdan como "traumático". El problema se resolvió provisoriamente de manera empírica, agregando

unos electrolitos a la emulsión. Pero se trataba de una solución que a veces funcionaba y otras no. Eventualmente uno de los investigadores de INTEVEP, Hercilio Rivas, mientras estaba en Gran Bretaña como asesor del grupo que trataba de introducir la ORIMULSION® en los mercados europeos (1987-1988), consiguió dar una explicación científica del problema en términos osmóticos. Mostró que la ORIMULSION® era de hecho una emulsión múltiple. El efecto de "envejecimiento" se derivaba del procedimiento de emulsificación a fondo de pozo. Después de elevar el bitumen desde la base del pozo, la "emulsión primaria" pasaba por un proceso de separación. Se le agregaba una mezcla de agua salada para facilitar este paso, debido a la proximidad de los valores de densidad del agua y el bitumen. Además, la emulsificación a fondo de pozo incorporaba un poco de agua del reservorio, que también era rico en sales. Cuando este hidrocarburo se emulsificaba en la ORIMULSION®, las gotas dispersas tendían pequeñas gotas de agua salada, induciendo un desbalance osmótico, responsable de la sustracción de la fase continua y el aumento de la viscosidad.

#### f) Las restricciones e incertidumbres del escalamiento

La existencia de conocimiento localmente disponible -tanto explícito como tácito- corporizado en personas vivas es crítico a la innovación. Esta disponibilidad en momentos y lugares específicos depende del funcionamiento de las instituciones y del contexto en el que éstas funcionan, por ejemplo, de los patrones de movilidad de los ingenieros y de otros técnicos con las competencias deseadas o del mercado local de conocimiento. En esa etapa, en relación con el proyecto analizado, se subestimaron los problemas del escalamiento, quizás debido a falta de experiencia con la reología del producto por parte de los miembros del equipo. Por otro lado, también es cierto que la emulsificación es un proceso industrial que normalmente se hace por tandas. Hacerlo de un modo continuo requería un cierto *know-how* que por lo menos no estaba disponible a las personas a cargo en Morichal. ¿Por qué no estuvieron involucrados ingenieros de proceso en esa etapa?

Sólo podemos aventurar respuestas hipotéticas. La propia organización social del trabajo en la industria y en el instituto de investigación pueden haber resultado involuntariamente en barreras invisibles a la comunicación entre los grupos.<sup>(12)</sup> Los ingenieros de proceso se encuentran usualmente en las unidades de refinación y petroquímica, que es un mundo diferente del de las personas que trabajan en emulsiones. La mayoría de las personas que trabajaban en emulsiones en INTEVEP eran químicos e ingenieros químicos. La ausencia de un equipo de ingenieros de proceso y de ingenieros químicos en las primeras operaciones de escalamiento causó muchas dificultades. Se ha argumentado que probablemente no había localmente quien tuviera conocimiento profundo de reología. Pero si ese hubiera sido el caso, sorprende que no se haya buscado ayuda externa cuando la producción tenía que pasar dramáticamente a otra escala, mientras que diversas personas y compañías habían sido consultadas con relación a otros aspectos. Es probable que no se reconociera en toda su dimensión la importancia de la restricción técnica implícita en el escalamiento. Lo cierto es que aunque el problema tal vez pudiera haberse evitado, en la práctica, al intentar producir ORIMULSION® a otra escala, ocurrió un retroceso serio.

Uno puede preguntarse por qué la prisa en el desarrollo comercial del proyecto. Hacia 1986 era obvio que Lagoven (la operadora) y no INTEVEP (el instituto de investigación) estaba liderando el proyecto, pues ya había montado una rama de comercialización y una rama de desarrollo del proceso para la manufactura de la emulsión, aunque según los técnicos de INTEVEP, y como se verificaría más tarde, todavía quedaban muchos puntos oscuros. En el INTEVEP, los dos proyectos de emulsiones y combustión que como vimos habían sido subsumidos en un único Proyecto Orinoco de INTEVEP, en seguida se separaron nuevamente: Layrisse fue enviado a Morichal, la planta de Lagoven, a encargarse de las operaciones de campo y Rodríguez fue

asignado a la gerencia de un programa de evaluación de residuales en INTEVEP. Da la impresión que a esa altura de los acontecimientos INTEVEP había dejado de controlar el proyecto de desarrollo tecnológico y tenía poco control sobre el ritmo de desenvolvimiento del proyecto.

