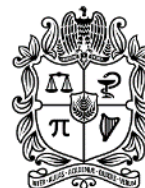
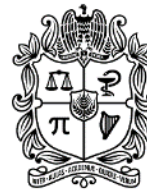


GUÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN DEL GRADO DE MADUREZ (TRL)



1. Información General del Documento	
Objetivo:	Identificar el grado de madurez (TRL) de las soluciones o desarrollos tecnológicos resultantes de proyectos.
Alcance:	Inicia con la identificación de una solución o desarrollo tecnológico como resultado de un proyecto ejecutado por la Facultad de Minas y finaliza con la clasificación de la misma de acuerdo con la escala de TRL.
Justificación (Opcional):	La información recolectada mediante esta identificación deberá alimentar una metodología de priorización de tecnologías que conlleve a un plan de inversión en desarrollo tecnológico, donde se puede invertir para llevar las invenciones a un nivel más avanzado de desarrollo, con el fin de lograr licenciamientos, spin off, evaluación prospectiva del potencial. Estos insumos deben alimentar el plan para tomar decisiones de inversión.
Definiciones:	<p>Nivel de Madurez Tecnológica o TRL: Metodología que 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 (MinCiencias).</p> <p><i>Ver definiciones de cada uno de los TRL en el desarrollo de la guía.</i></p> <p>Definición de nivel o TRL según las actividades de I+D+i</p> <p>Investigación básica: TRL 1 observación de los principios básicos y TRL 2 formulación del concepto.</p> <p>Investigación aplicada: TRL 3 prueba experimental del concepto y TRL 4 validación del desarrollo en entorno laboratorio.</p> <p>Desarrollo Tecnológico: TRL 5 validación del desarrollo en entorno pertinente, TRL 6 demostración del desarrollo en entorno pertinente y TRL 7 demostración del desarrollo en el entorno real.</p> <p>Innovación: TRL 8 desarrollo completo y certificado y TRL 9 despliegue del desarrollo.</p> <p>Tecnología: Para esta clasificación, se entiende una tecnología como la suma de técnicas, habilidades, métodos y procesos que tienen el objetivo de ser utilizados en la producción de bienes o servicios.</p> <p>Componentes de la tecnología: Se puede aplicar la clasificación de TRL a un paquete tecnológico compuesto de diferentes tecnologías, o a cada uno de los componentes.</p>
Documentos de Referencia (Opcional):	Escala de Technology Readiness Level https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/technolo



	<p>gy readiness level https://www.nasa.gov/pdf/458490main_TRL_Definitions.pdf https://es.wikipedia.org/wiki/Tecnolog%C3%ADa</p>
<p>Condiciones Generales:</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. El director de proyecto deberá evaluar la solución o desarrollo tecnológico de acuerdo con la escala TRL y las actividades realizadas en el marco del escalamiento. 2. Los proyectos de investigación deberán contar con una clasificación de TRL al inicio (creación) y al final (liquidación) de su ejecución. 3. Se hace uso de esta guía cuando la Vicedecanatura de Investigación y Extensión (VIE) inicia un proceso de creación de proyecto o a petición de profesores o investigadores para madurar e impulsar iniciativas de Ciencia y Tecnología, Desarrollo Tecnológico y Spin Off. 4. El resultado de la clasificación de TRL de cada tecnología asociada a un proyecto se registrará en la base de datos de proyectos de la Vicedecanatura de Investigación y Extensión, antes de iniciar el proyecto y en su finalización. 5. Esta clasificación se realizará en la reunión de inducción mediante una encuesta realizada por la VIE. 6. La clasificación del TRL se considera un autodiagnóstico, es una clasificación del avance que se lleva hasta el momento, no se requiere una validación externa. Cada docente debe justificar la razón de su clasificación.

Desarrollo del contenido

Para establecer el grado de madurez de la tecnología se deben tener en cuenta los elementos y parámetros presentados en la siguiente tabla, la cual contiene preguntas claves para la identificación y clasificación del TRL.

Para las preguntas relacionadas en la columna de parámetros esperados, responder con un sí o no.

