MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN

INVITACIÓN PARA CONSOLIDACIÓN DE INICIATIVAS DE I+D EN RECOBRO MEJORADO DE HIDROCARBUROS - 2022

ANEXO 1
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA INVITACIÓN

1. ACTIVIDADES TÉCNICAS Y EJECUCIÓN DEL PROYECTO

A continuación, se indican los fundamentos técnicos a considerar en las propuestas que se presenten en la invitación:

MODALIDAD I

La creciente demanda de combustibles fósiles y la reducción de la producción de hidrocarburos de yacimientos convencionales, ha estimulado cada vez más la explotación de los yacimientos ricos en crudos pesados (CP) y extrapesados (CEP), mediante procesos que mejoran su movilidad en el yacimiento. En Colombia, los estudios de prospectiva geológica de las cuencas sedimentarias han demostrado que existe un potencial importante de este tipo de yacimientos, que permitirían aumentar el factor de recobro de los yacimientos y como consecuencia aumentar las reservas y producción del país.

Como alternativas para alcanzar éxitos en producción de crudos pesados y extrapesados, se han aplicado diferentes técnicas, siendo la utilización de nanotecnología, entre otras posibilidades, una perspectiva importante, que se vislumbra, tanto en yacimientos de CP y CEP, como una alternativa para el mejoramiento de propiedades reológicas que facilitan la movilidad de estos crudos.

Frente a esta problemática y de cara a encontrar una de las posibles soluciones al reto de poner barriles en superficie a partir de investigaciones, encontramos dos frentes de trabajo que deben ser abordados, uno es el recobro químico mejorado conocido como CEOR (por sus siglas en inglés), desarrollado en frio y el otro corresponde a tecnologías EOR que implican la utilización de temperaturas superiores a las del yacimiento.

Las tecnologías CEOR que se pueden investigar para su aplicación son varias, unas consisten en la adición de nanomateriales a sistemas de surfactantes y/o polímeros con el fin de mejorar la degradación de estos, frente a factores mecánicos físicos y/o químicos, además de potencializar propiedades deseables como sus efectos sobre la viscosificación del agua inyectada, reducción de la tensión interfacial e impactar favorablemente la alteración de la humectabilidad del medio poroso.

Por otra parte, las tecnologías térmicas de recobro mejorado basadas en la inyección de fluidos calientes al yacimiento impactan positivamente propiedades de movilidad del hidrocarburo, normalmente pesado o extrapesado.

Estas soluciones deben tener una propuesta moderna e innovadora que realice las pruebas piloto de las tecnologías desarrolladas y realice pruebas en laboratorio que demuestren la conveniencia de la utilización de vapor o agua caliente, buscando adicionalmente mejorar las condiciones de humectabilidad del medio poroso, ambas propiedades influenciadas positivamente por la presencia de nano-materiales; el estudio deberá probar que esta sinergia, en el caso del vapor, incrementa la eficiencia de la transferencia de calor a través del yacimiento, generando incluso reacciones catalíticas in situ del crudo, logrando up-grading a menores costos tecnológicos y económicos.

El estudio deberá probar también la aplicación de tecnologías transversales de recobro mejorado aplicadas en frio y calor, conocidas como de divergencia, que buscan bloquear de forma controlada canales preferenciales de flujo, para que la tecnología EOR implementada pueda barrer de una manera más homogénea el medio poroso.

En resumen, existe toda una gama de posibilidades de ampliar el conocimiento y comprobación en laboratorio con núcleos de yacimientos reales qué demuestren la efectividad de estos métodos térmicos en sinergia con nano partículas, que viabilicen la aplicación en un piloto real de campo.

El objetivo de esta modalidad es está enfocado al desarrollo de proyectos que contemplen como mínimo de inicio el nivel TRL 3 y que alcancen un nivel de TRL 7 o superior.

