



Universidad de Oviedo

Programa Oficial de Doctorado en Ingeniería de Producción, Minero-  
Ambiental y de Proyectos

**DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA BASADA EN LOS  
NIVELES DE MADUREZ TECNOLÓGICA PARA LA  
GESTIÓN ESTRATÉGICA DE LA CARTERA DE  
PROYECTOS DE INGENIERÍA EN UNA ORGANIZACIÓN DE  
PEQUEÑO TAMAÑO**

TESIS DOCTORAL POR

**Nuria Rodríguez López**

Junio, 2024





Universidad de Oviedo

## RESUMEN DEL CONTENIDO DE TESIS DOCTORAL

1.- Título de la Tesis	
Español/Otro Idioma: Desarrollo de una metodología basada en los niveles de madurez tecnológica para la gestión estratégica de la cartera de proyectos de ingeniería en una organización de pequeño tamaño	Inglés: Development of a methodology based on technology readiness levels for strategic management on the engineering project portfolio of a small-sized organization
2.- Autor	
Nombre: NURIA RODRÍGUEZ LÓPEZ	
Programa de Doctorado: Programa Oficial de Doctorado en Ingeniería de Producción, Minero-Ambiental y de Proyectos	
Órgano responsable: Centro Internacional de Postgrado de la Universidad de Oviedo	

### RESUMEN (en español)

La I+D+i (Investigación, Desarrollo e innovación) se considera un factor clave íntimamente relacionado con el crecimiento económico, tanto dentro de un país, como a nivel mundial. En este sentido, no hay más que poner el foco en los retornos de inversión de I+D+i en los diferentes estados miembros de la Unión Europea y comprobar que en el periodo 2014-2020, España ha sido el cuarto país por detrás de Alemania, Reino Unido y Francia, en lograr los mayores retornos. Esto demuestra la importancia de cuantificar la I+D+i y cómo los programas de financiación asociados son cada vez más conscientes de la necesidad de disponer de soluciones que permitan su medición de cara a monitorizar y evaluar el impacto de los mismos. Por este motivo, ciertos indicadores definidos por la NASA (Estados Unidos) en los años 70 del siglo XX, como los *Technology Readiness Levels* (TRLs), han encontrado su lugar en la Unión Europea. Así, es cada vez más común encontrarse en los programas de financiación pública de I+D+i, el requisito de cuantificar el estado de madurez de la tecnología asociada a proyectos en base a este concepto de TRL. En otras palabras, gracias a este indicador se determina si la tecnología se encuentra en un nivel de investigación, desarrollo o innovación, lo cual permite conocer el nivel de riesgo asociado, grado de incertidumbre o la facilidad de acceder a financiación. Cabe destacar que, si bien los TRLs han sido aceptados ampliamente por su utilidad, los métodos de cálculo siguen estando principalmente limitados a la aplicación de criterios cualitativos (es decir, juicio experto), lo cual dificulta su aplicabilidad en ciertas ocasiones o en determinado tipo de organizaciones. Además, la economía europea se caracteriza por una presencia mayoritaria de organizaciones de pequeño y mediano tamaño (desde PYMEs a centros tecnológicos y universidades) cuya capacidad es menor que la de entidades de mayor tamaño, a la hora de definir sus estrategias de I+D+i, y por tanto en cuanto al impacto en la competitividad europea.

En este contexto, la motivación de esta Tesis es la de contribuir a la identificación y desarrollo de una metodología que permita el cálculo de TRL de una manera objetiva no dependiente de expertos, respondiendo a las necesidades de estas organizaciones de pequeño y mediano tamaño, y mejorando las características de las metodologías actuales. Para comprobar la robustez de la metodología propuesta, esta se valida a través de diversas pruebas que abarcan por completo la escala de TRLs (desde TRL1 a TRL9). Asimismo, se contrasta su relevancia entre sus usuarios potenciales, por medio de un diagnóstico de situación, a través de la cumplimentación de una encuesta y su posterior análisis.



Universidad de Oviedo

## RESUMEN (en Inglés)

Research and development (R&D) and innovation is a key factor widely related to economic growth both at national and worldwide level. Hence, the return of investment related to R&D and innovation along European Member States is relevant. During 2014-2020 period, Spain has been the fourth country after Germany, United Kingdom, and France, to achieve the highest values of return. This highlights the relevance of quantifying R&D and innovation and how related public funding programmes are more and more aware of the need to have tools enabling to monitor and assess their impact. Therefore, indicators defined by NASA (USA) during the 70s of 20<sup>th</sup> century, such as Technology Readiness Levels (TRLs), have found their place in European Union. For this purpose, it is an increasingly common requirement within R&D and innovation programmes, to measure the maturity level of a given technology (based in TRLs) in each project. In other words, this indicator can determine if a technology is under one of the following stages: research, development, or innovation. Accordingly, it enables to know the level of associated risk, level of uncertainty or ease to access to financing. Albeit TRLs are widely accepted because of their usefulness, the applied methods to determine them are still mainly based on applying qualitative criteria (e.g. expert judgement). This hinders their applicability in certain moments or for several types of organizations. Moreover, the European economy is characterized by a wide presence of small and medium-sized organizations (from SMEs to research centers and universities) whose capacity is lower than the one from larger ones regarding the definition of their R&D and innovation strategies and their impact in European competitiveness.

In this context, the aim of this Thesis is to contribute to the identification and development of a methodology enabling to determine the TRL in an objective and non-expert dependent manner. In addition, this methodology complies with the needs of small and medium-sized organizations as well as improves the features of current methodologies. The robustness of the proposed methodology is validated by several tests covering the whole TRL scale (from TRL1 to TRL9). Likewise, its relevance among potential users is confirmed by a situation diagnosis through the filling of a survey and subsequent analysis.

**SR. PRESIDENTE DE LA COMISIÓN ACADÉMICA DEL PROGRAMA DE DOCTORADO  
EN INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN, MINERO-AMBIENTAL Y DE PROYECTOS**



“No es posible resolver los problemas de hoy  
con las soluciones de ayer.”

Roger Van Oech



## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis directores de tesis, Valeriano y Marcos, y a mi tutor Francisco, su paciencia, dedicación y consejos. Sin ellos, nunca habría logrado llegar hasta aquí. Sólo nosotros sabemos cuán largo y duro ha sido el camino. Y, así, paso a paso, como decía Antonio Machado “Caminante no hay camino, se hace camino al andar”, así que sólo espero que nuestro camino juntos siga de una u otra manera. La lista de agradecimientos es eterna y todos sabéis lo importantes que habéis sido y seguís siendo: aguantando mis cambios de humor, poniéndome fáciles las cosas, animándome cuando lo veía todo muy oscuro y, sobre todo, por estar siempre ahí. En especial, quiero dar las gracias al Dr. Pérez por sus dotes de editor y mentor, así como a mi pequeña partícula acelerada por entender, a pesar de su corta edad, que mamá tenía que acabar el doctorado. Muchísimas gracias a todos, de corazón.



# ÍNDICE

1	Introducción.....	22
2	La Medición del estado de desarrollo de la tecnología .....	25
2.1	Evaluación de I+D+i en pequeñas y medianas empresas .....	25
2.2	Technology Readiness Level (TRL). .....	27
2.3	Relevancia de la medición de la madurez tecnológica en la planificación de proyectos de I+D+i	31
2.4	Indicadores de madurez complementarios al TRL.....	35
2.5	Indicadores complementarios en las últimas etapas del desarrollo tecnológico.....	41
2.6	Gestión de riesgos según la madurez tecnológica .....	45
3	Objetivos y metodología de trabajo.....	51
3.1	Objetivos .....	51
3.2	Metodología.....	52
4	Revisión crítica de las metodologías cuantitativas de estimación de TRL.....	54
4.1	Estudio de metodologías de estimación TRL.....	54
4.2	Scientific Method for Determining Emerging Technologies (SmET) .....	56
4.3	Bibliometric Method for Assessing Technological Maturity (BIMATEM).....	59
5	Análisis crítico de las metodologías cuantitativas de estimación de trl .....	63
5.1	Materiales y métodos.....	63
5.2	Estructura de la validación .....	64
5.3	Fuentes de datos .....	65
5.4	Validaciones realizadas .....	66
5.5	Análisis de los resultados de la validación .....	80
5.6	Análisis de aplicabilidad y limitaciones encontradas en la metodología SmET .....	81
5.7	Análisis de aplicabilidad y limitaciones encontradas en la metodología BIMATEM.....	84

5.8	Idoneidad para organizaciones de pequeño y mediano tamaño .....	86
5.9	Oportunidades de Mejoras.....	87
5.10	Conclusiones de la validación .....	90
6	Diagnóstico de situación sobre la implantación del concepto de TRL.....	93
6.1	Objetivo del diagnóstico.....	93
6.2	Metodología y herramienta de diagnóstico .....	94
6.3	Resultados obtenidos.....	96
6.4	Análisis de resultados.....	103
7	Descripción de la metodología propuesta.....	107
7.1	Establecimiento de requisitos .....	107
7.2	Visión general de la metodología.....	108
7.3	Descripción de los pasos incluidos en la metodología .....	119
8	Validación de la metodología desarrollada .....	145
8.1	Selección de casos para la validación.....	145
8.2	Validación Test a) (Prueba 1.1) - rango TRL1-3.....	149
8.3	Validación rango TRL4-6 (Test d).....	161
8.4	Validación - rango TRL7-8 Test e) .....	179
8.5	Análisis de resultados de las validaciones realizadas.....	197
9	Divulgación de resultados .....	200
10	Conclusiones .....	201
10.1	Deficiencias encontradas en la metodología .....	201
10.2	Metodología propuesta de estimación de TRL.....	203
10.3	Potencial de la metodología .....	204
10.4	Líneas futuras de investigación .....	206
11	Bibliografía.....	210
12	Anexos.....	228
12.1	ANEXO 1. Tests de validación .....	228

12.2	ANEXO 1. Listado de las principales herramientas de Inteligencia Artificial (IA).....	275
12.3	ANEXO 2. Listado de buscadores y fuentes de información gratuitas .....	278

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Imagen de “El Valle de la Muerte” (Ford et al., 2007).....	26
Figura 2. Escala de TRLs (elaboración propia).....	29
Figura 3. Hype Cycle para tecnologías emergentes (Gartner, 2023).....	33
Figura 4. Comparativa entre la escala de TRLs y la clasificación de madurez tecnológica según Gartner (elaboración propia a partir de (Hsieh, 2019)) .....	34
Figura 5. Marco de puertas de paso para guiar el proceso de innovación hacia una implementación bio-circular para una bioeconomía circular sostenible (Holden, 2022).....	38
Figura 6. Guía y estructura de la escala de 9 niveles para el BRL o Business Readiness Level propuesto en el modelo KTH Innovation Readiness Level™ (elaboración propia a partir de (KTH Innovation, 2021)) .....	39
Figura 7. Visualización y medición del KTH Innovation Readiness Level™ (KTH Innovation, 2021) .....	39
Figura 8. Representación de los cuatro niveles de madurez de la innovación (European Commission, 2024).....	40
Figura 9. Escala del grado de dificultad de I+D+i (“R&D” <sup>3</sup> ) medida en función de la probabilidad de éxito.....	47
Figura 10. Matriz de riesgos de un programa tecnológico genérico (Mankins, 2009a) .....	48
Figura 11. Esquema de un programa de I+D+i genérico aplicando el enfoque TRRA (Mankins, 2009a) .....	49
Figura 12. Procedimiento metodológico para desarrollar la investigación .....	52
Figura 13. Procedimiento SmET (Fuente: elaboración propia).....	56
Figura 14. Criterios de TRL de BIMATEM (Fuente: elaboración propia basado en (Lezama-Nicolás et al., 2018)).....	61

