

**DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE CIENCIA, TECNOLOGIA E INNOVACIÓN  
- COLCIENCIAS -**

**CONVOCATORIA PARA LA EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE I+D+i EN RECUBRO  
MEJORADO DE HIDROCARBUROS (EOR)**

**ANEXO 1. ALCANCE DE LA PROPUESTA**

**ANTECEDENTES**

Típicamente un bajo porcentaje del petróleo de campo puede extraerse con los métodos tradicionales, por tanto, quedan enormes cantidades de petróleo por recuperar de los campos actuales o incluso de los ya abandonados; esto se debe a que la mayor cantidad del petróleo se encuentra en el medio poroso o matriz, es decir, en la roca: llámese areniscas, calizas o carbonatos, por citar algunos ejemplos.

Existen tecnologías, procesos o mecanismos conocidos como: Recuperación Secundaria, Terciaria o Mejorada de Petróleo (EOR por sus siglas en inglés "Enhanced Oil Recovery"), cuya aplicación puede ayudar a recuperar entre 10 y 20 por ciento del petróleo original en sitio, lo cual resulta en un recobro adicional significativo, que puede llegar a duplicar el recobro total de un campo.

El petróleo recuperado a la fecha en Colombia es del 16 % y el factor de recobro con desarrollos actuales es de 21%, con una meta de incrementar inicialmente a 26% y luego al 30%, con este recobro se podría hacer la reposición de 5000 Millones de barriles de reservas en el mediano plazo.

Una de las estrategias del Gobierno Nacional para garantizar el abastecimiento de hidrocarburos y la incorporación de reservas en el mediano y largo plazo, es la aplicación de las tecnologías que mejoren el factor de recobro del Petróleo Original en Sitio, toda vez que incentiva la producción y a mayor producción, mayores ingresos para la Nación.

A la fecha se desarrollan 36 pilotos para mejorar el recobro de los yacimientos de tecnologías como la Inyección de agua, Inyección de agua con químicos, Inyección alternada de agua y gas, Inyección de vapor cíclica y continua, y combustión en sitio.

**DESCRIPCION DE LAS LINEAS**

Una vez analizada la información y de acuerdo a las necesidades del sector se establecieron las siguientes líneas temáticas para la presente convocatoria:

**1. CEOR "Chemical Oil Recovery" Recobro con utilización de químicos.**

Consiste en utilización de soluciones químicas especiales las cuales se bombean a través de pozos de inyección especialmente distribuidos para movilizar el petróleo que ha quedado rezagado después de la recuperación primaria o secundaria. Se utilizan sustancias micelares, alcalinas y similares al jabón para reducir la tensión superficial entre

el petróleo y el agua en el yacimiento, mientras que se emplean polímeros para mejorar la eficiencia del barrido.

#### 2. Inyección de vapor con mejoramiento en desplazamiento, generando en superficie.

Es un proceso de recobro térmico que consiste en la inyección de vapor de agua generado en superficie a través de pozos de inyección distribuidos específicamente con el propósito de producir petróleo por un pozo productor que se encuentra a determinada distancia. El vapor que ingresa al yacimiento calienta el petróleo crudo y reduce su viscosidad, adicionalmente contribuye a destilación de los componentes ligeros del petróleo crudo, que se condensan en el banco de petróleo por delante del frente de vapor reduciendo aún más la viscosidad del petróleo. El efecto combinado del vapor y el agua caliente proveniente de su condensación generan un empuje artificial que barre el petróleo hacia los pozos de producción.

#### 3. Inyección de vapor con mejoramiento en desplazamiento, generando en fondo.

A diferencia de la anterior el vapor de agua se genera en fondo, por lo que se requiere la utilización de generadores de vapor esa ubicación, los cuales se encargan de la producción del mismo, evitando las pérdidas de energía que se presentan en los pozos con generadores de vapor en superficie, con lo cual se mejora tanto el aporte de calor al yacimiento como el efecto de craqueo térmico sobre el petróleo.

#### 4. In situ Upgrading

Contempla el desarrollo de tecnologías que optimicen el aporte de calor en yacimiento, con el propósito de obtener crudos de mejor calidad como resultado de los procesos de craqueo térmico involucrados. Pueden incluir la utilización de nanocatalizadores con el fin de optimizar dichos procesos.

