



CONVOCATORIA ECOSISTEMAS EN ENERGÍA SOSTENIBLE, EFICIENTE Y ASEQUIBLE- 2023

ANEXO 3. NIVELES DE MADUREZ TECNOLÓGICA (TRL) Y DE MANUFACTURA (MRL)

Para definir el alcance de las actividades asociadas a la Investigación, el Desarrollo tecnológico y la Innovación (I+D+i) de las propuestas de Programas, y considerando sus posibilidades de transferencia de conocimiento y tecnologías generados, es conveniente establecer el grado de madurez tecnológica de los resultados esperados de los Programas de I+D+i y sus proyectos asociados en los ejes temáticos en los que se enmarca la convocatoria. En tal sentido, resulta de utilidad identificar el alcance de dichas actividades en términos del concepto de Nivel de Madurez Tecnológica o TRL por sus siglas en inglés (Technology Readiness Level) y del concepto de Nivel de Madurez de Manufactura o MRL por sus siglas en inglés (Manufacture Readiness Level), que tuvo su origen en la NASA a mediados de los años 70¹.

El TRL, a pesar de haber sido creado para establecer el grado de madurez tecnológica de determinadas tecnologías, ha sido adaptado para otros usos. Particularmente Colciencias, entidad fusionada al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, usó como referente una adaptación del esquema TRL para la organización de las actividades relacionadas con la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación de los actores del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación - SNCTI, con el fin de caracterizar el rol y la concentración de estos actores, según se evidencia en el Documento de Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación N° 1602².

El TRL sirve para identificar la correspondencia de las actividades de I+D+i con las diferentes etapas del desarrollo tecnológico, y, como todo modelo, corresponde a una simplificación práctica de la realidad, por lo que debe interpretarse de acuerdo con el contexto. El TRL puede ser aplicado también a las ciencias sociales, la economía, las artes, las humanidades, los negocios, el lenguaje y la educación:

“...entendiendo las dificultades que pueden existir en ocasiones para delimitar con precisión los límites entre investigación básica y aplicada, el desarrollo tecnológico y la innovación, así como las sustanciales diferencias que surgen si se compara la realización de esas actividades en el marco de las ciencias básicas o las ingenierías. De la misma forma, la interacción permanente que se da entre diferentes disciplinas durante los procesos de generación y aplicación de conocimiento, también dificultan el establecimiento de límites entre un TRL y otro o entre investigación básica y aplicada. De esta manera, la correspondencia entre las actividades de I+D+i y los TRL debe ser interpretada a luz de la dinámica particular y los objetos de estudio de cada disciplina...”

¹Documento de Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación N° 1602: Actores del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. COLCIENCIAS, 2016

²Documento de Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación N° 1602: Actores del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. 2016. COLCIENCIAS, Página 12.