Figura 15. Asignación de TRL según BIMATEM (Fuente: elaboración propia basado en (Lezama-Nicolás et al., 2018)) .....	61
Figura 16. Resultados normalizados – AM en cerámica – SmET (elaboración propia) .....	68
Figura 17. Resultados normalizados – AM en metales – SmET .....	71
Figura 18. Noticias de bio-impresión de órganos.....	75
Figura 19. Flujograma y contenido de la encuesta realizada (Fuente: elaboración propia) .....	95
Figura 20. Sectores de actividad de las entidades encuestadas (Fuente: elaboración propia).....	96
Figura 21. Tamaño de las entidades encuestadas (Fuente: elaboración propia).....	96
Figura 22. Puesto que ocupa la persona que cubre el cuestionario en la organización (Fuente: elaboración propia) .....	97
Figura 23. País en el que se encuentra la organización (Fuente: elaboración propia).....	97
Figura 24. Organizaciones donde se llevan a cabo actividades de I+D+i (Fuente: elaboración propia).....	98
Figura 25. Conocimiento (izqda.) y relevancia (dcha.) del TRL en las organizaciones encuestadas (Fuente: elaboración propia) .....	98
Figura 26. Uso (izqda.) y aplicación (dcha.) del TRL en las organizaciones encuestadas (Fuente: elaboración propia).....	99
Figura 27. Modos de determinar el TRL en las organizaciones encuestadas (Fuente: elaboración propia) .....	99
Figura 28. Métodos de clasificación y priorización de proyectos utilizados en las organizaciones encuestadas (Fuente: elaboración propia) .....	101
Figura 29. Potencial del TRL como método de clasificación y priorización de proyectos como parte de la estrategia empresarial (Fuente: elaboración propia).....	102
Figura 30. Esquema sobre el cambio de paradigma: escala de “evolución gradual” de TRL - propuesta (izqda.) y escala de “niveles” de TRL – tradicional (dcha.) (Fuente: elaboración propia) .....	109
Figura 31. Vista general del cerebro de la metodología (Fuente: elaboración propia).....	110
Figura 32. Esquema general de los módulos de la metodología a lo largo de la escala de TRLs y actividades de I+D+i (Fuente: elaboración propia).....	110
Figura 33. Esquema simplificado sobre la relación de los módulos de la metodología a lo largo de la escala de TRLs y actividades de I+D+i (Fuente: elaboración propia) .....	111

Figura 34. Estructura operativa de la metodología desarrollada .....	118
Figura 35. Metodología para aplicación del PASO 1 de la metodología de desarrollo propio .....	120
Figura 36. Búsqueda de sinónimos sobre “additive manufacturing” usando la herramienta Perplexity.ai .....	121
Figura 37. Metodología para aplicación del PASO 2 de la metodología desarrollada.....	123
Figura 38. Vista general del planteamiento de las pruebas de validación de la metodología desarrollada .....	146
Figura 39. Asignación de técnicas de reciclaje de composites en la escala TRL (Rybicka et al., 2016) .....	147
Figura 40. Resultados de búsqueda del Test a) en Módulo académico para TRL1-TRL2 (Harzing A., 2007).....	150
Figura 41. Resultados devueltos por CORDIS para la búsqueda en Test a) .....	154
Figura 42. Resultados devueltos por Innovation Radar para la búsqueda en Test a) (I) .....	155
Figura 43. Resultados devueltos por Innovation Radar para la búsqueda en Test a) (II).....	156
Figura 44. Resultados devueltos por Google (filtro de Noticias) para la búsqueda en Test a).....	157
Figura 45. Resultados devueltos por CORDIS para la búsqueda en Test d) .....	167
Figura 46. Resultados devueltos por Innovation Radar para la búsqueda en Test d) (I).....	168
Figura 47. Resultados devueltos por Innovation Radar para la búsqueda en Test d) (II).....	169
Figura 48. Resultados devueltos por Innovation Radar para la búsqueda en Test d) (III) .....	169
Figura 49. Resultados devueltos por CEN-CENELEC para la búsqueda en Test d) (I) .....	171
Figura 50. Resultados devueltos por CEN-CENELEC para la búsqueda en Test d) (II) .....	171
Figura 51. Resultados devueltos por Google (filtro de Noticias) para la búsqueda en Test d) .....	173
Figura 52. Resultados devueltos por CORDIS para la búsqueda en Test e) .....	184
Figura 53. Resultados devueltos por Innovation Radar para la búsqueda en Test e) .....	185
Figura 54. Resultados devueltos por Google (filtro de Noticias) para la búsqueda en Test e).....	189
Figura 55. Estadísticas de acceso del artículo durante el periodo (febrero 2024 - mayo 2024) (MDPI Journals, 2024) .....	200
Figura 56. Resultados devueltos por CORDIS para la búsqueda en Test b) .....	233

Figura 57. Resultados devueltos por Innovation Radar para la búsqueda en Test b).....	234
Figura 58. Resultados devueltos por Google (filtro de Noticias) para la búsqueda en Test b) .....	235
Figura 59. Resultados de búsqueda del Test c) en Módulo académico para TRL1-TRL2 (Harzing A., 2007).....	240
Figura 60. Resultados devueltos por CORDIS para la búsqueda en Test c) .....	244
Figura 61. Resultados devueltos por Innovation Radar para la búsqueda en Test c) – Búsqueda de Noviembre 2023.....	246
Figura 62. Resultados devueltos por Innovation Radar para la búsqueda en Test c) – Búsqueda de Febrero de 2024.....	246
Figura 63. Resultados devueltos por IAEA para estándares de seguridad bajo desarrollo para la búsqueda en Test c) (I) .....	248
Figura 64. Resultados devueltos por IAEA para estándares de seguridad bajo desarrollo para la búsqueda en Test c) (II).....	248
Figura 65. Resultados devueltos por Google (filtro de Noticias) para la búsqueda en Test c).....	250
Figura 66. Resultados devueltos por Innovation Radar para la búsqueda en Test f).....	262
Figura 67. Resultados devueltos por Google (filtro de Noticias) para la búsqueda en Test f) .....	266

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Niveles establecidos en la escala TRL (Fuente: Ministerio de Industria y Turismo) (de Aldecoa Quintana, 2021).....	29
Tabla 2. Escalas para tecnología (TRL), innovación (IRL) y temas sociales (SRL) (elaboración propia a partir de (Holden, 2022)).....	36
Tabla 3. Escala sRL - adaptada de Innovation Fund Denmark (Bruno et al., 2020) .....	42
Tabla 4. Escala ORL (Bruno et al., 2020) inspirado por (Eleanor D. Glor., 2014).....	43
Tabla 5. Escala LRL (elaborada por (Bruno et al., 2020) .....	44
Tabla 6. Comparación de las metodologías de definición de TRLs (Fuente: elaboración propia).....	56
Tabla 7. Procedimiento de US9177429 – relación de TRL con las bases de datos (Fuente: elaboración propia a partir de (Abercrombie et al., 2015)).....	57

Tabla 8. Resultados de TRL de los tests (resultados esperados) - datos de entrada.....	65
Tabla 9. Test 1.1. Búsqueda usada en las fuentes de datos .....	67
Tabla 10. Resultados devueltos para fabricación aditiva en cerámica desde Science Citation Index™ (WoS) – resultados normalizados según las metodologías de BIMATEM y SmET.....	67
Tabla 11. Ajuste de crecimiento logístico para los resultados normalizados de fabricación aditiva en cerámica desde Science Citation Index™ (WoS) – de acuerdo con la metodología BIMATEM.....	69
Tabla 12. Test 1.2. Búsqueda usada en las fuentes .....	70
Tabla 13. Resultados devueltos para fabricación aditiva en metales desde Science Citation Index™ (WoS) – resultados normalizados según las metodologías de BIMATEM y SmET.....	72
Tabla 14. Ajuste de crecimiento logístico para los resultados normalizados de fabricación aditiva en metales desde Science Citation Index™ (WoS) – de acuerdo con la metodología BIMATEM .....	72
Tabla 15. Test 2.1. Búsquedas usadas en las fuentes de datos .....	73
Tabla 16. Resultados devueltos para bioimpresión de órganos desde Science Citation Index™ (WoS) – resultados normalizados según las metodologías de BIMATEM y SmET .....	73
Tabla 17. Bio-impresión de órganos – patentes concedidas.....	74
Tabla 18. Ajuste de crecimiento logístico para los resultados normalizados de producción de bio-impresión orgánica desde Science Citation Index™ (WoS) – de acuerdo con la metodología BIMATEM .....	75
Tabla 19. Test 2.2. Búsquedas usadas en las fuentes de datos .....	76
Tabla 20. Resultados devueltos para producción de estructuras de avión de gran tamaño por medio de fabricación aditiva desde Science Citation Index™ (WoS) – resultados normalizados según las metodologías de BIMATEM y SmET.....	76
Tabla 21. Resultados devueltos para producción de estructuras de avión de gran tamaño por medio de fabricación aditiva desde Espacenet – resultados normalizados según las metodologías de BIMATEM .....	76
Tabla 22. Ajuste de crecimiento logístico para los resultados normalizados de producción de estructuras de avión de gran tamaño por medio de fabricación aditiva desde Science Citation Index™ (WoS) – de acuerdo con la metodología BIMATEM.....	77
Tabla 23. Ajuste de crecimiento logístico para los resultados normalizados de producción de estructuras de avión de gran tamaño por medio de fabricación aditiva desde Espacenet – de acuerdo con la metodología BIMATEM .....	78

Tabla 24. Test 2.3. Búsquedas usadas en las fuentes de datos .....	78
Tabla 25. Resultados devueltos Calidad y consistencia de la producción de fabricación aditiva (AM) en polvo desde Science Citation Index™ (WoS) – resultados normalizados según las metodologías de BIMATEM y SmET .....	78
Tabla 26. Resultados devueltos de Calidad y consistencia de la producción de fabricación aditiva (AM) en polvo desde Espacenet – resultados normalizados según las metodologías de BIMATEM .....	79
Tabla 27. Ajuste de crecimiento logístico para los resultados normalizados de Calidad y consistencia de la producción de fabricación aditiva (AM) en polvo desde Science Citation Index™ (WoS) – de acuerdo con la metodología BIMATEM .....	80
Tabla 28. Comparación de resultados: SmET vs BIMATEM.....	81
Tabla 29. Comparación entre los procesos de SmET y BIMATEM contra la metodología propuesta..	89
Tabla 30. Interpretación de los indicadores y sus valores según las preguntas realizadas en la búsqueda (Fuente: elaboración propia) .....	115
Tabla 31. Módulos de la metodología desarrollada con la información disponible e indicadores asociados (Fuente: elaboración propia) .....	117
Tabla 32. Listado de keywords para la tecnología additive manufacturing .....	121
Tabla 33. Listado de keywords no tecnológicas o de aplicabilidad .....	121
Tabla 34. Aplicación de las distintas keywords en cada módulo .....	123
Tabla 35. Módulo académico: información asociada, indicadores y bases de datos seleccionadas.....	125
Tabla 36. Módulo académico: resumen de los valores y significado de sus indicadores.....	125
Tabla 37. Características principales de las búsquedas por fuentes de datos y conclusiones sobre su idoneidad de aplicación (elaboración propia a partir de conclusiones propias y (Harzing A., 2023) ..	126
Tabla 38. Módulo de patentes: información asociada, indicadores y bases de datos seleccionadas ....	127
Tabla 39. Módulo de patentes: resumen de los valores y significado de sus indicadores .....	127
Tabla 40. Módulo de proyectos: información asociada, indicadores y bases de datos seleccionadas..	129
Tabla 41. Módulo de proyectos: resumen de los valores y significado de sus indicadores .....	129
Tabla 42. Módulo de negocios: información asociada, indicadores y bases de datos seleccionadas ...	131
Tabla 43. Módulo de proyectos: resumen de los valores y significado de sus indicadores .....	131
Tabla 44. Módulo de noticias: información asociada, indicadores y bases de datos seleccionadas.....	132