#### 5. Nuevas tecnologías de combustión in Situ.

Es un proceso que utiliza una fracción del petróleo, 10 por ciento aproximadamente en el pozo como combustible con el fin de cargar y desplazar los hidrocarburos en el yacimientos de petróleo pesado, la conformación del frente de combustión propaga calor dentro del yacimiento, lo que conlleva a una serie de reacciones químicas tales como oxidación, desintegración catalítica, destilación y polimerización, los que aunados con otros mecanismos tales como empuje por gas, desplazamientos miscibles, condensación, empuje por vapor y vaporización, propician la movilización del petróleo desde la zona de combustión hacia los pozos productores. Contemplan dos modalidades conocidas como: Combustión Convencional o Hacia Delante (Forward Combustion) y Combustión en Reverso o Contracorriente (Reverse Combustion). En la primera de ellas se puede contar con la inyección adicional de agua alternada o de forma simultánea con el aire, y que se conoce como Combustión Húmeda, la cual a su vez dependiendo de la relación agua/ aire inyectado, se puede clasificar de la siguiente manera: Húmeda Normal, Incompleta y Super húmeda.

#### 6. Otras tecnologías de EOR.

Se incluyen entre otros métodos microbiológicos, el desarrollo de tecnologías derivadas de la aplicación de la nanotecnología (v.gr. nanofluidos), e inyección de gases.

## NIVELES TRL

Teniendo en cuenta que la convocatoria tiene un componente alto de transferencia de tecnología, es conveniente establecer el grado de madurez tecnológica de las distintas alternativas que se presentarán, identificación que ayudará también a definir la ruta a seguir para concretar las innovaciones. En tal sentido, resulta de utilidad hacer uso del concepto de las TRL, reconocidas en inglés como *Technology Readiness Level*, que tuvieron su origen en la NASA a mediados de los años 70, y posteriormente se difundieron para ser aplicadas a diferentes sectores tecnológicos.

A continuación se presentan las características de cada uno de los niveles. Se requiere que los proponentes identifiquen con claridad el nivel TRL que se pretende alcanzar con el desarrollo del proyecto, el cual debe ser coherente con las trayectorias previas. A saber:

### Nivel 0: Investigación científica básica

#### Nivel 1: Investigación aplicada - tecnológica básica

- Observación y reporte de principios básicos
- La investigación científica inicial se ha completado y se comienza la transición hacia investigación aplicada. Los principios básicos de la idea han sido cualitativamente postulados y observados.

#### Nivel 2: Validación conceptual

- Concepto de la tecnología o formulación de la aplicación
- Una vez que los principios básicos se observan, aplicaciones prácticas pueden llegar a una invención. Las aplicaciones son aún especulativas y puede aún no haber pruebas o análisis detallados que confirmen dichas suposiciones. Se tienen como evidencia publicaciones que describen una aplicación y que puedan proveer de un análisis para confirmar el concepto.
- Se ha formulado el concepto de la tecnología, su aplicación y su puesta en práctica. Se perfila el plan de desarrollo. Estudios y pequeños experimentos proporcionan una "prueba de concepto" para los conceptos de la tecnología. Se han desarrollado herramienta analíticas para la simulación o análisis de la aplicación.
- Se comienzan a formular posibles usos o aplicaciones de la tecnología.
- El tema de propiedad intelectual cobra interés sobre ventajas competitivas en el mercado y sobre el derecho de explotación y/o no infracción por uso de la tecnología

#### Nivel 3: Prueba de concepto II.

- Las actividades que se llevan a cabo son fuertemente de investigación y desarrollo, que incluyen estudios analíticos y estudios a escala laboratorio para validar físicamente las predicciones de los elementos separados de la tecnología.
- Se incluyen pruebas de laboratorio para medir parámetros y comparación con predicciones analíticas de subsistemas críticos.

- El trabajo ha evolucionado de un artículo científico a trabajo experimental que verifica que el concepto funciona como esperado. Los componentes de la tecnología son validados, pero aún no hay una intención de integrar componentes a un sistema completo.
- Modelado y simulación pueden ser usados para complementar los experimentos físicos. Se han completado los primeros ensayos de laboratorio.
- El concepto y los procesos han sido demostrados a escala de laboratorio. Se ha identificado el potencial de los materiales y cuestiones de ampliación de escala.
- Inicio de la validación de la idea de aplicación - posible producto - posible mercado.

