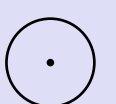


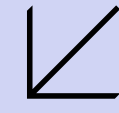
Technology Readiness Level (TRL)



DIC.2025



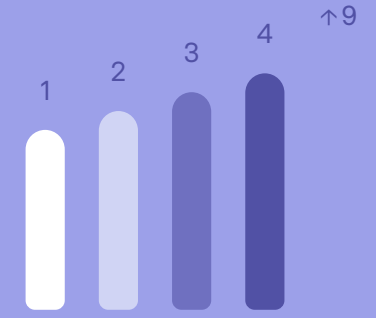
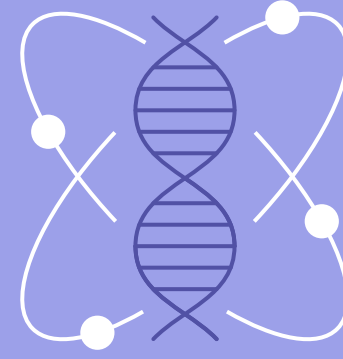
Technology Readiness Level (TRL)



DIC.2025

En el mundo de la innovación científica no basta con tener una gran idea, es necesario demostrar qué tan lista está una tecnología para transitar del laboratorio a la práctica. Para esto existe la escala del **Nivel de Maduración Tecnológica (Technology Readiness Level, TRL)**.

01



¿Qué es el TRL?



El **Nivel de Maduración Tecnológica o Technology Readiness Level (TRL)**, por sus siglas en inglés, es una escala de medición utilizada para evaluar o medir el grado de avance en el desarrollo de una tecnología específica. Este sistema creado originalmente por la **NASA** y adoptado a nivel global, permite que cada proyecto tecnológico sea evaluado con base en una serie de parámetros que definen cada nivel tecnológico, asignándose a una clasificación basada en el progreso del proyecto.

01

Existen nueve niveles de maduración tecnológica, en donde el TRL 1 es el progreso más bajo, mientras que el TRL 9 es el nivel más alto.

El TRL se ha convertido en una herramienta esencial para instituciones de investigación, empresas y gobiernos, ya que ofrecen un lenguaje normalizado para la evaluación de proyectos tecnológicos, facilitando la toma de decisiones de inversión y la planeación de la transición de la tecnología desde su fase inicial hasta su etapa final en el mercado.

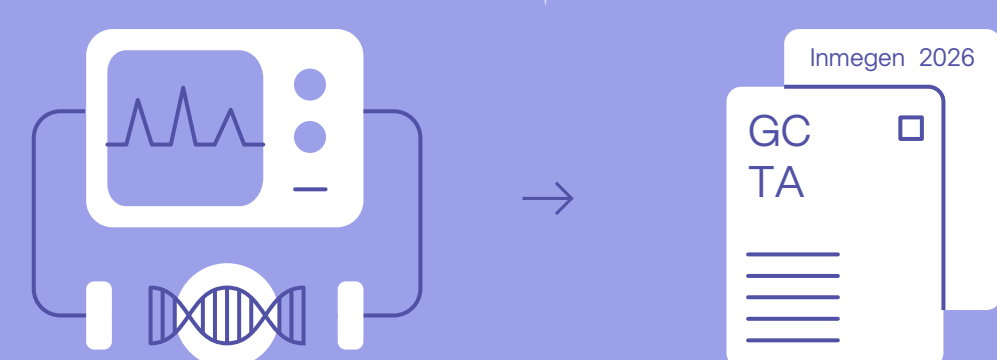
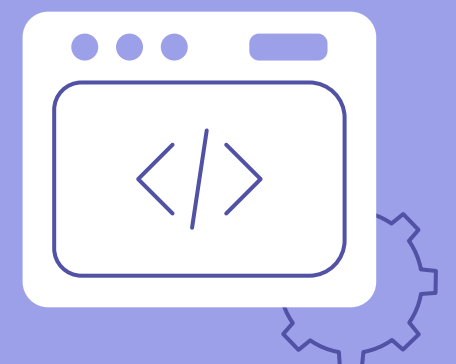
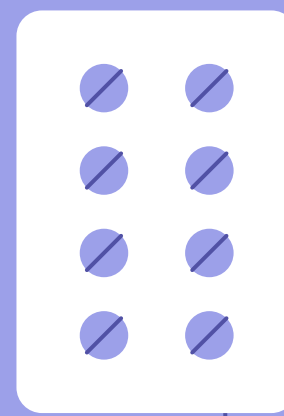
02

¿Cuáles son los niveles del TRL?