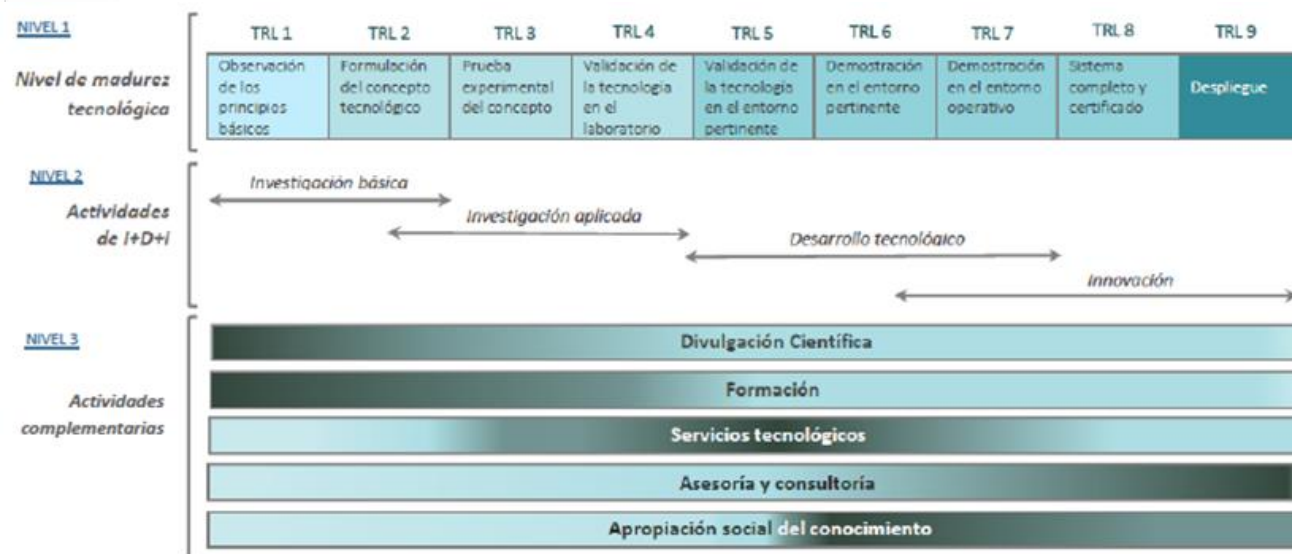


Figura 1. Relación de TRL y etapas de I+D+i³

Con lo anterior, se manifiesta la posibilidad de aprovechar el concepto TRL para definir el grado de madurez tecnológica de las propuestas de Programas de I+D+i y sus proyectos asociados en los ejes temáticos de la Convocatoria. La relación entre un determinado nivel TRL y cualquiera de las etapas o actividades de I+D+i, conlleva una implicación intrínseca en la manera cómo se evalúa el nivel de adopción social de un producto, una tecnología, un proceso o una innovación (social o tecnológica) para ser transferido e integrado a la sociedad.

Para la presente Convocatoria se requiere que en la formulación del Programa como de los proyectos, identifiquen el nivel TRL que se pretende alcanzar, el cual debe ser coherente con las trayectorias previas y con los productos que se planteen como resultados de las actividades de generación de nuevo conocimiento, de desarrollo tecnológico e innovación, de apropiación social del conocimiento y de formación de recurso humano para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación (Ver Anexo 5 - Descripción de los Productos Esperados).

A continuación, se definen las características de cada TRL, y su asociación con las etapas de I+D+i, así como con los productos de generación de nuevo conocimiento y de desarrollo tecnológico e innovación representativos. Se debe entender que los productos de apropiación social del conocimiento y de formación de recurso humano son inherentes a las distintas etapas y niveles TRL, por tanto, también son productos esperados en las propuestas. Así mismo, la siguiente información debe ser entendida por el proponente como una guía para orientar la definición de los alcances de la propuesta a través del Programa y los proyectos que los conforman. Los requerimientos de existencia y calidad de los productos deben ser consultados en Anexo 5- Descripción de los Productos Esperados.

RELACIÓN ENTRE LAS ACTIVIDADES DE I+D+i Y LA TRL

³Documento de Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación N° 1602: Actores del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. 2016. COLCIENCIAS, Página 12.



ACTIVIDAD DE I+D+i	TRL	CARACTERÍSTICAS	PRODUCTOS REPRESENTATIVOS
Investigación Básica	1. Observación de los principios básicos.	<ul style="list-style-type: none">Los principios básicos de la idea han sido cualitativamente postulados y observados. La investigación científica inicial se ha completado y comienza la transición hacia la investigación aplicada.	Artículo de investigación.
	2. Formulación del concepto.	<ul style="list-style-type: none">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 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 herramientas analíticas para la simulación o análisis de la aplicación.Se comienzan a formular posibles usos o aplicaciones de la tecnología, se identifican potenciales impactos sociales y stakeholders relevantes. <p>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.</p>	
Investigación Aplicada	3. Prueba experimental del concepto.	<ul style="list-style-type: none">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. <p>Inicio de la validación de la idea de aplicación, del posible producto y/o mercado con stakeholders relevantes.</p>	Artículos de investigación. Libros resultados de investigación. Capítulos en libros resultados de investigación. Productos tecnológicos patentados o en proceso de solicitud de patente