TRL	Elementos clave	Definición MinCiencias	Parámetros esperados al final de la etapa. Si no ha cumplido con los siguientes aspectos, se encuentra en un nivel inferior del TRL.
1	Investigación básica. Principios básicos observados y reportados.	TRL 1: Investigación básica. Principios básicos observados y reportados: Este corresponde al nivel más bajo en cuanto al	¿La investigación científica inicial se ha culminado, donde los principios fundamentales de la idea han podido ser postulados y observados?



	Artículos científicos publicados sobre los principios de la nueva tecnología.	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.	¿Cuenta con artículos científicos publicados con los principios básicos de su investigación?
2	<p>Investigación de laboratorio. Concepto tecnológico y/o aplicación tecnológica formulada. Investigación aplicada.</p> <p>Publicaciones o referencias que subrayan las aplicaciones de la nueva tecnología.</p>	<p>TRL 2: Formulación de la tecnología.</p> <p>Concepto de tecnología y/o aplicación formulada.</p> <p>Investigación aplicada.</p> <p>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.</p>	¿Se han desarrollado estudios analíticos para confirmar los principios básicos de la tecnología?
			¿Se han iniciado investigaciones aplicadas y se han identificado aplicaciones prácticas?
			¿Se ha identificado una solución de diseño empírica o teórica?
			¿El concepto de la tecnología, su aplicación y su puesta en práctica han sido formulados?
			¿Ha explorado posibles usuarios del desarrollo?
¿Cuenta con un grupo de investigación que pueda facilitar la evaluación inicial de factibilidad de la tecnología?			
3	<p>Investigación de laboratorio. Una prueba de concepto es una implementación, a menudo resumida o</p>	<p>TRL 3: Investigación aplicada. Prueba de concepto.</p> <p>Pruebas de concepto de las características analíticas y experimentales. Esta fase incluye la realización de</p>	¿Tiene identificados los componentes de su tecnología?
			¿Ha llevado a cabo algún proceso de validación de mercado de su tecnología? (I+D en laboratorio más primeras entrevistas con posibles usuarios)



	<p>incompleta, de un método o de una idea, realizada con el propósito de verificar que el concepto o teoría en cuestión es funcional y puede desarrollarse. Prueba experimental de concepto</p> <p>Primera evaluación de la factibilidad de un concepto y su tecnología.</p>	<p>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.</p>	<p>¿Se han iniciado las pruebas preliminares de los componentes y se ha establecido la viabilidad técnica en un entorno de laboratorio?</p> <p>¿Ha realizado un estudio o exploración sobre los aspectos regulatorios (comités de ética, normas, ISO's, y certificaciones) que son requeridos para su desarrollo?</p>
<p>4</p>	<p>Desarrollo tecnológico. Validación tecnológica a nivel laboratorio</p> <p>Validación de un prototipo inicial con componentes integrados en laboratorio con baja confiabilidad de comportamiento.</p>	<p>TRL 4: Desarrollo a pequeña escala (laboratorio). Validación de componentes/subsistemas en pruebas de laboratorio. En 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</p>	<p>¿Ha integrado los componentes principales de su tecnología?</p> <p>¿Ha realizado pruebas de validación de efectividad de la tecnología en laboratorio?</p> <p>¿Ha continuado la validación de mercado de su desarrollo con más entrevistas con usuarios potenciales?</p> <p>¿Tiene usted un prototipo (así sea incompleto o por mejorar) de su desarrollo?</p> <p>¿Se han completado las pruebas iniciales de los componentes integrados en un entorno de laboratorio?</p>