El TRL originalmente desarrollado por la NASA se ha adaptado a diferentes sectores tecnológicos en función de las etapas, más o menos estandarizadas, para cada tipo de tecnología, por ejemplo, para el desarrollo de medicamentos, para dispositivos de diagnóstico o para herramientas de software, y la definición de cada uno de los niveles cambia dependiendo de quien realice la adaptación.

01



En vista de que una de las principales aplicaciones potenciales en los proyectos desarrollados en el INMEGEN es la de los dispositivos para el diagnóstico médico, a continuación te mostramos una adaptación del TRL para este tipo de tecnologías:

02

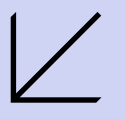
Tabla 1.

Niveles de maduración tecnológica para el desarrollo de dispositivos de diagnóstico in vitro.

Nivel de madurez tecnológica	Descripción
01 Investigación básica	Comienza la investigación científica básica y la transición a la investigación aplicada. Es el equivalente a un protocolo de investigación o una idea de tecnología a nivel conceptual.
02 Investigación aplicada	Se define el concepto de la tecnología y/o aplicación tecnológica. Corresponde al desarrollo experimental de un proyecto y la obtención de resultados preliminares que dan lugar a cambios o mejoras en el desarrollo del proyecto.
03 Prueba de concepto	Se realizan las pruebas experimentales para definir las características de la tecnología y la primera evaluación de la factibilidad del concepto asociado a la tecnología. Equivale a la demostración de la hipótesis de funcionamiento del producto o proceso a desarrollar. Para este momento se cuenta con evidencia experimental, a nivel laboratorio, que brinda indicios de que una tecnología es técnicamente viable.
04 Prototipo a nivel laboratorio	Se realiza la integración de los componentes de la tecnología (reactivos, <i>hardware</i> y/o <i>software</i> necesarios para implementar la prueba para su aplicación clínica) en un prototipo inicial y su validación a nivel laboratorio.
05 Prototipo en ambiente relevante	Se realizan mejoras al prototipo inicial y su validación en condiciones de un entorno relevante (escenarios que simulan las condiciones existentes en un entorno real, con potenciales usuarios de la tecnología).
06 Producción a nivel piloto	Generación de un pre-producto o una producción piloto del producto final y su evaluación en un entorno real con usuarios potenciales.
07 Validación clínica	Producción a baja escala para demostración del producto o proceso como sistema en un ambiente operativo real. Se realiza la validación clínica de la prueba.
08 Producción a nivel industrial	Se estandariza la producción a nivel industrial. Manufactura probada y validada en ambiente real. Se realiza la certificación del producto con las autoridades competentes.
09 Producto terminado	Se inicia la introducción del producto al mercado. Despliegue comercial.

Fuente: Elaboración propia, con base en datos de la [NASA](#), [Colegio de Ingenieros Biomédicos](#) y [medicalcountermeasures.gov](#)

¿Qué es la prueba de concepto?



Una **prueba de concepto** o PoC (del inglés proof of concept) es una experimentación o evidencia que permite verificar que una idea o producto tiene un potencial práctico. Cuando cuentas con resultados preliminares en tu proyecto de investigación, que son lo suficientemente robustos para demostrar de manera relativamente confiable que la hipótesis de investigación es correcta, y que los resultados tienen una aplicación práctica viable, se puede considerar que se cuenta con una prueba de concepto.

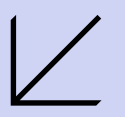
01

Lo ideal es que esta prueba de concepto demuestre todas aquellas características que se consideran relevantes para la tecnología. Este avance correspondería a un TRL 3.

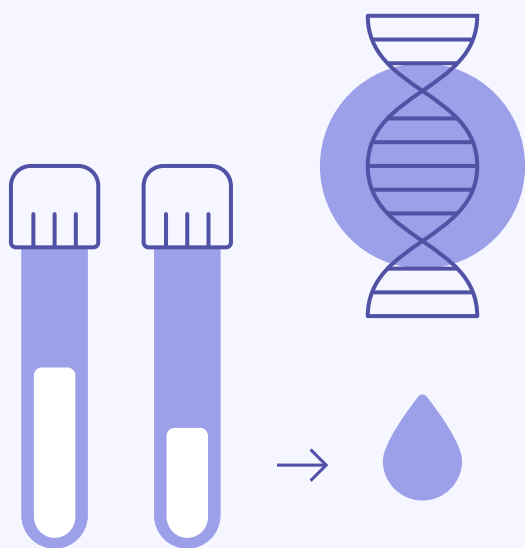


02

¿Qué es un prototipo?