#### g) La conexión japonesa y el mezclado

La superación de este *impasse* dramático permitió retomar el avance en el proceso de desarrollo. En seguida se encontraron remedios que permitieron rejuvenecer la emulsión. El conocimiento obtenido acerca del empaque de las emulsiones promovió nuevas tecnologías y se determinaron las escalas temporales del sistema. Siguió un rápido ritmo de progreso. Al problema del "envejecimiento" de la emulsión siguieron cambios de los costos en el esquema de producción, particularmente vinculados a la inyección y remoción del diluyente. Otro problema de envergadura fue el que se planteó con la estabilidad del proceso, porque los sistemas de mezclado que se venían usando no habían sido elegidos adecuadamente debido al desconocimiento de algunos aspectos del proceso. Se puede argumentar, no obstante, en descargo de los investigadores venezolanos, que esta era la primera vez en la historia de la industria petrolera mundial que este proceso se había llevado a cabo en gran escala.

También cabe señalar que la experticia de mezclado no está inmediatamente disponible en el mercado. Las personas que hacen mezclado usualmente tienen una formación en mecánica de fluidos y adquieren su *know-how* específico a través de la práctica. Fue precisamente el obstáculo del "envejecimiento" lo que determinó la incorporación de personal de escalamiento al proceso de desarrollo. Después de algunos fracasos con mezcladores adquiridos en el mercado, al extrapolar la segunda generación de ORIMULSION® (la tecnología EVC para emulsiones de viscosidad controlada, producida por Hercilio Rivas y su grupo, con una patente ya concedida) el factor de mezclado reveló ser crítico.

Un alto funcionario de INTEVEP/Lagoven (Reinaldo Ceballos) tomó contacto con una pequeña firma familiar japonesa con dilatada experiencia en equipos de mezclado (TKK), y se firmó un convenio para un proyecto conjunto orientado a entender la tecnología de mezclado que se requería. La contraparte local fue Gustavo Nuñez, un joven PhD en mecánica de fluidos que había estudiado con Daniel Joseph en Minnesota y que pasó los años subsiguientes yendo y viniendo de Japón. La firma japonesa no pudo resolver los problemas de mezclado planteados por la emulsión pero puso a disposición de INTEVEP toda su línea de mezcladoras para ser testados en Venezuela. Sobre la base del análisis de las fallas de los mezcladores detectadas en pruebas *in situ* y de estudios bibliográficos, quedó claro que para producir esas emulsiones no había equipos de mezclado adecuados en el mercado. Eventualmente el grupo de escalamiento de Nuñez en INTEVEP diseñó el equipo que finalmente fue llamado ORIMIXER®. La TKK reconoció que el desarrollo era un éxito y la patente del ORIMIXER® pertenece a INTEVEP. Otros problemas debidos a la falta de tiempo adecuado de residencia que impedía la estabilidad fueron resueltos con generaciones más avanzadas de ORIMIXERs®. El mezclador es actualmente fabricado comercialmente por TKK en base al diseño y patente de INTEVEP.<sup>(13)</sup> Hoy la planta EPM-2 tiene una capacidad de producir 100.000 barriles de Orimulsión con el ORIMIXER®, que ha dado buenos resultados.

## Discusión

La IyD industrial es un proceso de negociación entre actores dentro y fuera de una firma o institución, que involucra una variada gama de relaciones de mayor o menor poder, además de las vinculaciones estrictamente técnicas. Dada la posición del productor (de un país en desarrollo) con relación a sus clientes (de países desarrollados), la IyD institucional y las

decisiones que se tomaron en el proceso de innovación en INTEVEP/Lagoven estuvieron influenciadas por la desigual situación de poder, reflejadas en aspectos tales como imagen y confianza. Esta situación fue cambiando en el tiempo. Más de un investigador identificó la presencia en la institución y en general en el medio local de un complejo de "guayuco", es decir, un sentimiento de inferioridad, del "nativo" que se sentía vulnerable frente al poderoso representante tecnológico o industrial del mundo desarrollado. Pero también estaba presente en más de un investigador la frescura de enfoque, la creatividad, la voluntad de cambiar el orden de las cosas características de personas e instituciones que tenían todo por ganar.

La Orimulsión significó una ruptura tecnológica importante para la evolución de la industria petrolera nacionalizada. Fue la punta de lanza que sirvió como símbolo importante de la afirmación nacionalista. La introducción de un nuevo producto en el difícil mercado energético internacional demostró a los propios técnicos y a la industria nacional que eran capaces de producir verdaderos logros técnicos y esa capacidad se expresó en reconocimiento institucional, nacional e internacional. La complejidad del proceso de aprendizaje y en una cantidad de dimensiones, puede apreciarse en los cambios ocurridos entre los grupos de investigadores, técnicos y gerentes a medida que adquirieron y/o mejoraron su *know-how*.