Tabla 45. Módulo de proyectos: resumen de los valores y significado de sus indicadores .....	132
Tabla 46. Metodología de desarrollo propio: Relación de TRLs con módulos e indicadores asociados según su relevancia (versión simplificada).....	134
Tabla 47. Metodología de desarrollo propio: Relación de TRLs con módulos e indicadores asociados según su relevancia (versión ampliada).....	135
Tabla 48. Metodología propia - criterios de cumplimiento para TRL1.....	137
Tabla 49. Metodología propia - criterios de cumplimiento para TRL2.....	137
Tabla 50. Metodología propia - criterios de cumplimiento para TRL3.....	138
Tabla 51. Metodología propia - criterios de cumplimiento para TRL4.....	139
Tabla 52. Metodología propia - criterios de cumplimiento para TRL5.....	141
Tabla 53. Metodología propia - criterios de cumplimiento para TRL6.....	142
Tabla 54. Metodología propia - criterios de cumplimiento para TRL7.....	143
Tabla 55. Metodología propia - criterios de cumplimiento para TRL8.....	143
Tabla 56. Metodología propia - criterios de cumplimiento para TRL9.....	144
Tabla 57. Principales características de las pruebas de validación del rango TRL1-3 (a) y b)).....	147
Tabla 58. Principales características de las pruebas de validación del rango TRL4-6 (c) y d)).....	148
Tabla 59. Principales características de las pruebas de validación del rango TRL7-9 (e) y f)) .....	149
Tabla 60. Características de la Test a) y keywords asociadas. ....	150
Tabla 61. Búsqueda en Módulo académico para TRL1-2 en Test a) .....	150
Tabla 62. Búsqueda en Módulo académico para TRL1-2 en Test a) .....	151
Tabla 63. Búsqueda del Módulo 1 para TRL1-2 - Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test a).....	152
Tabla 64. Búsqueda del Módulo 1 para TRL3-4 - Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test a).....	152
Tabla 65. Búsqueda en Módulo de patentes en Test a) (I) .....	153
Tabla 66. Búsqueda en Módulo de patentes en Test a) (II).....	153
Tabla 67. Búsqueda del Módulo 2 para TRL3-4- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test a).....	153

Tabla 68. Búsqueda en Módulo de proyectos en Test a) (CORDIS) .....	154
Tabla 69. Búsqueda en Módulo de proyectos en Test a) (Innovation Radar) (I) .....	155
Tabla 70. Búsqueda en Módulo de proyectos en Test a) (Innovation Radar) (II) .....	156
Tabla 71. Búsqueda del Módulo 3 para TRL3-4- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test a).....	156
Tabla 72. Búsqueda en Módulo de noticias en Test a).....	157
Tabla 73. Búsqueda del Módulo 5 para TRL4- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test a).....	158
Tabla 74. Resultados del Test a) para el cálculo de TRL1 .....	158
Tabla 75. Resultados del Test a) para el cálculo de TRL2 .....	158
Tabla 76. Resultados del Test a) para el cálculo de TRL3 .....	159
Tabla 77. Resultados del Test a) para el cálculo de TRL4 .....	160
Tabla 78. Test a) Conclusiones de los resultados de validación de la metodología.....	161
Tabla 79. Características de la Test d) y keywords asociadas.....	162
Tabla 80. Búsqueda en Módulo académico para TRL1-2 en Test d) .....	162
Tabla 81. Búsqueda en Módulo académico para TRL3-4 en Test d) .....	163
Tabla 82. Búsqueda del Módulo 1 para TRL1-2- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test d) .....	163
Tabla 83. Búsqueda del Módulo 1 para TRL3-4- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test d) .....	164
Tabla 84. Búsqueda en Módulo de patentes en Test b).....	164
Tabla 85. Búsqueda del Módulo 2 para TRL3-6 - Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test d) .....	165
Tabla 86. Búsqueda en Módulo de proyectos en Test d) (CORDIS) .....	165
Tabla 87. Búsqueda en Módulo de proyectos en Test d) (Innovation Radar) .....	167
Tabla 88. Búsqueda del Módulo 3 para TRL3-TRL6- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test d) .....	170
Tabla 89. Búsqueda en Módulo de negocios (CEN-CENELEC) en Test d).....	170

Tabla 90. Búsqueda en Módulo de negocios (Empresas cotizadas en bolsa) en Test d).....	171
Tabla 91. Búsqueda del Módulo 4 para TRL5-7- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test d) .....	172
Tabla 92. Búsqueda en Módulo de noticias en Test d).....	172
Tabla 93. Búsqueda del Módulo 5 para TRL4-6 Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test d) .....	173
Tabla 94. Resultados del Test d) para el cálculo de TRL1 .....	174
Tabla 95. Resultados del Test d) para el cálculo de TRL2.....	174
Tabla 96. Resultados del Test d) para el cálculo de TRL3.....	174
Tabla 97. Resultados del Test d) para el cálculo de TRL4.....	175
Tabla 98. Resultados del Test d) para el cálculo de TRL5.....	176
Tabla 99. Resultados del Test d) para el cálculo de TRL6.....	177
Tabla 100. Resultados del Test d) para el cálculo de TRL7.....	178
Tabla 101. Test a) Conclusiones de los resultados de validación de la metodología.....	179
Tabla 102. Características de la Test e) y keywords asociadas.....	180
Tabla 103. Búsqueda en Módulo académico para TRL1-2 en Test e) .....	180
Tabla 104. Búsqueda en Módulo académico para TRL3-4 en Test e) .....	181
Tabla 105. Búsqueda del Módulo 1 para TRL1-2- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test e).....	182
Tabla 106. Búsqueda del Módulo 1 para TRL3-4- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test e).....	182
Tabla 107. Búsqueda en Módulo de patentes en Test e) .....	182
Tabla 108. Búsqueda del Módulo 2 para TRL3-6 - Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test e).....	183
Tabla 109. Búsqueda en Módulo de proyectos en Test e) (CORDIS) .....	184
Tabla 110. Búsqueda en Módulo de proyectos en Test e) (Innovation Radar) .....	185
Tabla 111. Búsqueda del Módulo 3 para TRL3-7- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test e).....	187

Tabla 112. Búsqueda del Módulo 4 para TRL5-7- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test e).....	188
Tabla 113. Búsqueda en Módulo de noticias en Test e).....	188
Tabla 114. Búsqueda del Módulo 5 para TRL7-8 Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test e).....	189
Tabla 115. Resultados del Test e) para el cálculo de TRL1 .....	190
Tabla 116. Resultados del Test e) para el cálculo de TRL2 .....	190
Tabla 117. Resultados del Test e) para el cálculo de TRL3 .....	190
Tabla 118. Resultados del Test e) para el cálculo de TRL4 .....	191
Tabla 119. Resultados del Test e) para el cálculo de TRL5 .....	192
Tabla 120. Resultados del Test e) para el cálculo de TRL6 .....	193
Tabla 121. Resultados del Test e) para el cálculo de TRL7 .....	194
Tabla 122. Resultados del Test e) para el cálculo de TRL8 .....	195
Tabla 123. Resultados del Test e) para el cálculo de TRL9 .....	196
Tabla 124. Test e) Conclusiones de los resultados de validación de la metodología .....	197
Tabla 125. Resumen del análisis de los resultados.....	198
Tabla 126. Características de la Test b) y keywords asociadas.....	228
Tabla 127. Búsqueda en Módulo académico para TRL1-2 en Test b) .....	229
Tabla 128. Búsqueda en Módulo académico para TRL3-4 en Test b) .....	229
Tabla 129. Búsqueda del Módulo 1 para TRL1-2- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test b) .....	230
Tabla 130. Búsqueda del Módulo 1 para TRL3-4- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test b) .....	230
Tabla 131. Búsqueda en Módulo de patentes en Test b) .....	230
Tabla 132. Búsqueda del Módulo 2 para TRL3- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test b) .....	231
Tabla 133. Búsqueda en Módulo de proyectos en Test b) (CORDIS) .....	232
Tabla 134. Búsqueda en Módulo de proyectos en Test b) (Innovation Radar) .....	233

Tabla 135. Búsqueda del Módulo 3 para TRL1-3- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test b) .....	234
Tabla 136. Búsqueda en Módulo de noticias en Test b).....	235
Tabla 137. Búsqueda del Módulo 5 para TRL4- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test f).....	235
Tabla 138. Resultados del Test b) para el cálculo de TRL1.....	236
Tabla 139. Resultados del Test b) para el cálculo de TRL2.....	236
Tabla 140. Resultados del Test b) para el cálculo de TRL3.....	237
Tabla 141. Resultados del Test b) para el cálculo de TRL4.....	238
Tabla 142. Test b) Conclusiones de los resultados de validación de la metodología.....	239
Tabla 143. Características de la Test c) y keywords asociadas.....	239
Tabla 144. Búsqueda en Módulo académico para TRL1-2 en Test c) .....	240
Tabla 145. Búsqueda en Módulo académico para TRL3-4 en Test c) .....	241
Tabla 146. Búsqueda del Módulo 1 para TRL1-2- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test c).....	242
Tabla 147. Búsqueda del Módulo 1 para TRL3-4- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test c).....	242
Tabla 148. Búsqueda en Módulo de patentes en Test c) .....	242
Tabla 149. Búsqueda del Módulo 2 para TRL3-6- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test c).....	243
Tabla 150. Búsqueda en Módulo de proyectos en Test c) (CORDIS) .....	243
Tabla 151. Búsqueda en Módulo de proyectos en Test c) (Innovation Radar) .....	245
Tabla 152. Búsqueda del Módulo 3 para TRL3-7- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test c).....	247
Tabla 153. Búsqueda en Módulo de negocios (IAEA) en Test c .....	247
Tabla 154. Búsqueda en Módulo de negocios (Empresas cotizadas en bolsa) en Test c .....	249
Tabla 155. Búsqueda del Módulo 4 para TRL5-7- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test c).....	249
Tabla 156. Búsqueda en Módulo de noticias en Test c).....	249