MODALIDAD II

La paulatina disminución de las reservas de hidrocarburos a nivel nacional, ha hecho necesaria la búsqueda de soluciones tecnológicas desarrolladas a través de investigación aplicada, que permitan afrontar uno de los principales retos de la política petrolera en Colombia, mejorar la eficiencia del factor de recobro de campos convencionales de hidrocarburos, maximizando la eficiencia energética mediante procesos que alteren las fuerzas capilares y mejoren la movilidad de los fluidos en yacimiento. Lo anterior, con miras a garantizar la autosuficiencia energética e impulsar la aplicación de tecnologías innovadoras para el país, mejorando tanto el índice de reservas como la producción de las mismas.

Frente a esta problemática, la industria nacional ha estado implementando métodos térmicos como inyección de vapor y químicos con aguas mejoradas entre los que podríamos citar polímeros y surfactantes, pero se requiere ahondar en nuevas aplicaciones tecnológicas de recuperación avanzada de petróleo, capaces de contribuir con el reto de incrementar la producción de yacimientos de crudos pesados a partir de procesos de investigación con mayor énfasis en estos.

Para abordar estos retos, se han identificado diferentes técnicas capaces de reducir la tensión interfacial y mejorar la razón de movilidad entre fluido inyectado y el crudo de interés, mediante el uso de coloides, geles, espumas, álcalis, emulsiones inversas, surfactantes poliméricos y otras nuevas tecnologías aún en desarrollo a nivel laboratorio, pero que pueden apuntar a los objetivos ya propuestos, ya sea en forma individual o en combinación entre ellas. Cabe destacar los métodos de recobro mejorado con químicos o CEOR, los cuales son prometedores para incrementar la eficiencia de barrido, además de presentar ventajas logísticas para ser aplicados a escala real usando las facilidades de superficie disponibles en algunos campos a nivel nacional.

Otras de las posibilidades se centran en el uso de sistemas coloidales capaces de elucidar propiedades tenso-activas y visco-elásticas al mismo tiempo, constituyendo una alternativa prometedora cuya eficiencia está directamente relacionada con las interacciones fluido/fluido y roca/fluido, potencializando efectos como la viscosificación de la fase inyectada, reducción de tensión interfacial y reducción de la permeabilidad relativa al agua (cambios de humectabilidad de la roca).

En todo caso, las investigaciones deben apuntar a mejorar la calidad y exactitud de la caracterización de las propiedades físico-químicas del yacimiento con tecnologías de punta que permiten disminuir las incertidumbres que afecten la exactitud de las investigaciones y estudios petrofísicos de los yacimientos. Este componente permite definir tanto la tecnología de recobro a aplicar, como generar mayor confianza en los resultados esperados.

En resumen, existe toda una gama de posibilidades de ampliar el conocimiento y comprobación en laboratorio con núcleos de yacimientos reales, que viabilicen la aplicación en un piloto real de campo, para alcanzar los objetivos que, como país, nos hemos fijado en el mediano plazo.

En el marco de las razones y motivaciones ya descritas, se hace necesario impulsar alianzas entre el Estado, la Industria y la Academia a través de sus grupos de investigación, que permitan juntar esfuerzos y recursos para

promover iniciativas que puedan brindar soluciones para el país en las problemáticas aquí planteadas, fortaleciendo la capacidad de investigación y sus aplicaciones en la industria.

El objetivo de esta modalidad está enfocado al desarrollo de proyectos que contemplen como mínimo el nivel de inicio TRL 3 y al finalizar el proyecto alcancen un TRL superior al inicial.

DESCRIPCIÓN DE LAS LINEAS

Una vez analizada la información y de acuerdo con las necesidades del sector se establecieron las siguientes líneas temáticas para la presente convocatoria, que debe incluir principalmente el desarrollo de modelos físicos, analíticos y numéricos que permitan generar y contribuir al conocimiento integral de la técnica y sus variantes tecnológicas, aplicables a campos colombianos y a las condiciones de los crudos nacionales. En este contexto, las investigaciones planteadas se pueden dirigir hacia el conocimiento, descripción y solución de problemas puntuales que se presentan en la aplicación del recobro mejorado, en el marco de las siguientes temáticas conforme a los fundamentos técnicos expuestos en el numeral anterior:

MODALIDAD I

Los proyectos deberán considerar en su estructuración las siguientes líneas temáticas:

- CEOR “Chemical Oil Recovery” incluyendo el uso de sistemas polímericos, geles de dispersión coloidal y/o surfactantes, de base tecnológica.
- Mejoramiento de movilidad de crudos pesados y extra-pesados a condiciones de yacimiento mediante aplicaciones de EOR en frío o térmicas.
- Generación de sistemas divergentes para mejorar la eficiencia de barrido y por tanto el factor de recobro.
- Desarrollo de trazadores amigables con el medio ambiente, que permitan apalancar transversalmente todas las operaciones de recobro mejorado, haciéndolas más eficientes y ecoamigables.
- Utilización de Nano materiales que aumenten la efectividad de los métodos de recobro mejorado.

MODALIDAD II

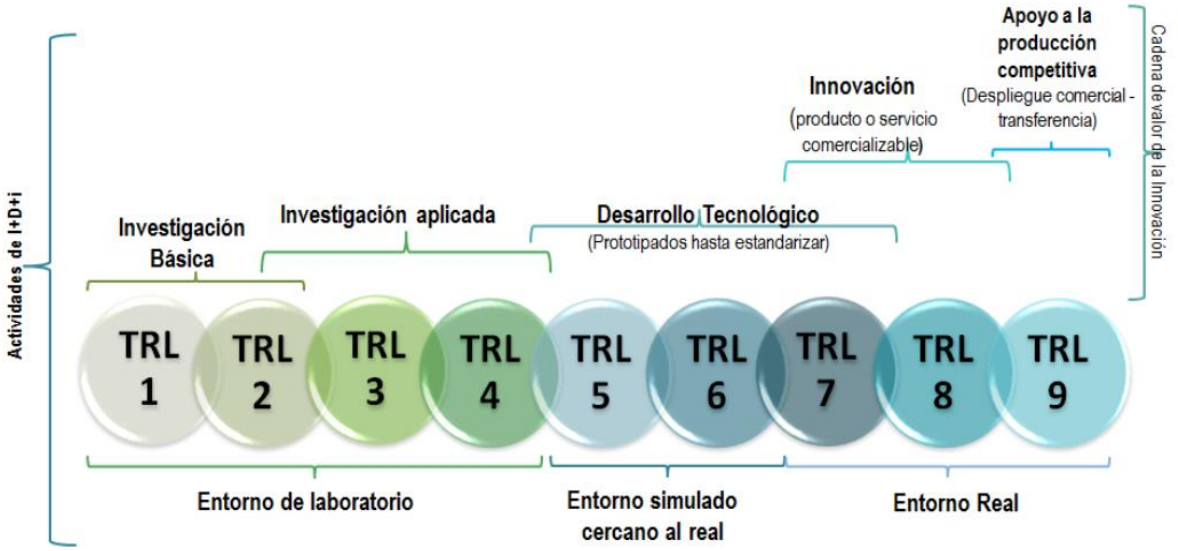
Los proyectos deberán considerar en su estructuración las siguientes líneas temáticas:

- Recobro con químicos (Chemical Enhanced Oil Recovery” - CEOR) para la mejora de la eficiencia de movilidad de los fluidos utilizando emulsiones inversas, polímeros, y/o surfactantes.
- Bloqueo o conformance de zonas de alta permeabilidad o canales preferenciales de flujo a través de sistemas coloidales.
- Recobro con químicos mediante la utilización de técnicas avanzadas de imágenes, que faciliten el entendimiento y descripción de los fenómenos a escala de poro. Tales como, tomografía computarizada (CT), micro-tomografía computarizada (µCT), microscopia electrónica de barrido (SEM), entre otras.
- Uso de sistemas coloidales que exhiban propiedades tenso-activas y visco-elásticas, tales como, surfactantes visco-elásticos, inyección de surfactante-polímero en el mismo bache de inyección, geles, entre otros.
- Generación de sistemas divergentes para mejorar la eficiencia de barrido y por tanto el factor de recobro.
- Aguas de baja salinidad, también llamadas aguas inteligentes o Smart Water.
- Aplicación de herramientas de última tecnología que permitan obtener información precisa de las características del yacimiento, con miras a realizar Screening para seleccionar proyectos de recobro mejorado aplicables a campos colombianos.