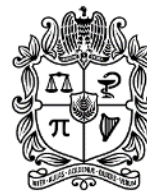
		el ciclo de vida y los modelos de evaluación económica iniciales (diseño de producto).	
5	<p>Desarrollo tecnológico. Tecnología <i>validada</i> en laboratorio, pero en condiciones de un entorno relevante (condiciones que simulan condiciones existentes en un entorno real).</p> <p>La integración de los componentes empieza a ser de alta confiabilidad. Para el caso de plataformas tecnológicas, el ambiente relevante debe considerar condiciones industriales, no de laboratorio experimental académico. Proceso de planeación del negocio</p>	<p>TRL 5: Desarrollo a escala real. Validación de los sistemas, subsistemas o componentes en un entorno relevante (o industrialmente relevante en caso de tecnologías habilitadoras clave). 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.</p>	<p>¿Ha probado su prototipo a una escala mayor que laboratorio?</p>
			<p>¿Tiene plenamente identificadas y considerados aspectos involucrados en la producción a una escala mayor de laboratorio (costos de materias primas, equipos, adecuaciones de infraestructura, costos energéticos)?</p>
6	<p>Demostración tecnológica. Tecnología <i>demostrada</i> en un ambiente relevante</p> <p>Para el caso de plataformas tecnológicas, el ambiente relevante</p>	<p>TRL 6: Sistema/prototipo validado en entorno simulado. Validación de sistema, subsistema, modelo o prototipo en condiciones cercanas a las reales. En esta fase es posible contar con prototipos piloto capaces de desarrollar todas las funciones necesarias dentro de un sistema determinado,</p>	<p>¿El prototipo cumple con las normas y/o previsiones legales o del medio ambiente del sector?</p>
			<p>¿El producto/sistema ha sido escalado desde la escala de laboratorio a la escala piloto y se han identificado los problemas que pueden afectar el escalamiento?</p> <p>¿Inicio el proceso sobre el registro de las certificaciones requeridas por instancias gubernamentales para la producción y el despliegue del prototipo?</p>



	<p>debe considerar condiciones industriales, no de laboratorio experimental académico.</p> <p>Pre-producción de un producto, incluyendo pruebas en un ambiente real.</p>	<p>habiendo superado pruebas de factibilidad en condiciones de operación o funcionamiento real. Es posible que los componentes y los procesos se hayan ampliado para 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».</p>	<p>¿El prototipo ha sido validado por una empresa productora o del sector con buenos resultados?</p>
7	<p>Desarrollo de producto. Demostración de prototipo a nivel sistema en un ambiente operativo real (sistema real).</p> <p>Producción a baja escala para demostración en ambiente operativo real.</p>	<p>TRL 7: Sistema/prototipo validado en entorno real. 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,</p>	<p>¿Cuenta con un proceso de producción en baja escala? (produciendo productos comerciales). ¿La tecnología se ha demostrado con éxito en un entorno operacional?</p>
			<p>¿Cuenta con usuarios potenciales que prueben la versión final del producto?</p>
			<p>¿Cuenta con una estructura organizacional adecuada para la implementación?</p>
			<p>¿Cuenta con un producto terminado para prueba de primeros clientes?</p>



		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.	
8	<p>Desarrollo de producto. Sistema completo y evaluado</p> <p>Manufacturabilidad probada y validada para ambiente real.</p> <p>Sistema completo y certificado. Producto o servicio comercializable. Resultados de las pruebas del sistema en su configuración final.</p>	<p>TRL 8: Primer sistema/prototipo comercial.</p> <p>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 sido 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.</p>	<p>¿Tiene un producto comercializable?</p>
			<p>¿Se encuentra produciendo el producto en su versión final?</p>
9	<p>Producto terminado. Pruebas con éxito en entorno real. Despliegue.</p> <p>Tecnología disponible en el mercado. Aplicación comercial.</p>	<p>TRL 9: Aplicación comercial. 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</p>	<p>¿Todas las cuestiones operacionales y de fabricación han sido resueltas?</p>
			<p>¿La tecnología ha sido completamente desarrollada y está disponible comercialmente?</p>
			<p>¿Cuenta con producción sostenida?</p>
			<p>¿Los procesos de manufactura y producción son optimizados a través de innovaciones incrementales?</p>



		sociedad. Entrega de producto o tecnología para producción en serie y comercialización.	
--	--	---	--

Elaboró:	Gerson Miguel Bedoya Laura Cristina Gómez Villada	Revisó:	Jorge Iván Tobón Walter Lugo Castañeda	Aprobó:	Walter Lugo Castañeda
Cargo:	Profesional de apoyo VIE Profesional de apoyo CDi	Cargo:	Vicedecano de Investigación y Extensión Director Centro de Desarrollo e Innovación	Cargo:	Director Centro de Desarrollo e Innovación
Fecha:	Octubre 15/2021	Fecha:	Noviembre 11/2021	Fecha:	Noviembre 11/2021