Tabla 157. Búsqueda del Módulo 5 para TRL4- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test c).....	250
Tabla 158. Resultados del Test c) para el cálculo de TRL1 .....	251
Tabla 159. Resultados del Test c) para el cálculo de TRL2 .....	251
Tabla 160. Resultados del Test c) para el cálculo de TRL3 .....	251
Tabla 161. Resultados del Test c) para el cálculo de TRL4 .....	252
Tabla 162. Resultados del Test c) para el cálculo de TRL5 .....	253
Tabla 163. Resultados del Test c) para el cálculo de TRL6.....	254
Tabla 164. Resultados del Test c) para el cálculo de TRL7 .....	255
Tabla 165. Test c) Conclusiones de los resultados de validación de la metodología.....	256
Tabla 166. Características de la Test f) y keywords asociadas. ....	257
Tabla 167. Búsqueda en Módulo académico para TRL1-2 en Test f).....	257
Tabla 168. Búsqueda en Módulo académico para TRL3-4 en Test f).....	258
Tabla 169. Búsqueda del Módulo 1 para TRL1-2- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test f) .....	259
Tabla 170. Búsqueda del Módulo 1 para TRL3-4- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test f) .....	259
Tabla 171. Búsqueda en Módulo de patentes en Test f).....	260
Tabla 172. Búsqueda del Módulo 2 para TRL3-7- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test f) .....	260
Tabla 173. Búsqueda en Módulo de proyectos en Test f) (CORDIS).....	261
Tabla 174. Búsqueda en Módulo de proyectos en Test f) (Innovation Radar).....	262
Tabla 175. Búsqueda del Módulo 3 para TRL3-7- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test f) .....	263
Tabla 176. Búsqueda en Módulo de negocios (Boeing) en Test f) (I) .....	263
Tabla 177. Búsqueda en Módulo de negocios (Boeing) en Test f) (II) .....	264
Tabla 178. Búsqueda en Módulo de negocios (Empresas cotizadas en bolsa) en Test f) .....	264

Tabla 179. Búsqueda del Módulo 4 para TRL5-7- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test f) .....	264
Tabla 180. Búsqueda en Módulo de noticias en Test f) .....	265
Tabla 181. Búsqueda del Módulo 5 para TRL4- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test f) .....	266
Tabla 182. Resultados del Test f) para el cálculo de TRL1 .....	267
Tabla 183. Resultados del Test f) para el cálculo de TRL2 .....	267
Tabla 184. Resultados del Test f) para el cálculo de TRL3 .....	268
Tabla 185. Resultados del Test f) para el cálculo de TRL4 .....	268
Tabla 186. Resultados del Test f) para el cálculo de TRL5 .....	269
Tabla 187. Resultados del Test f) para el cálculo de TRL6 .....	270
Tabla 188. Resultados del Test f) para el cálculo de TRL7 .....	271
Tabla 189. Resultados del Test f) para el cálculo de TRL8 .....	272
Tabla 190. Resultados del Test f) para el cálculo de TRL9 .....	273
Tabla 191. Test f) Conclusiones de los resultados de validación de la metodología .....	273
Tabla 192. Listado de las principales herramientas de IA por tipo (1. Chatbot, 2. Escritura, 3. Productividad y 4. Investigación científica).....	275
Tabla 193. Fuentes de datos gratuitas para crear las bases de datos de los módulos (Fuente: elaboración propia). .....	278

# 1 INTRODUCCION

La I+D+i (Investigación, Desarrollo e innovación) se considera un factor clave íntimamente relacionado con el crecimiento económico, tanto dentro de un país (Mansfield, 1972) como a nivel mundial (Sylwester, 2001) (Pessoa, 2010). Es más, aquellos países con mejores ratios asociados a I+D (inversión público-privada, número de patentes, etc.) son los que lideran las clasificaciones presentadas por la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) y los que mejores perspectivas de futuro tienen. Pero ya no es, solo, una cuestión asociada a la economía, sino al propio bienestar social. Es sabido que las nuevas iniciativas y tendencias tecnológicas pueden llevar a romper el *statu quo* aportando nuevos modelos de negocio donde las empresas conocidas como “unicornios” puedan crear nuevos nichos de mercado, llegando a hacer que sus competidores, incluso grandes empresas con monopolios, puedan seriamente afectadas. Sin olvidar tampoco el concepto de innovación (i), que según se define en el Manual de Oslo de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (OECD/Eurostat, 2007), "es la introducción de un producto (bien sea un servicio nuevo o uno significativamente mejorado), un proceso, un nuevo método de comercialización o un nuevo método organizativo en las prácticas internas de la empresa, la organización del lugar de trabajo o las relaciones exteriores."

En este sentido, no hay más que poner la atención en los retornos de la Unión Europea, y en particular de España en lo que respecta a la inversión retornada en programas de financiación de I+D+i europeos como el programa Horizonte Europa (HE), sucesor de Horizonte 2020 (H2020) o el antecesor de ambos, el Séptimo Programa Marco (FP7) del periodo 2007-2013. España ha evolucionado en los últimos 15 años posicionándose entre los diez primeros países de la Unión Europea, en términos de retorno económico. Sin ir más lejos, en el programa Horizonte 2020, del periodo 2014 a 2020, España ha sido el cuarto país por detrás de Alemania, Reino Unido y Francia (CDTI - Dirección Programas de la Unión Europea y Cooperación Territorial, 2021). Este contexto refleja la importancia cuantificar la I+D+i realizada: medir el número de patentes o publicaciones científicas ejecutadas por organizaciones de un determinado país, medir el retorno de la inversión de I+D+i en este tipo de programas, cuantificar las empresas (*start-ups*, *spin-offs*, etc.) que se han creado para explotar los resultados de I+D+i y poder llevarlos a mercado, etc.

Pero, también es muy importante medir la tecnología, y saber en qué estado se encuentra ésta. ¿Es investigación (I), desarrollo (D) o innovación (i)? ¿Qué cantidad de recursos humanos necesito? ¿Qué probabilidad tengo de acceder a financiación pública, fondos de inversión, *Business Angels*, etc.? ¿Cuáles son los riesgos asociados al desarrollo tecnológico si estoy en I, en D o en i? Para ello, en los últimos años, en particular desde el programa europeo de I+D+i Horizonte 2020, se ha incluido un concepto procedente de Estados Unidos y utilizado desde los años 70 en la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) para poder evaluar la evolución de una tecnología antes de que esta pueda ser llevada a una misión espacial: el TRL o *Technology Readiness Level* (nivel de madurez tecnológica) (Mankins, 2009b).

La evolución de la tecnología y las diversas problemáticas existentes de financiación, riesgos o incertidumbre por las que pasan, varían en función de que ésta se encuentre en el ámbito de la investigación, el desarrollo o la innovación. Así surgió el concepto de “Valle de la Muerte” donde autores como (Wessner, 2005) o (Ford et al., 2007) analizan ese fenómeno, una etapa en el desarrollo de una tecnología en la que los resultados de las investigaciones sufren importantes limitaciones, a la hora de llegar al mercado. Pero no sólo eso, sino que uno de los productos clave de la compañía Gartner conocido como la Gráfica *Hype-Cycle* permite establecer una previsión de avance de una serie de tecnologías relacionadas a lo largo del tiempo. Esta ventana temporal abarca diversos periodos y se crea por medio del consenso de expertos y su importancia es tal, que ya hay autores que la analizan y comparan con el concepto de TRL presentado anteriormente (Hsieh, 2019).

En la actualidad, si bien el TRL se utiliza ampliamente en programas de financiación pública de la I+D+i (European Commission, 2014), en cuanto a su forma de cálculo, se sigue determinando de forma cualitativa en base a una serie de definiciones cuya interpretación recae principalmente en la opinión de expertos en la materia. Esto ocasiona variaciones relevantes en la interpretación según, no sólo la tecnología, sino el ámbito de aplicación. Es decir, no hay una forma estándar ni unificada de determinarlo, por lo que existe un amplio sesgo humano asociado y sus consiguientes limitaciones. Existen algunos desarrollos de métodos cuantitativos con muy poco uso y que no se orientan hacia su uso en pequeñas empresas u organizaciones con recursos limitados. Esta tesis pretende plantear una aproximación cuantitativa a la estimación del TRL de una tecnología, utilizando elementos que se puedan utilizar con coste muy bajo.

El documento se estructura en una serie de capítulos que reflejan el proceso seguido en la investigación. Tras la introducción del capítulo 1, el capítulo 2 se centra en analizar las opciones existentes en el estado del arte para medir el estado de la tecnología, desde conceptos como el TRL a otros conceptos satélites que pueden ser de interés. El capítulo 3 establece los objetivos del trabajo y la metodología a seguir en base al problema encontrado, las hipótesis de partida y la solución que se pretende obtener: una

metodología cuantitativa, a partir del concepto de TRL, para el cálculo de la madurez tecnológica que pueda ser utilizada en organizaciones de pequeño y mediano tamaño.

En el capítulo 4, se hace una revisión del estado del arte en lo concerniente a metodologías de estimación de TRL existentes. Se analizan tanto los métodos cualitativos como cuantitativos existentes y se hace una comparativa de los mismos acerca de su potencial de aplicación en las organizaciones objetivo. Además, se analizan en detalle los dos métodos cuantitativos de cálculo del TRL que se han encontrado en la bibliografía (SmET y BIMATEM), por ser aquellos que responden directamente al objetivo principal de esta tesis.

El capítulo 5 trata precisamente de realizar un análisis crítico de estas dos metodologías cuantitativas (SmET y BIMATEM) para comprobar en qué grado son capaces de calcular de forma cuantitativa, no dependiente de expertos, y con bases de datos gratuitas o de bajo coste, el TRL asociado a una tecnología industrial dada (de entre las llamadas KET o *Key Enabling Technologies* (European Commission, 2009)) y ámbito de aplicación. Para ello se llevan a cabo una serie de pruebas de validación para determinar las bondades y sus limitaciones. En función de esta información, se identifican una serie de propuestas de mejora que serán requisitos para el desarrollo de una nueva metodología. El capítulo 6 se ha centrado en realizar un diagnóstico de situación para conocer el grado de aceptación que podría tener esta metodología en diversas entidades. De este modo, se presentan los resultados y conclusiones de una encuesta realizada a perfiles diversos en organizaciones públicas y privadas, para conocer la utilidad que podría tener una metodología de este tipo en la gestión de proyectos tecnológicos en su organización.

Así, en el capítulo 7 se describe la metodología de desarrollo propio, que parte como una propuesta con un enfoque innovador que hace frente a las limitaciones encontradas en los métodos actuales, como son SmET y BIMATEM. Posteriormente, en el capítulo 8, se realizan seis pruebas de validación de dicha metodología para comprobar si cumple las premisas establecidas inicialmente y exigidas a SmET y BIMATEM o, hasta qué nivel las cumple.

Por último, el capítulo 9 presenta las conclusiones de este trabajo. Por un lado, detalla una serie de deficiencias encontradas en la metodología que, a su vez, han permitido definir una serie de líneas futuras de investigación para paliarlas. Por otro lado, se analiza el potencial de este tipo de metodologías a la hora de facilitar la toma de decisiones estratégicas en lo que respecta a la priorización de y gestión de proyectos tecnológicos en función de su estado de madurez (I+D+i).