Gradualmente a través de sucesivas redefiniciones parciales del problema, se logró "el cierre" del problema.<sup>(14)</sup> El significado de la emulsión de transporte con que se inició el proyecto fue traducido en el camino para llegar a constituirse en la solución a un problema bastante diferente: la producción de un nuevo combustible. Y después de un conjunto de decisiones y superación de diversos cuellos de botella técnicos y políticos se logró la estabilización del producto.

El colectivo institucional aprendió mucho en el desarrollo de la Orimulsión. Después que pasaron los inevitables debates y conflictos personales y grupales en la construcción de este nuevo objeto técnico, una visión más distante a medida que el proceso fue alcanzando el umbral de la estabilización, permite reconocer la importancia de los líderes pioneros que fueron capaces de inspirar a otros y de hacer que las cosas ocurrieran a pesar de las desventajas de ser recién llegados a una tecnología emergente y de la falta inicial de conocimiento experto y de experiencia. En diferentes momentos actores sociales cruciales encontraron o crearon condiciones específicas para el éxito.

No obstante, la pendiente de desarrollo fue muy empinada. El tiempo planteado para la resolución de las restricciones técnicas fue difícil de cambiar; las oportunidades de comercialización no coincidieron con la jerarquía de las restricciones tecnológicas, algunas de las cuales permanecieron invisibles para todos excepto para unos pocos especialistas que debían tratar de vencerlas. La comercialización marchó mucho más rápido que el desarrollo tecnológico, suscitando el entusiasmo prematuro de algunos funcionarios y llevando a la excesiva simplificación del desarrollo tecnológico, que eventualmente devolvió el golpe obligando a tomar más tiempo del inicialmente esperado. Para entender la psicología social y "la economía política de la prisa"<sup>(15)</sup> que dominó este esfuerzo es preciso considerar la intersección entre la evolución reciente de la economía mundial y dentro de ella del sector petrolero y la situación de Venezuela en los años de 1970; ella hace posible identificar una concatenación de fuerzas que generó y sostuvo el ímpetu del desarrollo apresurado de los recursos de la Faja Petrolífera del Orinoco. La oportunidad estaba en lograr una tecnología de explotación de la Faja que convirtiera sus bitúmenes en negocio. La ORIMULSION® traía esa promesa.

En lo que hace a la práctica tecnológica misma, ésta está dominada por comunidades de práctica bien definidas que encapsulan el conocimiento tecnológico y al definir universos

cognitivos particulares, inhiben el reconocimiento de alternativas a dicha práctica convencional.<sup>(16)</sup> Las rupturas en la práctica tecnológica tienden a ocurrir como resultado de acciones de individuos externos (como cuando el grupo de combustión y los ingenieros de proceso entraron en escena y consiguieron traducir las ideas de la gente de emulsiones en términos de algo diferente que demostró ser interesante y ofreció una salida a los distintos).

Por otro lado, el apoyo gerencial a los proyectos de I+D, especialmente de iniciativas todavía inciertas pero atractivas, también se reveló como crucial. La gente de INTEVEP aprendió a valorar a través de experiencias como ésta la conveniencia de establecer equipos interdisciplinarios en una etapa temprana del desarrollo, particularmente tan pronto como entran a jugar consideraciones de escalamiento. Asimismo, aprendió que debía haber una interacción fluida con personas encargados de la comercialización de productos distintos de los que convencionalmente comercializaba la industria petrolera nacional. Bitor, una nueva subsidiaria de PDVSA, fue creada para responsabilizarse de la producción y ventas de la ORIMULSION®, y en este campo se buscó el establecimiento de una red global de apoyo como fuente de legitimidad e imagen. En junio de 1989 se formó una joint venture entre BP y Bitor. La asociación con una compañía con una experiencia comercializadora tan reconocida en el mercado de combustibles como la BP subrayaría la confiabilidad del producto en oferta. Bitor también firmó un acuerdo con la Corporación Mitsubishi de Japón para la comercialización de la ORIMULSION® en ese país, mientras que todas las ventas a Canadá y Estados Unidos son manejadas por Bitor America, una nueva filial de Bitor en los Estados Unidos. En este proceso de aprendizaje, Venezuela ha llegado a ser el país que más sabe acerca de petróleos crudos pesados y bitúmenes.

## Referencias

**Barberii, E.E.** et al. (eds.) (1989) La Industria Venezolana de los Hidrocarburos, CEPET, Caracas, 2 vols.

**Bijker, W. E., T.P. Hughes & T.Pinch** (editors) (1987) The Social Construction of Technological Systems, Cambridge, Mass/London, MIT Press.