NIVELES DE MADUREZ TECNOLÓGICA – TRL

Teniendo en cuenta que la invitación 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.

En la siguiente grafica tomada del documento de Política de Actores del SNCTI se presenta un esfuerzo por relacionar el alcance de las diferentes etapas de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación I+D+i con los diferentes niveles de madurez del a tecnología o TRL. En el grafico las actividades que son consideradas como complementarias deben entenderse que tienen un mayor énfasis en el TRL que corresponde a la mayor intensidad de color de la actividad.



Relación de los TRL y las etapas de I+D+i[1]

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:

[1] Tipología de proyectos calificados como de carácter Científico, Tecnológico e Innovación. Consejo Nacional de Beneficios Tributarios MINCIENCIAS. Versión 5. https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/paginas/proyecto-documento-tipologias-_version-5.pdf

RELACIÓN ENTRE LAS ACTIVIDADES DE I+D+i Y LA TRL[1,2,3]

ACTIVIDAD DE I+D+i	TRL	CARACTERÍSTICAS	PRODUCTOS REPRESENTATIVOS
Investigación Básica	1. Principios básicos observados y reportados	Este corresponde al nivel más bajo en cuanto al nivel de maduración tecnológica. En este nivel comienza la investigación científica básica y se da inicio a la transición a la investigación aplicada. Las herramientas descriptivas pueden ser formulaciones matemáticas o algoritmos. En esta fase de desarrollo no existe todavía ningún grado de aplicación comercial.	Artículo de investigación.
	2. Concepto de tecnología y/o aplicación formulada – Investigación aplicada	La teoría y principios científicos están enfocados en áreas específicas de aplicación para definir el concepto. En esta fase 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 información valiosa para las posteriores pruebas de conceptos de la tecnología. Se pueden empezar a formular eventuales aplicaciones de las tecnologías y herramienta analíticas para la simulación o análisis. Sin embargo, todavía no se cuenta con pruebas que validen dicha aplicación. El tema de propiedad intelectual cobra gran interés.	
Investigación Aplicada	3. Prueba de concepto de las características analíticas y experimentales	Esta fase incluye la realización de actividades de investigación y desarrollo (I+D) dentro de las cuales se incluye la realización de pruebas analíticas, pruebas de concepto o a escala en laboratorio, orientadas a demostrar la factibilidad técnica de los conceptos tecnológicos. Se incluyen pruebas de laboratorio para medir parámetros y comparación con predicciones analíticas de subsistemas críticos. El concepto y los procesos han sido demostrados a escala de laboratorio. Esta fase implica la validación de los componentes de una tecnología específica, aunque esto no derive en la integración de todos los componentes en un sistema completo.	Artículos de investigación. Libros resultados de investigación. Capítulos en libros resultados de investigación. Productos tecnológicos patentados o en proceso de solicitud de patente
	4. Validación de componentes/ subsistemas en pruebas de laboratorio	Esta fase, los componentes que integran determinada tecnología han sido identificados y se busca establecer si dichos componentes individuales cuentan con las capacidades para actuar de manera integrada, funcionando conjuntamente en un sistema. Una unidad de prototipo ha sido construida en el laboratorio y en un entorno controlado. Las operaciones proporcionan datos para identificar el potencial de ampliación dado que se ha validado de manera preliminar el ciclo de vida y los modelos de evaluación económica iniciales. (diseño de producto).	
Desarrollo tecnológico	5. Validación de los sistemas, subsistemas o componentes en un entorno relevante	Los elementos básicos de determinada tecnología son integrados de manera que la configuración final es similar a su aplicación final, es decir que está listo para ser usado en la simulación de un entorno real, por lo que se mejoran los modelos tanto técnicos como económicos del diseño inicial, se ha identificado adicionalmente aspectos de seguridad, limitaciones ambientales y/o regulatorios entre otros. Sin embargo, la operatividad del sistema y tecnologías ocurre todavía a nivel de laboratorio. La principal diferencia entre el nivel 4 y 5 es el incremento en la fidelidad del sistema y su ambiente hacia la aplicación final.	Productos tecnológicos patentados o en proceso de solicitud de patente. Variedades vegetales. Productos de investigación-
	6. Validación de sistema, subsistema, modelo o prototipo en	En esta fase es posible contar con prototipos piloto capaces de desarrollar todas las funciones necesarias dentro de un sistema determinado, habiendo superado pruebas de factibilidad en condiciones de operación o funcionamiento real. Es posible que los componentes y los procesos se hayan ampliado para	

