

NIVELES DE MADUREZ TECNOLÓGICA (TRL)

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

ACTIVIDAD DE I+D+i	TRL	CARACTERÍSTICAS	NIVEL DE MADURES MARQUE CON UNA “X”
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. 	.
	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 <i>stakeholders</i> relevantes. • 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. 	

ACTIVIDAD DE I+D+i	TRL	CARACTERÍSTICAS	NIVEL DE MADURES MARQUE CON UNA "X"
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. ● Inicio de la validación de la idea de aplicación, del posible producto y/o mercado con <i>stakeholders</i> relevantes. 	
	4. Validación del desarrollo en entorno laboratorio	<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. 	

ACTIVIDAD DE I+D+i	TRL	CARACTERÍSTICAS	NIVEL DE MADURES MARQUE CON UNA "X"
Desarrollo tecnológico	5. Validación del desarrollo en entorno pertinente	<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. 	
	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 (<i>early adopters</i>) o de adopción social en cooperación con <i>stakeholders</i> para obtener retroalimentación inicial de impactos. 	

ACTIVIDAD DE I+D+i	TRL	CARACTERÍSTICAS	NIVEL DE MADURES MARQUE CON UNA "X"
	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 <i>stakeholders</i>. 	
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. 	
	9. Despliegue del desarrollo	<p>Operación del sistema.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 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. 	

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