	<p>4. Validación del desarrollo en entorno de laboratorio.</p>	<ul style="list-style-type: none">● Validación de componentes o el sistema en un ambiente de laboratorio. Los componentes básicos están integrados, estableciendo que funcionarán en conjunto.● Los niveles del 4 al 6 representan el puente de la investigación científica a la ingeniería o al desarrollo tecnológico. Este nivel es el primero para determinar si los componentes individuales trabajarán juntos como un sistema.● 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. Se contemplan los diseños preliminares de producto o proceso.● 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 y social.	
Desarrollo Tecnológico	<p>5. Validación del desarrollo en entorno pertinente.</p>	<ul style="list-style-type: none">● Componentes tecnológicos integrados de manera que la configuración del sistema sea similar a su aplicación final en casi todas sus características. Su operatividad es aún a nivel laboratorio. Se dan pruebas a escala en laboratorio en un sistema operativo condicionado. La principal diferencia entre el nivel 4 y 5 es el incremento en la fidelidad del sistema y su ambiente hacia la aplicación final.● La tecnología se ha validado a través de pruebas en el entorno previsto simulada o real. El nuevo hardware está listo para comenzar su uso y 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.	<p>Productos tecnológicos patentados o en proceso de solicitud de patente.</p> <p>Variedades vegetales.</p> <p>Productos de investigación-creación en artes, arquitectura y diseño.</p>



	6. Demostración del desarrollo en entorno pertinente.	<ul style="list-style-type: none">● Sistema en validación en ambiente en condiciones relevantes a las reales operativas. Prototipo piloto con diseño detallado y 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) o de adopción social en cooperación con stakeholders para obtener retroalimentación inicial de impactos.	Productos tecnológicos certificados o validados: diseños industriales, esquemas de circuitos integrados, software, plantas piloto, prototipos industriales y signos distintivos.
	7. Demostración del desarrollo en el entorno real	<ul style="list-style-type: none">● Prototipo completo con sistema operativo funcional demostrado en ambiente real. Primera corrida piloto y pruebas finales reales. Se ha demostrado que la tecnología funciona y opera a escala precomercial. Se han identificado las cuestiones de la fabricación y operaciones finales. Se han resuelto cuestiones tecnológicas menores.● Evaluación económica y de ciclo de vida perfeccionadas. Revalidación con stakeholders.	
Innovación	8. Desarrollo completo y certificado	<ul style="list-style-type: none">● 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. Las soluciones propuestas, así como un plan para adaptación social han sido terminados y validados. Difusión de resultados.	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. Despliegue del desarrollo.	<ul style="list-style-type: none">● Operación del sistema.● La tecnología se encuentra en su forma final y operable en un sin número de condiciones operativas. Se habla de un producto completamente desarrollado y disponible para la sociedad.● Entrega de producto o tecnología para producción en serie y comercialización. Transferencia y apropiación de resultados en comunidades objetivo. Difusión de resultados.	