Es un modelo o versión preliminar de un producto terminado que implica integrar todos los componentes del proceso o del producto, para que funcionen de manera coordinada y obtener el resultado esperado.



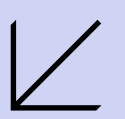
01

Para un método de diagnóstico, por ejemplo, durante el desarrollo del proyecto de investigación se utilizan técnicas y reactivos diversos que generalmente tienen una amplia cobertura para la identificación de biomarcadores potenciales, sin embargo, para la aplicación clínica del resultado obtenido, podrían emplearse técnicas diferentes dirigidas únicamente a los biomarcadores propuestos, por lo que la integración del prototipo consistiría en manufacturar un pequeño lote de los reactivos necesarios para la implementación del método y acoplarlo con el *hardware* y *software* necesarios para estandarizar de manera preliminar el método desarrollado.

Este avance equivaldría a un TRL 4.

02

¿Por qué es importante el TRL en la investigación científica?



Desde su creación el TRL ha demostrado ser una herramienta valiosa y versátil en el campo de la investigación y desarrollo tecnológico porque permite al personal de investigación, al de gestión tecnológica y a patrocinadores e inversores, tomar decisiones informadas sobre la viabilidad, riesgos y etapas necesarias para avanzar una tecnología, desde su primera fase conceptual hasta su implementación práctica.

01

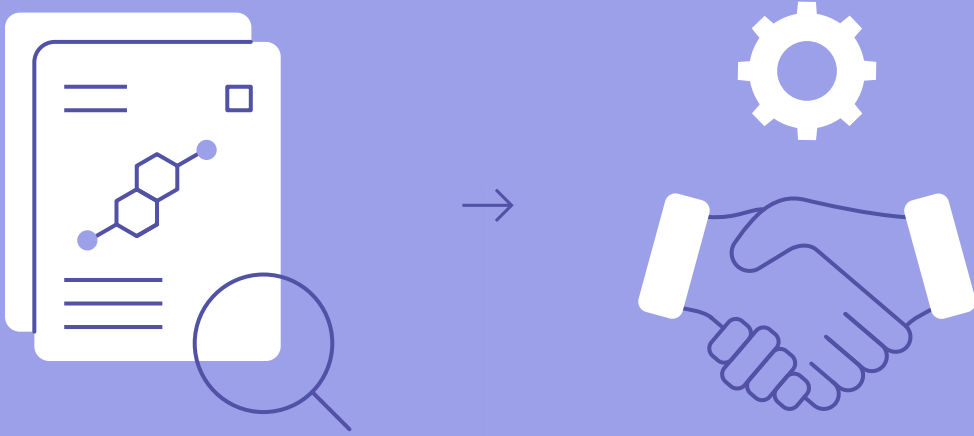


Por otra parte, el TRL ayuda a priorizar recursos, planificar proyectos y facilitar la comunicación entre diferentes actores involucrados en el desarrollo tecnológico, de esta manera, se garantiza que las inversiones se orienten hacia aquellas tecnologías con mayor probabilidad de éxito y aplicación real en el mercado.

02

Como hemos revisado en boletines anteriores, si es de tu interés desarrollar una innovación, debes de tomar en cuenta las expectativas de los usuarios potenciales para ofrecer un producto que atienda una necesidad real que no ha sido atendida por ningún otro producto, además de analizar si el mercado potencial es de tamaño adecuado para permitir que el producto sea económicamente viable.

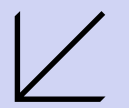
03



Ahora bien, bajo este contexto, también resulta importante que conozcas cuáles son las etapas que deben realizarse para que tus resultados de investigación se conviertan en un producto terminado y analizar la viabilidad de transitar esas etapas, lo cual te ayudará a establecer una potencial colaboración con un socio industrial que esté dispuesto a invertir y desarrollar el producto final.

04

¿Cuáles son las aplicaciones del TRL?



El TRL ha sido adoptado por diversos sectores incluyendo la industria, los gobiernos, la academia y otras áreas de investigación y desarrollo tecnológico.

Dentro de sus principales aplicaciones se encuentran:

Planeación estratégica.