## 2 LA MEDICION DEL ESTADO DE DESARROLLO DE LA TECNOLOGIA

### 2.1 Evaluación de I+D+i en pequeñas y medianas empresas

En la actualidad el número de empresas de base tecnológica y *start-ups* industriales está en continuo crecimiento, en particular en esta era en la que se está realizando una veloz adaptación hacia lo digital. Su base es el potencial de digitalización como una de las tecnologías clave para mejorar el sector manufacturero (Zhou, 2013) y cómo las tecnologías de la Industria 4.0 pueden impactar positivamente en la creación de diversos factores de valor dentro de la organización tales como el equipamiento, los recursos humanos, la organización, el producto o el proceso (Stock & Seliger, 2016). La digitalización del sector manufacturero es un reto europeo tal y como han demostrado los *roadmaps* tecnológicos nacionales y supranacionales a lo largo de la Unión Europea (Stock & Seliger, 2016). Además, otras potencias industriales como EEUU o China también son conscientes de la importancia de las tecnologías de la Industria 4.0 como una herramienta para incrementar la competitividad industrial. Todos los agentes clave o *stakeholders* (*venture capital*, políticos, emprendedores, autoridades, etc.) saben de la relevancia del desarrollo tecnológico en el crecimiento económico (Almus & Nerlinger, 1999).

En Europa, las pequeñas y medianas empresas (PYMEs) son agentes significativos en el crecimiento económico ya que representan un alto porcentaje de la producción industrial (Almus & Nerlinger, 1999). En particular, las PYMEs del sector manufacturero representan un 9% en cuanto a su representación dentro del número total, 19% en términos de gente empleada y 19% si se considera el valor añadido para las PYMEs (Muller et al., 2014).

Además, las características de los proyectos basados en tecnología (riesgos, acceso a financiación, etc.) dependen en gran medida del nivel de madurez tecnológica. Así, los proyectos con baja madurez tecnológica implican proyectos de investigación donde los riesgos son mayores, pero la financiación pública también es mayor, mientras que los proyectos basados en tecnologías muy maduras significan riesgos menores y, por tanto, un menor nivel de financiación (Mankins, 2002). Aún más, la capacidad de establecer el nivel de madurez tecnológica facilitará el proceso de toma de decisión en torno a la clasificación de los proyectos en cualquier tipo de organización, especialmente para aquellas de pequeño

y mediano tamaño, donde la priorización es crucial en el éxito de su negocio y la optimización en la asignación de recursos. Es más, la complejidad en la gestión es aún mayor cuando los sistemas involucrados son complejos, tal y como es el caso de los sistemas de I+D+i. Esto requiere de una aproximación holística para encontrar una solución adecuada donde aspectos como la creatividad, la flexibilidad o el pensamiento no lineal, son esenciales (Héraud et al., 2019).

La dificultad de llevar a mercado los avances científicos y tecnológicos ha sido estudiada por autores como (Ford et al., 2007) que describe el denominado “Valle de la Muerte” que aparece entre la investigación básica y la aplicada, un tiempo en el que es la tecnología no está cercana a su explotación comercial, y, por lo tanto, donde su desarrollo implica un elevando riesgo (Figura 2). Conforme a dicho artículo es más problemático obtener inversión en el estado intermedio (valle) que en los estados iniciales de investigación. Y aunque en esa zona del valle también hay riesgos, incertidumbres o factores de escala que implican mayores demandas económicas, esto por sí solo no explica su aparición. Medir el nivel de desarrollo de una tecnología determinada permitiría entender y establecer ayudas y financiación más efectivas, evitando el “Valle de la Muerte”, tal y como recogen diversos autores (Klitsie et al., 2019) (Dean et al., 2022) (Wessner, 2005) (Hudson & Khazragui, 2013) (Markham et al., 2010).

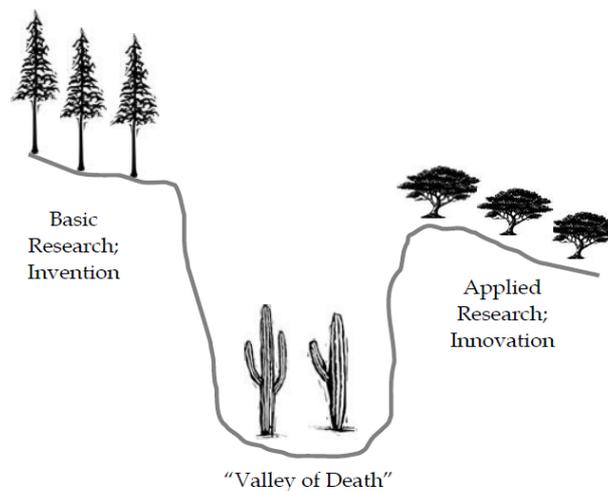


Figura 1. Imagen de “El Valle de la Muerte” (Ford et al., 2007)

Relativo a la clasificación de los proyectos de I+D+i, ciertos conceptos han cobrado una gran importancia al ser usado como indicadores en programas de financiación pública. En este sentido, la Comisión Europea aplica el TRL o *Technology Readiness Level*, por sus siglas en inglés, o Nivel de Madurez Tecnológica para clasificar la tecnología dentro de su Programa de Financiación de I+D+i *Horizon 2020* (Horizonte 2020) (Bruno et al., 2020) e incluso en el actual *Horizon Europe* (Horizonte Europa), este último establecido para el periodo 2021-2027, recogidas en los Anexos Generales de su Programa de Trabajo (European Commission, 2014). Como consecuencia, Europa está aplicando

ampliamente el concepto de TRL para clasificar los proyectos de base tecnológica según el estatus de sus desarrollos. En el *EIC Accelerator* (antiguo *SME Instrument* o Instrumento PYME) y *Fast Track to Innovation* (FTI), se debe haber completado al menos un TRL5-6 en el momento de presentar la propuesta. Esto significa que la investigación debe haberse completado (ampliamente), que la tecnología debe funcionar en un entorno relevante, y que un demostrador funcional debe existir poco tiempo después.

En este sentido, el potencial de conceptos como el TRL, es exponencial si se aplica en aspectos clave como determinar la madurez de una tecnología en el presente, en el pasado o incluso para predecir tendencias tecnológicas futuras. Es más, podrían ayudar a organismos públicos financiadores a optimizar el reparto de ayudas públicas. Sin embargo, estos TRLs se determinan de manera mayoritaria de manera cualitativa, en base a la opinión de expertos mientras que los métodos no subjetivos y cuantitativos para realizar estos cálculos, no están suficientemente investigados. Las PYMEs se pueden beneficiar, especialmente, de alternativas cuantitativas y objetivas para la estimación de la madurez tecnológica con el indicador TRL, que es la línea de investigación elegida en esta tesis.

A pesar de su importancia, hay una falta de herramientas específicas para las PYMES orientadas a facilitar sus actividades de I+D+i, más aún, cuando cuentan con recursos limitados (tanto humanos como financieros). Como consecuencia, a menudo necesitan apoyarse en Centros Tecnológicos y/o de Investigación y buscar financiación adicional (pública o privada). En particular, no existe ninguna herramienta adecuada que permita a las compañías clasificar los proyectos de I+D+i de una manera fácil y efectiva en coste. En este sentido, las PYMES y los emprendedores no siempre tienen un camino sencillo para avanzar desde la investigación al desarrollo en cooperación con varias agencias burocráticas, aspecto que autores como (Torres & Fowler, 2023) han subrayado.

En resumen, el TRL es un indicador muy utilizado para clasificar las actividades de I+D+i en cuanto a su cercanía a mercado. Conocerlo, permitiría a las PYMES, especialmente a las tecnológicas, priorizar mejor sus proyectos de I+D+i. Sería muy interesante y a la vez muy útil, poder cuantificar el nivel de madurez de una tecnología conforme a una metodología que pudiera ser aplicada por una PYME, en la que los recursos disponibles son muy limitados.

## 2.2 Technology Readiness Level (TRL).

La necesidad de disponer de una escala de medida para el desarrollo tecnológico estuvo clara en el caso de *National Aeronautics and Space Administration*, más conocida como la NASA, a principios de los años 70 del siglo pasado. En 1989, (Sadin et al., 1989) presentaron el concepto de madurez tecnológica y en su artículo proponían una nueva estrategia centrada en el desarrollo de nuevas tecnologías que no estaban directamente destinadas a programas espaciales. La disponibilidad de un creciente conjunto de

tecnologías en diversos niveles de desarrollo requiere esfuerzos en su categorización. Para ello, su artículo proponía un esquema de categorización de 7 niveles. En 1991, la NASA utilizó una categorización de TRL basada en 9 niveles añadiendo el nivel 8-9 a lo propuesto por (Mankins, 1995). Los autores aplican la siguiente definición: “*Technology Readiness Levels (TRLs)* son un sistema métrico sistemático que apoya la evaluación de la madurez de una tecnología particular y una comparación consistente de la madurez entre diferentes tipos de tecnología”. Esta figura de mérito es independiente de la disciplina y puede usarse para una evaluación y comunicación más efectiva de la madurez de las tecnologías (Mankins, 2009b). En 1999, la *US General Accounting Office* revisó diversos programas de defensa utilizando el esquema de TRL y recomendó que el DoD o Departamento de Defensa, usara la escala TRL (Schinasi, 1999). La ISO 16290:2013 “*Space systems—definition of the Technology Readiness Levels (TRLs) and their criteria of assessment*” (ISO 16290:2013, 2019) define el TRL de una manera similar a como lo hace Mankins y se convirtió en un estándar usado por la Agencia Espacial Europea o ESA por sus siglas en inglés (*European Space Agency*). El TRL no se ha extendido únicamente a los sectores de defensa o del espacio, sino que también lo ha hecho a otros macro desarrollos asociados con la industria química (Buchner et al., 2019) o nuclear (Carmack et al., 2017).

En 2019, La Unión Europea identifica las KETs por sus siglas en inglés *Key Enabling Technologies* gracias a su impacto potencial en el desarrollo industrial. En el documento COM(2009)512 (European Commission, 2009), se recomendaba que las propuestas de proyecto deberían diseñarse para asegurar una relación entre el resultado de investigación y su impacto industrial porque, dependiendo del nivel de madurez de la KET involucrada, es esencial la integración entre investigación experimental, innovación y explotación industrial. Se creó entonces un Grupo de Expertos de Alto Nivel para elaborar una estrategia europea que desarrollara seis KETs (donde la fabricación avanzada era uno de ellos). Este grupo experto estaba integrado por representantes de los Estados Miembros europeos y de industrias europeas de relevancia, incluyendo empresas de pequeño y mediano tamaño, así como centros tecnológicos y de investigación (European Commission, 2011). El hueco entre la generación de conocimiento básico y la consiguiente comercialización de dicho conocimiento en forma de productos comercializables es la principal debilidad identificada y se conoce con el término genérico de “valle de la muerte”. Para cruzar este “valle de la muerte”, se propone un puente de tres pilares, cada uno de ellos relacionado con los estados de desarrollo existentes: el primer estado es la Investigación tecnológica, el segundo es la Demostración de Producto y el tercero es la Fabricación Competitiva. La primera de las recomendaciones propuestas es la de aplicar el concepto de TRL, para definir los estados de desarrollo. Los TRLs se pueden definir tal y como propone el programa Horizonte 2020 (European Commission, 2014) y son los mostrados en la Figura 2.