ALISTAMIENTO DE MANUFACTURA EN CORRELACIÓN CON LA TRL

ETAPA	MRL	PRODUCTOS REPRESENTATIVOS
Aspectos básicos de manufactura	1	Preparación para la fabricación. Se enfoca en resolver deficiencias de fabricación y establecer las oportunidades de lograr los objetivos del programa, con sustento en estudios.
Conceptos básicos de manufactura	2	Aplicación de nuevos conceptos de fabricación. Normalmente, este nivel de preparación incluye la identificación, los estudios en papel y el análisis enfocado en material y proceso. Conduce a la comprensión de la viabilidad y el riesgo de la fabricación.
Desarrollo de la prueba de concepto de manufactura	3	Validación de los conceptos de fabricación mediante experimentos analíticos o de laboratorio. Aplica en el caso de materiales y/o procesos que se han caracterizado por su potencial de fabricación y disponibilidad, pero que requieren más evaluaciones y
Capacidad de producción de la tecnología en entorno de laboratorio	4	Fase de análisis de soluciones materiales: En esta etapa se identifican las inversiones necesarias para el desarrollo de la tecnología de manufactura. Las tecnologías deben haber sido maduras hasta la TRL 4. Este nivel indica que las tecnologías están listas para iniciar la fase de desarrollo de la tecnología correspondiente a la adquisición.
Capacidad de producción de componentes prototipo en entorno relevante	5	Punto intermedio entre la fase de adquisición para ingeniería y manufactura y la demostración avanzada de la tecnología. Las tecnologías deben haber sido maduras hasta la TRL 5.
Capacidad de producir un sistema o subsistema prototipo en entorno relevante de producción	6	Entrada a la fase de adquisición para ingeniería y manufactura de tecnología: En esta etapa se define y caracteriza la mayoría de los procesos de manufactura. Las tecnologías deben haber sido maduras al menos hasta la TRL 6.
Capacidad de producir sistemas, subsistemas o componentes en un entorno representativo de producción	7	Fase de desarrollo de Ingeniería y Manufactura: Este nivel es típico de la etapa intermedia del desarrollo de ingeniería y manufactura y conduce a la Revisión Crítica del Diseño (CDR). Las tecnologías deben estar en camino de lograr la TRL 7. La etapa de diseño detallado del sistema está cerca de ser culminada.
Demostración de la capacidad de la línea piloto; Lista para comenzar la producción inicial a baja tasa.	8	<p>Entrada a la producción a baja tasa: Este nivel es la base para entrar en la producción inicial a baja tasa de producción. Las tecnologías deben haber sido maduras hasta el menos la TRL 7. El diseño detallado del sistema debe estar completo y ser lo suficientemente estable como para entrar a la producción inicial.</p> <p>Actividades: a) Prueba de todos los materiales, mano de obra, herramientas, ensayos de equipamiento y facilidades para la línea piloto, de manera que las condiciones se adapten al cronograma de producción a baja tasa planeado. b) Prueba de los procesos y procedimientos de manufactura y calidad en ambiente de línea piloto y bajo control y alistamiento para baja tasa de producción. c) Minimización de los riesgos de producción. d) Los análisis de modelo de costos y producción y tasa de producción son actualizados con los resultados de la línea piloto. e) Realización y terminación de la prueba de proveedores y primera inspección del artículo. f) Finalización de la evaluación de las capacidades industriales y demostración del establecimiento de la cadena de insumos que soporta la baja tasa de producción inicial.</p>
Demostración de producción de baja tasa; Capacidad local para empezar la producción a tasa completa	9	<p>Entrada a la tasa máxima de producción: A este nivel, el sistema, componente o ítem ha sido producido previamente, está en producción, o se ha logrado la baja tasa inicial de producción. Las tecnologías deben haber madurado hasta la TRL 9 y el sistema está listo para entrar a máxima tasa de producción.</p> <p>Actividades: a) Cumplimiento de todos los requisitos de ingeniería y diseño de sistemas, de manera que hay cambios mínimos del sistema. b) Las principales</p>



		características de diseño del sistema han sido probadas y evaluadas y son estables. c) Los materiales, piezas, mano de obra, herramientas, equipos e instalaciones de prueba están disponibles para cumplir con los cronogramas de la tasa de producción planificada. d) La capacidad del proceso de fabricación en ambiente de producción a baja tasa tiene un nivel de calidad adecuado para cumplir con las tolerancias de las características clave del diseño. e) El seguimiento de los riesgos de producción está en curso. f) Los objetivos de costos de la producción inicial a baja tasa se cumplen, y se analizan las curvas de aprendizaje con datos reales. g) Desarrollo del modelo de costos para el entorno de máxima producción, garantizando la mejora continua.
Demostración de la tasa completa de producción; Prácticas de producción ajustada en su lugar	10	Máximo nivel de alistamiento de producción. Las tecnologías deben haber sido maduras hasta la TRL 9. Este nivel de manufactura se asocia normalmente con la producción o fases de sostenimiento del ciclo de vida de la adquisición. Los cambios en ingeniería y diseño son pocos y generalmente se limitan a mejoras de la calidad y costos. El sistema, los componentes o ítems se encuentran en la máxima tasa de producción y tienen en cuenta todos los requisitos relacionados con ingeniería, desempeño, calidad y confiabilidad. La capacidad del proceso de producción se encuentra a un nivel apropiado de calidad. Todos los materiales, herramientas, equipos de pruebas e inspección, facilidades y mano de obra se encuentran en su lugar y han cumplido con los requisitos para la máxima tasa de producción. Los costos unitarios a esa tasa de producción se ajustan a las metas y el financiamiento es suficiente para la producción a la tasa requerida. Las prácticas en sitio están bien establecidas y los procesos de mejora continua se encuentran en curso.

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