Esta herramienta permite ubicar la tecnología dentro de una escala específica de madurez, lo que permite optimizar recursos y plantear objetivos claros que facilitan el avance en el desarrollo del proyecto.

Evaluación de riesgos.

Ayuda a identificar las incertidumbres técnicas y científicas en cada etapa del desarrollo, asegurando una mejor toma de decisiones en proyectos de alta complejidad.

Toma de decisiones de inversión.

Se emplean como herramienta para priorizar proyectos en instituciones públicas y privadas, garantizando que los recursos disponibles se destinen a aquellas tecnologías con una estrategia clara y viable de maduración, y por lo tanto con mayor probabilidad de generar un impacto y resultados efectivos.

Acceso a financiamiento y convocatorias.

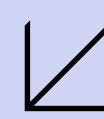
En México, el TRL constituye un criterio fundamental en las convocatorias emitidas por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación **SECIHTI**, y otras similares en donde se exige demostrar el nivel de madurez tecnológica alcanzado.

Transferencia tecnológica y comercialización.

Facilita la comunicación entre personas investigadoras, empresas e inversionistas, mostrando de forma estandarizada que tan cerca está una invención de convertirse en un producto o servicio comercializable y permite definir de manera más concreta los términos de las negociaciones.

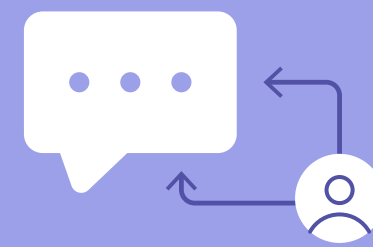
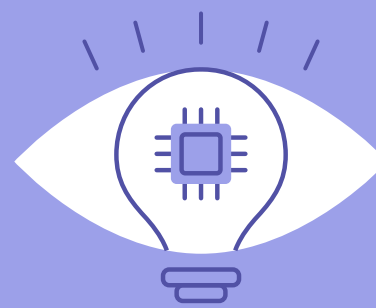


¿Cuáles son las ventajas y limitaciones del TRL?



La evaluación del TRL en los proyectos de desarrollo tecnológico aporta múltiples beneficios, ya que ofrece una visión integral del estado de maduración de una tecnología y facilita la comunicación entre equipos y actores involucrados.

01



Permite dimensionar el tiempo y los recursos (inversión) necesarios para cubrir cada una de las etapas; definir los requerimientos técnicos, los de infraestructura y los de producción, necesarios para la maduración de la tecnología y establecer el equipo humano o servicios profesionales que es necesario involucrar para sacar adelante el proyecto.

Favorece la adquisición de fondos o inversión para el desarrollo de los proyectos y la atracción de socios tecnológicos o industriales dispuestos a sumarse al proyecto.

02

Por otra parte, en cuanto a las limitaciones del TRL, es importante señalar que el nivel de maduración de una tecnología no necesariamente refleja su idoneidad ni su verdadera madurez. Los niveles de TRL se enfocan principalmente al entorno operativo y a la arquitectura del producto o sistema. Sin embargo, no reflejan si la tecnología es viable, o si el trabajo realizado para alcanzar la madurez adquirida ha sido el adecuado, por lo que es necesario combinarlo con todas las otras herramientas para poder tener un panorama más completo sobre el desarrollo tecnológico.

03

Como habrás notado, una institución dedicada a la investigación, como es el caso del INMEGEN no cuenta con las capacidades ni infraestructura para transitar todas las etapas del TRL, por lo que resulta indispensable establecer alianzas con el sector productivo para que sea una empresa con las capacidades idóneas, quien se encargue de madurar y comercializar la tecnología.

En este sentido, es importante que conozcas las etapas del TRL que deberá transitar la tecnología que pretendes desarrollar, y avanzar lo más que se pueda en las etapas del TRL con los recursos a tu disposición, para que en un momento adecuado, se establezca esta alianza con una empresa quien continuará con el proceso de maduración.

04

Se recomienda que estructures tu proyecto de investigación y desarrollo con el objetivo de alcanzar un TRL 4 ó 5, es decir, lograr el ensamble de un prototipo inicial y su validación en el laboratorio y de ser posible su validación en un entorno relevante, lo cual brindará una mejor expectativa de encontrar a un aliado comercial que se interese en invertir en la tecnología.



05

Esta alianza con el sector industrial es lo que se conoce como Transferencia de Tecnología. De este tema estaremos hablando en el siguiente número del boletín.

¡No te lo pierdas!