#### Nivel 4: Desarrollo tecnológico.

- Validación de componentes o sistema en un ambiente de laboratorio. Los componentes básicos están integrados, estableciendo que funcionarán en conjunto.
- Las etapas del 4 al 6 representan el puente de la investigación científica a la ingeniería. Este nivel es el primero para determinar si los componentes individuales trabajarán juntos como un sistema. Un sistema de laboratorio muy probablemente será una mezcla de equipo manual y componentes que requieran manejo especial, calibración o alineación para que funcionen en conjunto.
- Los componentes de la tecnología han sido identificados. Una unidad de desarrollo de prototipo ha sido construida en el laboratorio y en un entorno controlado. Las operaciones han proporcionado datos para identificar el potencial de ampliación y cuestiones operativas. Las medidas validan las predicciones analíticas de los distintos elementos de la tecnología. Se ha validado la simulación de los procesos. Se han desarrollado evaluaciones del ciclo de vida preliminares y modelos de evaluación económica.
- Diseño de producto.

#### Nivel 5: Desarrollo Tecnológico.

- Componentes integrados a manera que la configuración del sistema sea similar a su aplicación final. Su operatividad es aún a nivel laboratorio. Los componentes tecnológicos básicos son integrados a manera de que la configuración del sistema sea similar a una aplicación final en casi todas sus características.
- Se dan pruebas a escala en laboratorio y un sistema operativo condicionado. La diferencia mayor entre el nivel 4 y 5 es el incremento en la fidelidad del sistema y su ambiente hacia la aplicación final. El sistema probado es casi prototipo.
- La tecnología se ha validado a través de pruebas en el entorno previsto, simulada o real. El nuevo hardware está listo para comenzarse a usar; se refina el modelado de los procesos (técnica y económicamente). Se han validado evaluaciones del ciclo de vida y modelos de evaluación económica. Cuando sea relevante para su posterior ampliación, se han identificado los siguientes conceptos; salud y seguridad, limitaciones ambientales, regulatorios y de disponibilidad de recursos.
- Desarrollo de prototipo comercial.

#### Nivel 6: Demostración tecnológica.

- Sistema de ingeniería en validación en ambiente en condiciones relevantes a las reales operativas. Aún a nivel prototipo.
- Prototipo piloto con ingeniería con condiciones de escalamiento que le permitirán a la tecnología llegar a un sistema operativo. El prototipo debe ser capaz de desarrollar todas las funciones requeridas por un sistema operativo.
- Los componentes y los procesos se han ampliado para demostrar el potencial industrial. El hardware se ha modificado y ampliado. La mayoría de los problemas identificados anteriormente se han resuelto. El prototipo se ha probado en condiciones muy cercanas a las que se espera vaya a funcionar. Se ha identificado y modelado el sistema a escala comercial completa. Se ha perfeccionado la evaluación del ciclo de vida y la evaluación económica.
- Demostración de mercado - early adopters - Pruebas "Beta".

#### Nivel 7: Comisionamiento de sistemas.

- Prototipo completo demostrado en ambiente relevante.
- Prototipo final con sistema operativo funcional.
- Se ha demostrado que la tecnología funciona y opera a escala pre-comercial. Se han identificado las cuestiones de la fabricación y operaciones finales. Se han resuelto cuestiones tecnológicas menores. La evaluación del ciclo de vida y la evaluación económica se han perfeccionado.
- Primer corrida piloto y pruebas finales reales.

#### Nivel 8: Comisionamiento de sistemas.

- Sistema final completo y evaluado a través de pruebas y demostraciones.
- La tecnología ha sido probada en su forma final y bajo condiciones supuestas. En muchos casos significa el final del desarrollo del sistema.
- Todas las cuestiones operativas y de fabricación han sido resueltas. Se han elaborado documentos para la utilización y mantenimiento del producto. Se ha demostrado que la tecnología funciona a nivel comercial a través de una aplicación a gran escala.
- Primer corrida piloto y pruebas finales reales.

#### Nivel 9: Operación del sistema.

- Operación de Sistemas.
- La tecnología se encuentra en su forma final y operable en un sin número de condiciones operativas. Se habla de producto completamente desarrollado y disponible para la sociedad.
- Entrega de producto para producción en serie y comercialización.

Las etapas básicas para el desarrollo de un proyecto de EOR son: evaluación técnica, diseño, pruebas (simulación en laboratorio), piloto (campo), seguimiento y masificación.