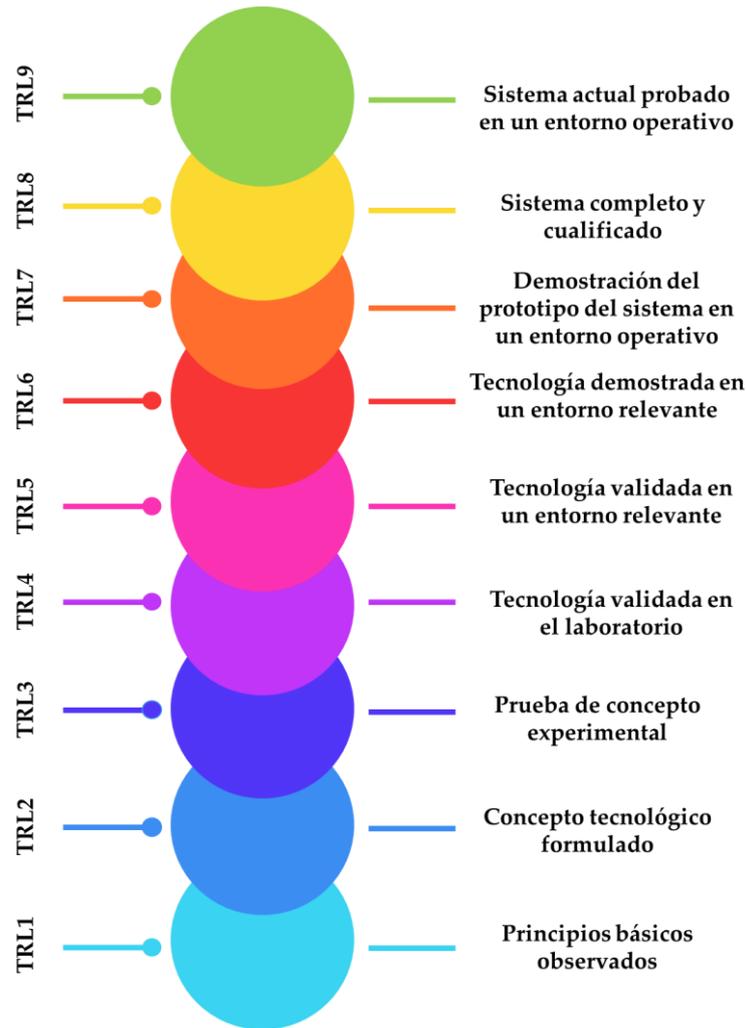


Figura 2. Escala de TRLs (elaboración propia)

Estos niveles tienen pocas diferencias con la propuesta de la NASA, y se han transpuesto a los organismos nacionales. En la Tabla 1 se muestra la traducción realizada por el Ministerio de Industria y Turismo de España (de Aldecoa Quintana, 2021)

Tabla 1. Niveles establecidos en la escala TRL (Fuente: Ministerio de Industria y Turismo) (de Aldecoa Quintana, 2021)

Nivel	Descripción	Prueba exigida
TRL1	Principios básicos observados y reportados	Idea Básica
TRL2	Concepto y/o aplicación tecnología formulada	Concepto o tecnología formulada
TRL3	Función crítica analítica y experimental y/o prueba de concepto característica	Prueba de concepto
TRL4	Validación de componente y/o disposición de los mismos en entorno de laboratorio	Validación a nivel de componentes en laboratorio
TRL5	Validación de componente y/o disposición de los mismos en un entorno relevante.	Validación a nivel de componentes en un entorno relevante
TRL6	Modelo de sistema o subsistema o demostración de prototipo en un entorno relevante	Validación de sistema o subsistema en un entorno relevante
TRL7	Demostración de sistema o prototipo en un entorno real.	Validación de sistema en un entorno real

Nivel	Descripción	Prueba exigida
TRL8	Sistema completo y certificado a través de pruebas y demostraciones	Validación y certificación completa en un entorno real.
TRL9	Sistema probado con éxito en entorno real	Pruebas con éxito en entorno real.

La imagen del desarrollo desde investigación a mercado como un puente de tres pilares y el indicador TRL tienen un encaje perfecto. El TRL1 se asocia con investigación básica, TRL2-4 describe los pasos de la investigación tecnológica (Pilar 1), y TRL5-8, con el Desarrollo de Producto (Pilar 2). Las actividades de fabricación (Pilar 3) comienzan en el TRL9.

Una de las características del programa de I+D+i europeo Horizonte 2020 fue el uso del TRL en muchas de sus propuestas. Por ejemplo, en las propuestas clasificadas como RIA por sus siglas del inglés *Research and Innovation Actions* (European Commission, 2018), se incluye su definición en la sección *Concept and Methodology*. A modo de ejemplo, el *topic* “*LC-BAT-1-2019: Strongly improved, highly performant and safe all solid state batteries for electric vehicle demands*” indica que los proyectos propuestos en esta línea deberían empezar en TRL3 y alcanzar un TRL6 al final del proyecto (European Commission, 2019c).

La escala TRL permite disponer de una terminología común para definir el estado tecnológico, permitiendo una comunicación entre los investigadores y los mecanismos de financiación, pero acusa de una falta de guías específicas para establecer claramente como estimar su valor.

Otro aspecto relevante es que la misma tecnología evoluciona de manera diferente en función del campo de aplicación. Esto se resalta en la literatura para el caso de la Fabricación Aditiva o *Additive Manufacturing* (Hague R. et al., 2016). Igualmente, la Robótica tiene varios niveles de madurez dependiendo del sector en la que se aplique (Sparrow & Howard, 2021) (Grau et al., 2021) (Gonzalez-Aguirre et al., 2021) (Camarillo et al., 2004). Además, otros autores han identificado el hueco existente para medir esta innovación (Sinclair-Desgagné, 2022) e incluso han propuesto nuevas métricas basadas en minería de datos (*data mining*) para resolver algunas de las limitaciones actuales, tales como factores circundantes que pueden afectar al valor final (por ejemplo, la aplicación final).

En su tesis doctoral, Mahafza (Mahafza, 2005) señala que el indicar TRL es insuficiente porque “no mide el funcionamiento de la tecnología frente a un conjunto de requisitos”, indicando que el valor obtenido es subjetivo.

Cornford (Cornford & Sarsfield, 2004) señalan, igualmente la falta de precisión del cálculo del TRL y describe limitaciones en el concepto del TRL. Dentro de las limitaciones destaca la subjetividad en la estimación, al no existir un método formalizado de cálculo. Esto era cierto en el momento de la

publicación y aún, hoy en día, hay grandes limitaciones en los métodos cuantitativos existentes. También señala que la descripción de los niveles puede dar lugar a confusión al ser poco sucintas.

### 2.3 Relevancia de la medición de la madurez tecnológica en la planificación de proyectos de I+D+i

En este apartado se enlaza el indicador TRL con la planificación estratégica del desarrollo de tecnología centrándose en tres metodologías, una orientada a planificación estratégica de organizaciones (TRM), otra al desarrollo de proyectos de sistemas (TRA), y, por último, se enlaza con una de las herramientas más conocidas en cuanto a desarrollo tecnológico, como es la curva de Gardner.

La planificación estratégica de las empresas necesita incorporar la información relativa a los desarrollos tecnológicos. Acertar en las decisiones que se basan en el desarrollo de nuestras tecnologías permite a las empresas tener una mejor posición frente a la competencia. La hoja de ruta de la tecnología o *Technology Road Mapping* (TRM) es un término genérico que se refieren al conjunto de estudios de prospectiva sobre futuros desarrollos tecnológicos, información que se puede usar en la planificación de decisiones estratégicas. Aparte de utilizar técnicas específicas de representación y de proyección futura, la base es una exigente búsqueda bibliográfica y la opinión de expertos. Dentro de este proceso de desarrollo de una hoja de ruta de la tecnología, determinar el TRL sería un elemento muy útil, ya que permitiría definir claramente el estado de desarrollo de las tecnologías e incluso de su evolución histórica, proporcionando la base para una proyección a futuro más ajustada. El TRM se ha implementado de forma extensa en grandes compañías, pero éstas encuentran múltiples dificultades para mantenerlo actualizado (Phaal et al., 2004). Si las grandes compañías encuentran complicado realizarlo, para las empresas de pequeño y mediano tamaño, el esfuerzo de realizarlo y mantenerlo actualizado es inconcebible salvo que disponga de nuevas y más sencillas metodologías. Hay factores que dificultan el lograr un TRM exitoso como la falta de disponibilidad de los datos o la información, y la dependencia de expertos en la materia (Phaal et al., 2001). La definición de una estrategia de investigación, como es el caso de la técnica de TRM y, en particular para formular proyectos de I+D en PYMEs, requiere conocer el estado de desarrollo de las tecnologías involucradas (TRL).

El interés sobre cómo gestionar el desarrollo de una tecnología está en el propio origen del concepto de TRL. La necesidad de desarrollar grandes proyectos en los que serían necesarios nuevos desarrollos tecnológicos obliga a usar nuevos métodos de gestión. Los *Technology Readiness Assessments* (TRA) son evaluaciones de la madurez tecnológica, que se utilizan desde los años 90 en la NASA y el Departamento de defensa de EE. UU, y que se ha difundido a otras agencias, gobiernos y grandes industrial. El TRA es un proceso sistemático que evalúa la madurez de los que denomina Elementos Tecnológicos Críticos, (*Critical Technology Elements* (CTEs) de un sistema. El proceso se debería

iniciales estableciendo los CTEs conforme a una estructura de descomposición WBS (*Work Breakdown Structure*). Para cada CTE identificado se debe evaluar su TRL, valores que serán actualizados a lo largo del tiempo como parte del seguimiento del proyecto. El TRA es una herramienta fundamental para identificar riesgos asociados con la madurez tecnológica de una tecnología (GAO U.S. Government Accountability Office, 2020) . El TRA se planteó enfocado al desarrollo de grandes proyectos para grandes empresas y organizaciones, pero, debido a la escasez de recursos en las PYMEs, hay requisitos adicionales para disponer de una metodología de evaluación de los TRLs en ellas: uso de fuentes de datos gratuitas, metodología no dependiente de expertos, idoneidad para cualquier tipo de aplicación tecnológica industrial, etc. El enfoque planteado es demasiado complejo y el cálculo de los indicadores demasiado exigente para las pequeñas y medianas empresas y centros tecnológicos.

Cuando se habla de desarrollo de una tecnología, una de las herramientas más conocidas, sobre cuando se habla de tecnologías emergentes es la curva de Gartner (*Hype Cycle* de Gartner). De acuerdo con la esta aproximación, propuesta por la consultora Gartner, el desarrollo de una tecnología pasa por cinco fases:

- *Innovation trigger* o activador de la innovación: se refiere a una prueba de concepto temprana con interés de los medios.
- *Peak of inflated Expectations* o pico de expectativas infladas: indica cuando las historias de éxito tempranas alimentan las expectativas de nuevas innovaciones más allá de la realidad de sus capacidades.
- *Trough of Disillusionment* o canal de desilusión: denota cuando el interés disminuye porque las implementaciones no alcanzan la velocidad de entrega esperada ni el retorno de la inversión a tiempo.
- *Slope of Enlightenment* o pendiente de conocimiento: sugiere el estado en el que los productos de nueva generación empiezan a demostrar su valor y aparecen lecciones aprendidas sobre la mejor manera de usar las innovaciones y evitar los imprevistos, superando así los obstáculos tecnológicos.
- *Plateau of Productivity* o meseta de productividad: designa cuando la aceptación de la adopción de la tecnología se acelera por su productividad y valor resultante, y ésta se convierte en el estándar industrial con beneficios tecnológicos demostrados. Además, se produce la aceptación de esta tecnología, gracias a la reducción del nivel de riesgo asociado.