ACTIVIDAD DE I+D+i	TRL	CARACTERÍSTICAS	PRODUCTOS REPRESENTATIVOS
	condiciones cercanas a las reales	demostrar su potencial industrial en sistemas reales. La documentación disponible puede ser limitada, sin embargo, se puede iniciar la documentación con el prototipo que se ha probado en condiciones muy cercanas a las que se espera vaya a funcionar, se han identificado y modelado el sistema a escala comercial completa, perfeccionando la evaluación del ciclo de vida y la evaluación económica. El prototipo debe ser capaz de desarrollar todas las funciones requeridas por un sistema operativo en condiciones muy cercanas a las que se espera vaya a funcionar es la demostración de pruebas "Beta".	creación en artes, arquitectura y diseño. Productos tecnológicos certificados o validados: diseños industriales, esquemas de circuitos integrados, software, plantas piloto, prototipos industriales y signos distintivos.
	7. Demostración de sistema o prototipo validados en el entorno operativo real	El sistema se encuentra o está próximo a operar en escala pre-comercial. Es posible llevar a cabo la fase de identificación de aspectos relacionados con la fabricación, la evaluación del ciclo de vida, y la evaluación económica de las tecnologías, contando con la mayor parte de funciones disponibles para pruebas. La documentación disponible puede ser limitada, sin embargo, se cuenta con la demostración de que la tecnología funciona y opera a escala pre-comercial, se han perfeccionado la evaluación del ciclo de vida y la evolución económica. En esta etapa se realiza la primera corrida piloto y las pruebas finales reales.	
Innovación	8. Sistema completo y calificado a través de pruebas y demostraciones en ambientes operacionales	En esta fase, los sistemas están integrados, las tecnologías han sido probadas en su forma final y bajo condiciones supuestas, habiendo alcanzado en muchos casos, el final del desarrollo del sistema. Todas las cuestiones operativas y de fabricación han suido resueltas, la mayoría de la documentación disponible está completa ya que se cuenta con manuales para el uso y mantenimiento del producto. La tecnología ha sido probada en su forma final y bajo condiciones supuestas, por lo que se ha demostrado su potencial a nivel comercial. En muchos casos significa el final del desarrollo del sistema.	. Productos empresariales: secretos empresariales, empresas de base tecnológica (*spin-off* o *start-up*), empresas creativas y culturales, innovaciones generadas en la gestión empresarial e innovaciones en procesos y servicios. Regulaciones, normas, reglamentos o legislaciones
	9. Sistema probado y operando con éxito en un entorno real	Tecnología/sistema en su fase final y operable en un sin número de condiciones operativa, está probada y disponible para su comercialización y/o producción disponible para la sociedad. Entrega de producto o tecnología 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.	

Basado en:

1. "Etapas de maduración tecnológica, según metodología "*Technology Readiness Level*" de la NASA", Fondo de Innovación Tecnológica Secretaría de Economía – CONACYT.
2. https://www.nasa.gov/pdf/458490main_TRL_Definitions.pdf.
3. https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/txt_accordion1.html