#### **NOTA:**

*El objeto de esta convocatoria está enfocado al desarrollo de proyectos que contemplen como mínimo el nivel 4 de TRL (Technology Reading Level). En los criterios de*

*evaluación se dará relevancia a aquellos proyectos que demuestren la viabilidad de alcanzar los niveles superiores de la escala TRL.*

## **ACLARACIÓN DE LA DEFINICIÓN DE ‘PILOTO’ USADA EN EL PRESENTE DOCUMENTO**

Debido a que se puede presentar interpretaciones distintas para la palabra ‘piloto’, es importante distinguir entre el ‘piloto’ para proyectos de carácter científico, tecnológico e innovación respecto a la definición de ‘piloto’ como etapa de los proyectos de recobro mejorado (EOR) y que implica el desarrollo de patrones o arreglos de pozos, trabajos de workover y perforación.

Según el documento de tipología de proyectos calificados como de carácter CTel<sup>1</sup>, se define como Planta piloto “*al proceso que consiste en partes específicas ensambladas que operan como un todo armónico con el propósito de reproducir, a escala, procesos productivos. Facilita la posterior operación y aplicación a nivel industrial o en algún área de trabajo determinada; sirve además para la confrontación de la teoría (modelos) con la práctica y la experimentación en diversas áreas del conocimiento. Tiene como propósito:*

*-Predecir el comportamiento de una planta a nivel industrial, operando la planta piloto a condiciones similares a las esperadas. En este caso los datos obtenidos serán la base para el diseño de la planta industrial.*

*-Estudiar el comportamiento de plantas industriales ya construidas, en donde la planta piloto es una réplica y estará sujeta a condiciones de operación previstas para la planta industrial. En este caso a la planta piloto se le llama modelo y tiene como función principal, mostrar los efectos de los cambios en las condiciones de operación de manera más rápida y económica que si se realizaran en la planta original.”*

*La construcción y utilización de una planta piloto forman parte de la I+D, siempre y cuando el objetivo principal sea adquirir experiencia y obtener datos técnicos o de otro tipo que puedan utilizarse en:*

- La evaluación de hipótesis.*
- La elaboración de nuevas fórmulas de productos.*
- El establecimiento de nuevas especificaciones de producto terminado.*
- El diseño de equipo y estructuras especiales necesarias para un nuevo proceso.*
- La redacción de instrucciones de funcionamiento o manuales sobre el proceso.*
- Estandarización de lotes de prueba y puesta a punto de procesos productivos.”*

## **ALCANCE Y COMPONENTES DEL PROYECTO**

Con el desarrollo de los proyectos se espera alcanzar los siguientes resultados:

---

<sup>1</sup> Tipología de proyectos calificados como de carácter Científico, Tecnológico e Innovación. Consejo Nacional de Beneficios Tributarios, COLCIENCIAS. Versión 4-2016.  
[http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/upload/convocatoria/Anexo3-tipologia-proyectos-version4\\_1.pdf](http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/upload/convocatoria/Anexo3-tipologia-proyectos-version4_1.pdf).

- Desarrollo de pruebas piloto de las alternativas tecnológicas seleccionadas, las cuales incluyen mejoras de prototipos, protocolos y metodologías previamente desarrolladas por grupos de investigación.
- Desarrollo de herramientas y sistemas para la incorporación de técnicas de recobro mejorado: Plan de monitoreo y control de los pilotos con el fin de realizar el seguimiento y evaluación de resultados de las pruebas piloto.
- Transferencia tecnológica y la capacitación en aspectos técnico-operativos, comerciales y de gestión empresarial para empresas y usuarios del Sector. Elaboración de un (1) documento en el que se detalle la metodología asociada a la implementación de la tecnología, la cual contempla: diseño, ejecución y evaluación de la tecnología; un (1) documento de evaluación de costo/beneficio de los pilotos, donde se evidencien además recomendaciones para implementar su potencial expansión, un (1) documento con el desarrollo de la metodología para la selección de campos óptimos para la aplicación de las alternativas seleccionadas, un (1) documento con el informe de las modelamientos numéricos y simulaciones de las alternativas tecnológicas seleccionadas.
- Publicación o aceptación de publicación de artículos tipo Top o A.
- Formación de estudiantes de maestría y posgrados en las áreas de recobro mejorado.
- Ponencias en eventos especializados nacionales o internacionales sobre los resultados alcanzados en los proyectos de I+D.