En la curva de Gardner (Hsieh, 2019), el eje horizontal se representa el tiempo, y la representación gráfica muestra la situación de cada tecnología sobre la curva, para un instante temporal considerado. El eje vertical y muestra el valor de la innovación de las expectativas de quienes la van a adoptar, bien sean organizaciones o industrias, para tomar las decisiones de inversión. Cada año, basándose en el

consenso de la evaluación de sus expertos analistas, la empresa crea varias de estas gráficas para diversas industrias. En la Figura 3 se muestra un ejemplo de esta para tecnologías emergentes en el año 2023.

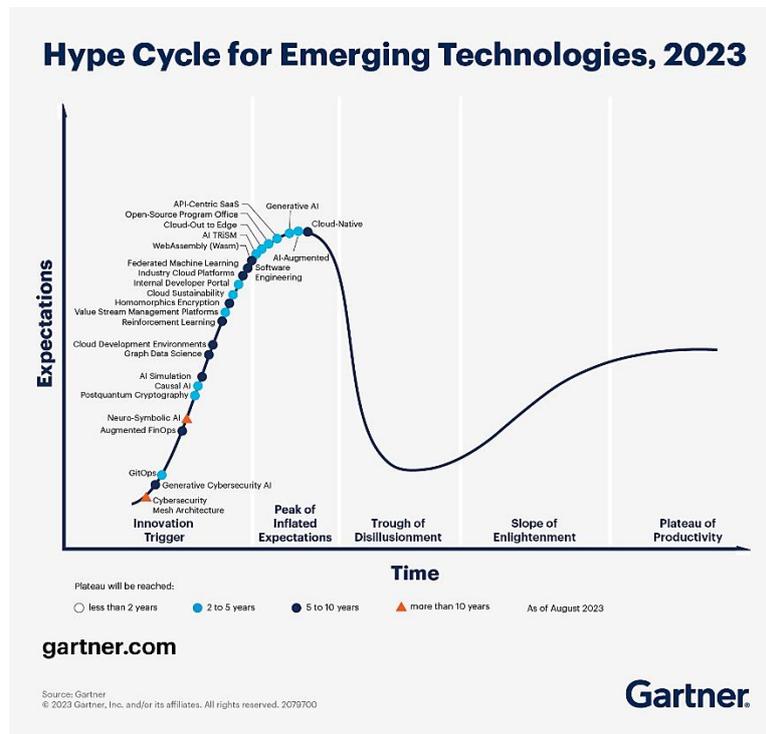


Figura 3. Hype Cycle para tecnologías emergentes (Gartner, 2023)

Hsieh (Hsieh, 2019) considera que las cinco fases mostradas en la curva de Gardner permiten clasificar la madurez técnica de una tecnología. Propone la siguiente relación de niveles de madurez, correspondientes a las cinco fases:

- Embrionario: se realiza en el laboratorio
- Emergente: ya hay comercialización realizada por medio de proveedores. Los pilotos y demostradores se llevan a cabo por los líderes industriales.
- Adolescentes: ha habido evolución de las capacidades tecnológicas y existen tanto metodologías como infraestructura y ecosistemas asociados.
- Corriente principal temprana: la tecnología está probada con valores relativamente previsibles en muchos ambientes.
- Corriente principal madura: la tecnología está probada con propuestas de valor claras y la tecnología ya está comercializada.

Y lo que resulta especialmente interesante es que esas fases son relacionadas por el propio autor con los niveles del TRL, (Hsieh, 2019) ha realizado su propia comparativa entre el concepto de TRL presentado y la Curva de Gartner, encontrando las siguientes correspondencias (mostradas en la Figura 4):

- Ausencia de correspondencia: es el caso en el que la clasificación tecnológica según la escala de TRLs no encuentra correspondencia con la clasificación de madurez ofrecida por Gartner. Este es el caso de TRL1 y TRL2 donde no hay una aplicación organizacional directa y tampoco productos comerciales viables.
- Correspondencia: en este caso, la clasificación de la escala de TRLs encuentra correspondencia con la curva de Gartner.
  - TRL3, TRL4 y TRL5 se corresponden con el nivel “Embrionario” de Gartner. TRL 3 y TRL4 corresponde a fases de preconcepto y concepto respectivamente mientras que el TRL5 es el comienzo del desarrollo tecnológico.
  - TRL6 y TRL7 se corresponden con el nivel “Emergente” de Gartner, siendo el TRL6 la demostración de un sistema o prototipo. TRL7 sería el desarrollo y demostración de un sistema para desarrollar prototipos en medios operativos.
  - TRL8 corresponde con el nivel “Adolescente” de Gartner y que se asocia con una tecnología evolucionada que para los sistemas actuales que está cualificada por medio de pruebas y demostraciones en infraestructuras y ecosistemas asociados.
  - TRL9 se corresponde con nivel “Corriente principal temprana” y “Corriente principal madura” de Gartner, lo cual implica que la operación es posible y se produce una evolución desde un entorno de nicho hacia un producto industrial.

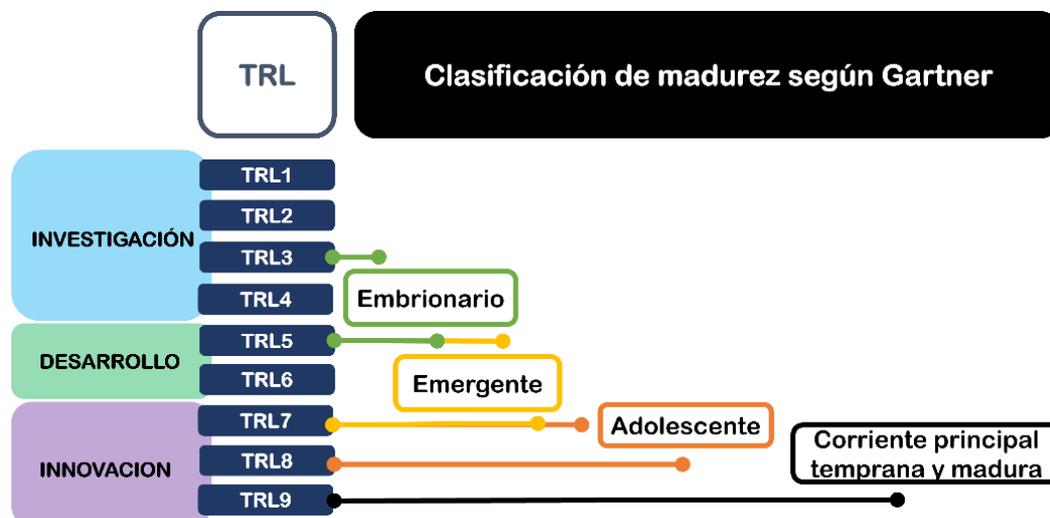


Figura 4. Comparativa entre la escala de TRLs y la clasificación de madurez tecnológica según Gartner (elaboración propia a partir de (Hsieh, 2019))

Se puede ver que el TRL tiene una mejor definición de las etapas iniciales del desarrollo, mientras que la curva de Gardner se enfoca en la introducción en mercado. Se entiende que, en las etapas iniciales, el TRL es un indicador que clasifica mejor las situaciones que se producen. Autores como (Straub, 2015) proponen la introducción de un décimo nivel en la escala TRL, el TRL 10, donde se situarían las tecnologías que están ampliamente utilizadas y probadas. Su aproximación, no obstante, se centra

demasiado en el sector aeronáutico definiendo el TRL 10 como tecnologías que se usan sin incidentes, que pueden certificarse, que se conocen cuando falla y la razón, y la probabilidad de fallo es aceptable.

Como se ha demostrado por lo visto en este apartado, los niveles de madurez es un indicador bien conocido y que se relaciona con facilidad con otras metodologías y aproximaciones. La mayor parte de herramientas existentes se basan en una exigente perspectiva, que, difícilmente puede llevarse a cabo en un entorno diferente a las grandes organizaciones o empresas.

## 2.4 Indicadores de madurez complementarios al TRL

Se han propuesto varios sistemas de medición de madurez para orientar la transición de tecnologías emergentes a sistemas complejos. Los indicadores definidos completan la información del TRL mostrando otros aspectos de la llegada de una tecnología a mercado. El TRL se centra en el desarrollo de la tecnología, pero hay otros aspectos en cuanto a la aplicabilidad de la tecnología que se pueden considerar, sobre todo en las últimas etapas del desarrollo.

Una de las aproximaciones con mayor interés incide en que este desarrollo tecnológico formará parte, en muchas ocasiones, de un sistema, cuya madurez hay que evaluar. (B. J. Sauser et al., 2008) propone que el desarrollo de índice que sirva de referencia para la toma de decisiones en el desarrollo de sistemas complejos, presentado como *System Readiness Level* (SRL) que incorpora al indicador TRL, más un nuevo indicador denominado *Integration Readiness Level* (IRL) que mide la disponibilidad del sistema acorde con el ciclo de vida de la ingeniería de sistemas. En (B. Sauser et al., 2010) se describe la escala del IRL con nueve niveles, agrupados en tres fases, con una estructura, por lo tanto, similar a la del TRL. Al definirse como un indicador que mide la integración, hay que tener en cuenta que habrá un IRL por cada pareja de subsistemas. Así, que en un sistema donde hay implicados  $n$  desarrollos tecnológicos que afecta a mis subsistemas, se tendrá un vector de TRL don  $n$  filas y una matriz cuadrada de  $m$  filas de SRL indicando la madurez de la integración de un subsistema con el otro. Multiplicando ambos se obtienen el índice SRL.

Establecer una metodología que integre el desarrollo de los sistemas que engloban desarrollos tecnológicos ha sido abordada en trabajos, como en (Gove & Uzdinski, 2013) y (Kujawski, 2013). La experiencia en el uso de los TRL como indicador por el Departamento de Defensa se ha estudiado en (Azizian et al., 2009). Aunque el uso de los TRL es eficaz como herramienta para evaluar costes, plazos y riesgos en el desarrollo de los sistemas, puede complementarse con otras herramientas. El estudio aborda la problemática de los grandes proyectos de defensa donde la complejidad es máxima. Los problemas de incremento de coste y plazo aparecen en la mayoría de los desarrollos, por lo que se han propuesto nuevos indicadores como el *System Readiness Level* (SRL) ya mencionado, el *Integration*

*Readiness Level* (IRL). Y el *Manufacturing Readiness Level* (MRL), que es una escala de 10 niveles que identifica los riesgos asociados a la fabricación.

(Graettinger et al., 2002) definen indicadores específicos, como TRL para software con valores específicos para los niveles, En (DoD - JDMRP, 2008) se define el TRRL (*Technology Readiness Transfer Level*) que adapta los niveles descritos en el TRL a la transferencia de la tecnología entre programas espaciales y el sector industrial.

Con la aparición de estos nuevos conceptos, también lo hacen las iniciativas metodológicas integrales que los aplican a la gestión del desarrollo tecnológico en diversos campos. Este es el caso de la propuesta de (Holden, 2022) donde, basándose en los conceptos de TRL, IRL y SRL, define un marco de niveles de madurez para lograr una bioeconomía circular sostenible. En este caso, aplica el concepto de TRL de (Mankins, 2009b) adaptada, la de IRL de (Smith, 2017) y SRL, al igual que utilizaron anteriormente (Bruno et al., 2020), aplican la definición de (Innovation Fund Denmark, 2018). De manera resumida, la Figura 5 muestra la definición aplicada por los autores para cada uno de los conceptos señalados.

