

---

#### Anexo 4: Niveles de Madurez Tecnológica

El nivel de madurez de una tecnología puede ser estimado a través de la escala TRL (por sus siglas en inglés, Technology Readiness Level). Este concepto proviene de la NASA<sup>12</sup>, y en un principio fue aplicado a los proyectos aeronáuticos, pero posteriormente fue generalizado a todo tipo de proyectos. Los TLRs se encuentran categorizados en nueve niveles, siendo el TRL9 el nivel en donde la tecnología se encuentra validada en entorno real y lista para su comercialización. A continuación, se presenta una adaptación de esta escala:

##### **TRL 1: Principios básicos observados y documentados**

Corresponde al nivel más bajo en cuanto al nivel de maduración tecnológica. Los principios básicos de la idea han sido cualitativamente postulados y observados, pero aún no se han desarrollado pruebas experimentales ni análisis detallados. En este nivel, la investigación científica comienza a traducirse en investigación aplicada y desarrollo.

##### **TRL 2: Concepto de tecnología formulado**

Una vez que los principios básicos se observan, las aplicaciones prácticas pueden llegar a una invención. En este nivel de madurez, el concepto de tecnología, su aplicación y su puesta en práctica, han sido formulados. Además, se ha perfilado un plan para de desarrollo. En este nivel, las aplicaciones son aún especulativas y puede aún no haber pruebas o análisis detallados que confirmen dichas conjeturas.

##### **TRL 3: Prueba experimental de concepto**

En este paso del proceso de maduración, se inicia de forma activa la investigación y el desarrollo (I + D), que considera estudios analíticos y a escala de laboratorio para validar físicamente si las predicciones analíticas eran correctas. Se han realizado estudios y experimentos de la formulación de la tecnología, constituyendo una validación de "prueba de concepto" a nivel de subsistemas, sin integración de todos los sistemas que intervienen en la tecnología.

##### **TRL 4: Validación de tecnología en laboratorio**

Luego de la prueba de concepto de los distintos subsistemas, los elementos deben ser integrados para establecer si el sistema en conjunto tiene el funcionamiento esperado. En este nivel de madurez,

---

<sup>1</sup> Más información en:

[https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/txt\\_accordion1.html](https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/txt_accordion1.html)

<sup>2</sup> J.Mankins. 1995. Technology Readiness Levels. A White paper. NASA.

los componentes de la tecnología ya se han integrado. La validación aún se genera en un entorno de laboratorio, por lo que aún no constituye una prueba de alta fidelidad para la tecnología. Las medidas obtenidas en las pruebas validan las predicciones analíticas de los distintos elementos de la tecnología. La simulación de los procesos ha sido validada. Se han desarrollado evaluaciones de ciclo de vida preliminares y modelos de evaluación económica.

**TRL 5: Validación de tecnología en un entorno relevante**

En este nivel de madurez, la fidelidad de la tecnología testeada ha aumentado significativamente. Los componentes tecnológicos básicos son integrados para que la configuración del sistema sea similar a una aplicación final en casi todas sus características. Se han realizado pruebas a escala en el entorno previsto, simulado o real. En esta etapa también se han modelado los procesos (técnica y económicamente), y se han evaluado conceptos como: salud y seguridad, limitaciones ambientales, regulación y disponibilidad de recursos.

**TRL 6: Demostración del prototipo en un entorno relevante**

En esta etapa, ya se habla de un prototipo tecnológico, el cual es demostrado en un entorno relevante. La demostración del sistema o proceso se lleva a cabo en un entorno operacional, en condiciones muy cercanas a las que se espera que funcione en el futuro. Los componentes y los procesos se han ampliado para demostrar el potencial industrial, y la mayoría de los problemas identificados anteriormente se han resuelto. En este nivel, la evaluación del ciclo de vida y la evaluación económica se han perfeccionado.

**TRL 7: Demostración del prototipo del sistema en un entorno operativo**

En este punto, se cuenta con un prototipo final con sistema operativo funcional. Ya se ha demostrado que la tecnología funciona y opera a escala pre-comercial. Se han identificado aspectos de fabricación y operaciones finales. La evaluación del ciclo de vida y la evaluación económica se han perfeccionado.

**TRL 8: Sistema real completado y calificado**

En este nivel de madurez, la tecnología ha sido probada en su forma final y bajo condiciones supuestas. Se ha demostrado que la tecnología funciona a nivel comercial a través de una aplicación a gran escala. En muchos casos significa el final del desarrollo del sistema. Todos los aspectos operativos y de fabricación han sido resueltos. Se han elaborado documentos para la utilización y mantenimiento del producto.

**TRL 9: Sistema real probado en entorno operativo /Aplicación comercial completa**

El nivel TRL9 corresponde al mayor nivel de madurez. La tecnología ha sido completamente desarrollada y está disponible comercialmente para el consumidor.