**Briceño, M.I., M.L.Chirinos, I. Layrisse, G. Martinez, G. Nuñez, A.Padrón, L. Quintero y H. Rivas** (1989) "Tecnología de emulsiones para la producción y manejo de crudos extrapesados y bitúmenes". Revista Técnica INTEVEP S.A., vol. 9, N.2, julio-diciembre, pp. 101-110.

**Brossard, E.** (1993) The Clash of the Giants. Petroleum Research and Venezuela's INTEVEP, PennWell Boos/INTEVEP, Houston, Texas.

**Carson, W.G.** (1985) "Technology, Safety, and Law: The Case of the Offshore Oil Industry", Brannigan, A. & S.Goldenberg (eds.) Social Responses to Technological Change, Westport, Conn., Greenwood Press.

**Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT)** (1969), Diagnóstico y Prioridades de Investigación en Petróleo y Petroquímica, Publicaciones Mito Juan, Caracas, vol. 1.

**Constant II, E.W.** (1984) "Communities and Hierarchies: Structure in the Practice of Science and Technology", R.Laudan (ed.) The Nature of Technological Knowledge. Are Models of Scientific Knowledge Relevant?, Dordrecht/Boston/Lancaster, D.Reidel Publishing Co.

**Constant II, E.W.** (1987) "The Social Locus of Technological Practice: Community, System, or

Organization?" Bijker et al., op.cit.

**INTEVEP** (1995) 10 Años de Orimulsión. Seminario Técnico. BITOR-INTEVEP-LAGOVEN, Los Teques, Julio 18 1995.

**INVEPET** (1975) Diagnóstico sobre Transferencia Tecnológica de la Industria Petrolera, Instituto Venezolano de Investigaciones Petroleras y Petroquímicas. (INVEPET), Caracas.

**Rivas, H., G. Nuñez & C. Dalas** (sin fecha: 1990?) "Emulsiones de Viscosidad Controlada", Visión Tecnológica, vol.1, No.1. INTEVEP.

**Solterman, O.** (1991) O 'Scaling-Up'e a Apertura da Caixa Preta Tecnológica. M.Sc. Thesis, Dept. of Science & Technology. UNICAMP.Campinas.

**Waissbluth, M. et al** (1990) El paquete tecnológico y la innovación. BID-SECAB-CINDA, Conceptos Generales de Gestión Tecnológica, Santiago de Chile, CINDA, col. CyT, N.26.

**Yepes, E.** (1994) "ORIMIXER® en la ruta comercial de ORIMULSION®. Notivep, vol.16, N.123, Mayo-Junio, pp.10-13.

**Zlatnar, M.** (1989) "ORIMULSION®. The Revolutionary New Fuel for Power and Industry". A Financial Times Management Report, London.97 pp.

## Notas

(1) Versión castellana del original publicado en inglés en *Science, Technology and Society*, 1996. vol. 1, No. 2, Sage, Nueva Delhi.

(2) Brossard, 1993.

(3) INVEPET, 1975.

(4) CONICIT, 1969.

(5) Barberii, et al.1989, vol. II, pp.246-256.

(6) Briceño et al, 1989; Rivas et al, 1990; INTEVEP, 1995.

(7) Usamos la noción de estabilización en el sentido propuesto por Pinch & Bijker, 1987, pp.44-46.

(8)David Graham de BP y Leon Mandell de INTEVEP, fueron algunas de esas figuras tempranas.

(9) Entre los químicos e ingenieros químicos que constituyeron este grupo estaban Jorge Luis Gross, Maria Luisa Chirinos, Mayela Rivero, Antonio Cárdenas, Mabel Briceño, Hercilio Rivas. Otros ingenieros químicos de la Universidad de Los Andes, dirigidos por su profesor, Jean Louis Salager, también participaron en estrecha relación con el grupo de INTEVEP.

(10) Cf. Waissbluth (1990).

(11) (Zlatnar, 1989, p.12).

(12) Cf.Solterman, 1991.

(13) Yepes, 1994.

(14) T. Pinch & W. E. Bijker, 1987, pp.44-46.

(15) Cf. Carson 1985.

(16) Constant II, E.W., 1984, pp. 28-31.

---

## Formulario de suscripción gratuita a las Novedades del Programa CTS+

---

**Sala de lectura CTS+**

**Ciencia, tecnología, sociedad e innovación**

---

Organización de Estados Iberoamericanos  
Buscador | Mapa del sitio | Contactar  
| Página inicial OEI |