Tabla 2. Escalas para tecnología (TRL), innovación (IRL) y temas sociales (SRL) (elaboración propia a partir de (Holden, 2022))

	<b>TRL</b>	<b>IRL</b>	<b>SRL</b>
1	Principios básicos observados	Una nueva idea	Identificar un problema y la madurez social.
2	Concepto tecnológico formulado	El concepto de negocio	Formulación del problema, soluciones e impacto. Madurez esperada de los <i>stakeholders</i> identificados.
3	Prueba de concepto experimental	Propuesta de idea o negocio	Prueba inicial de la solución con <i>stakeholders</i> relevantes.
4	Tecnología validada en el laboratorio	Crear un plan accionable	Validación del problema con una prueba piloto en un entorno relevante.
5	Tecnología validada en un medio relevante a nivel industrial	Pruebas escaladas	Solución propuesta validada por <i>stakeholders</i> relevantes en el área.
6	Tecnología demostrada en un medio relevante a nivel industrial	Diseño y pruebas de un sistema de apoyo	Solución demostrada en un entorno en cooperación con los <i>stakeholders</i> relevantes.
7	Demostración del prototipo del sistema en un entorno operativo	Pruebas completas de los sistemas o productos	Refinamiento de la solución y nuevas pruebas en entorno relevante con los <i>stakeholders</i> relevantes que sean necesarios.
8	Sistema completo y cualificado	Hacer ajustes en el sistema o en el producto	Soluciones propuestas y plan para su adopción social completa y cualificada
9	Sistema actual probado en un entorno operativo	Listo para operación a escala completa	Solución actual probada en un entorno relevante

Basándose en dichas definiciones, (Holden, 2022) propone el marco indicado en la Figura 5, estructurado en cuatro pasos: 1. Ideación, 2. Prototipado, 3. Validación y 4. Implementación). Entre cada uno de los cuatro estados anteriores, hay unas “preguntas de paso” para determinar si se continua con el proceso.

Además, para incrementar la probabilidad de éxito, el desarrollo se debe llevar a cabo a través de las tres puertas de paso más o menos con la misma ratio de TRL, IRL y SRL, ya que se asume que las actividades de innovación, tales como el Canvas de innovación, los programas aceleradores, los Hubs temáticos, las comunidades de innovación y los apoyos de mentores o del estado, se usan de manera habitual. Para entender mejor la aproximación propuesta, se indica con el ejemplo de las primeras etapas:

- Normalmente las ideas generadas se generan como una solución tecnológica (TRL1) o como un concepto de negocio (IRL1).
- Si la idea proviene del ámbito científico, es probable que se avance hasta llegar a TRL3 antes de que su propietario considere siquiera la opción de comercialización. En cambio, si la idea proviene de un ámbito comercial, es más probable que avance hacia IRL2 antes de encontrar o desarrollar una solución técnica. En ambos casos es crítico que las ideas alcancen SRL1 donde los innovadores reflejan una “madurez social general hacia la idea” e identifican “*stakeholders* relevantes y cómo incluirlos”.
- Es decir, SRL1 no se refiere al concepto abstracto de “encontrar alguna solución” sino que se centra en “una solución específica, ofrecida para una tecnología específica”. Por ello SRL1 necesita encontrar una solución técnica al problema y aceptar esta solución sobre la que se está trabajando en la primera fase de ideación.

En cada puerta de paso, se realizan una serie de valores objetivos para pasar al siguiente paso, tal y como muestra la Figura 5. Según la explicación anterior, para pasar de 1. Ideación a 2. Prototipado, se debe cumplir que TRL=3, IRL=2 y SRL=1 mientras que para pasar de 2. Prototipado a 3. Validación, se requiere que TRL=6, IRL=6 y SRL=5, y así sucesivamente para el resto de las etapas. En todo caso, no propone ningún método de cálculo de esos conceptos, salvo seguir la referencia indicada en la Tabla 2.

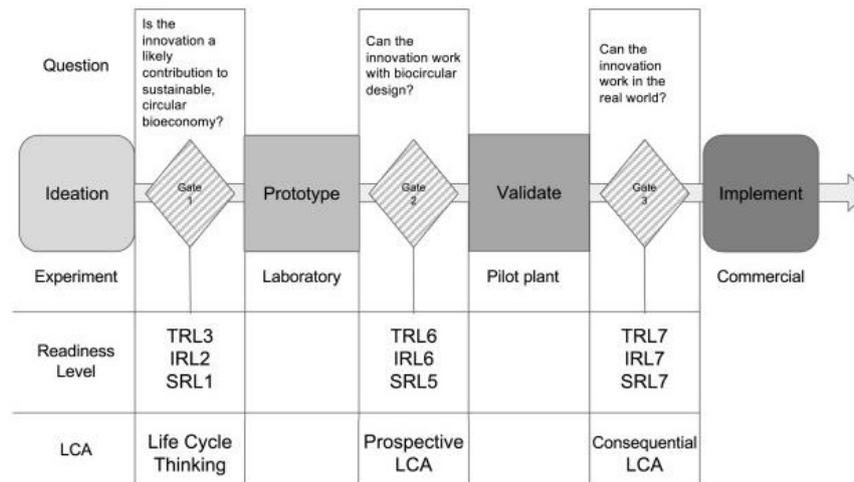


Figura 5. Marco de puertas de paso para guiar el proceso de innovación hacia una implementación bio-circular para una bioeconomía circular sostenible (Holden, 2022)

La aparición de estos nuevos conceptos no sólo ha generado la aparición de nuevas metodologías, sino que también, ha ayudado a identificar necesidades existentes, generando nuevos modelos basados en dichos conceptos o bien en una mezcla de varios. Es el caso del nuevo modelo desarrollado por autores como *KTH Innovation–KTH Royal Institute of Technology Stockholm* es la institución para la educación superior en tecnología más grande de Escandinavia y una de las universidades de tecnología e ingeniería líderes en Europa- y llamado *KTH Innovation Readiness Level* (KTH Innovation, 2021). Este se presenta como un *framework* o marco que permite guiar sobre el desarrollo de una idea y evaluar su desarrollo a través de ciertas dimensiones clave. En principio el modelo está principalmente orientado a los primeros pasos y en torno a ideas tecnológicas, independientemente del sector tecnológico de aplicación.

Se parte de la premisa de que para ayudar a guiar sobre cómo llevar una idea desde su concepción a convertirla en una innovación de mercado, se deben de estudiar los siguientes seis puntos:

1. Cliente (*Customer*), para confirmar la necesidad e interés del cliente en el producto o servicio, mostrada con el indicador *Customer Readiness Level* (CRL);
2. Tecnología (*Technology*), aplicando el ya conocido concepto de *Technology Readiness Level* (TRL);
3. Modelo de negocio (*Business Model*), viabilidad financiera, medio ambiental y social, aplicando el *Business Model Readiness Level* (BRL);
4. Derechos de Propiedad Intelectual (*IPR* o *Intellectual Property Rights*), clarificar la situación legal y de IPR y asegurar la protección de la propiedad intelectual relevante, usando el *IPR Readiness Level*;
5. Equipo (*Team*), asegurando las competencias clave y alineando al equipo, usando el *Team Readiness Level* (TMRL);

6. Financiación (*Funding*), asegurar la financiación necesaria para llevar la idea al mercado, aplicando el *Funding Technology Readiness Level (FRL)*.

Cada uno de estos “nuevos” *Readiness Levels* o Niveles de Madurez por área tiene una escala con 9 niveles, pudiendo verse un ejemplo en la Figura 6.

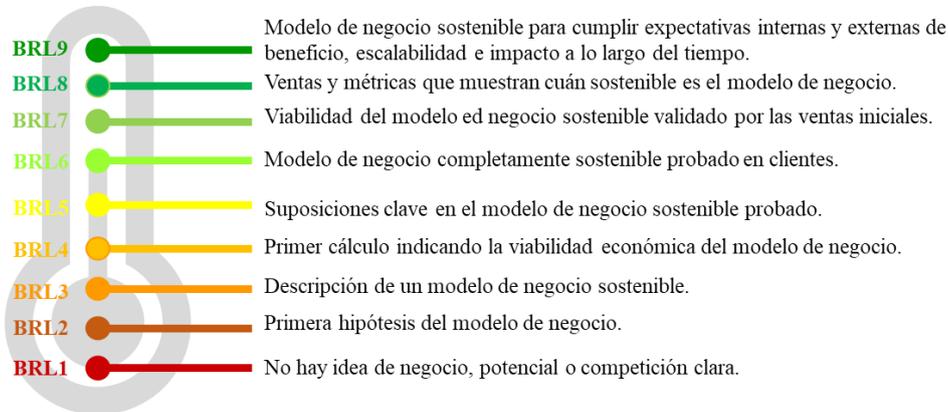


Figura 6. Guía y estructura de la escala de 9 niveles para el BRL o Business Readiness Level propuesto en el modelo KTH Innovation Readiness Level™ (elaboración propia a partir de (KTH Innovation, 2021))

Los resultados de los indicadores se muestran en una Gráfica de Radar o Diagrama de Araña (Figura 7) donde se obtiene información de partida, las acciones a priorizar y tiempos a aplicar sobre el plan de acción a trazar. Y de hecho es tan relevante y útil que hay otros artículos donde se menciona su potencial de aplicación, como es el caso del artículo que trata de la madurez de las innovaciones de negocios emergentes basados en césped para temas de circularidad o cambio climático, entre otros (Orozco & Grundmann, 2022).

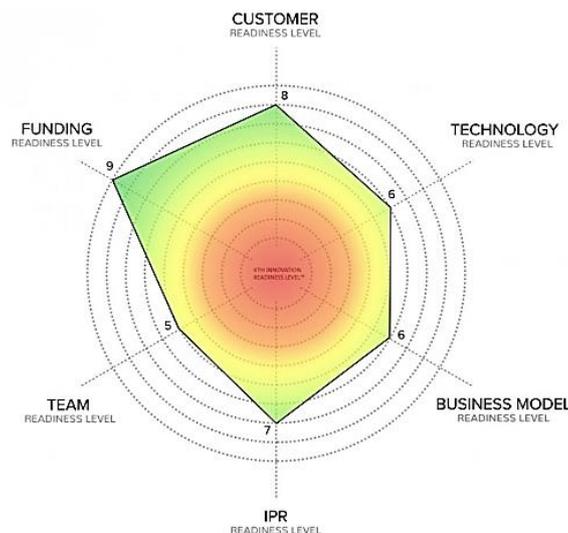


Figura 7. Visualización y medición del KTH Innovation Readiness Level™ (KTH Innovation, 2021)

Igualmente, la Comisión Europea se ha hecho eco de la importancia de valorar el potencial de innovación que tienen los resultados de los proyectos de I+D+i. Así, además de desarrollar una

plataforma donde se recogen dichos resultados llamada *Horizon Results Platform*, y que se recoge más adelante, ha elaborado una metodología propia llamada *Innovation Radar methodology*, disponible a través de la siguiente página web (European Commission, 2024) y cuyo origen se remonta al año 2015, cuando sus autores detallaron la misma en el siguiente informe (De Prato et al., 2015). El objetivo de esta metodología desarrollada por el JRC-*Joint Research Centre* de la Comisión Europea, es el de identificar innovaciones de elevado potencial y transformadores. Es, además, una fuente de inteligencia emergente de los proyectos de I+D+i financiados a través de la Unión Europea. Para ello, la metodología identifica cuatro niveles de madurez, que se representan en la Figura 8, y corresponden a diferentes zonas resultado de representar la madurez de la innovación en el eje x y la gestión de la innovación en el eje y.

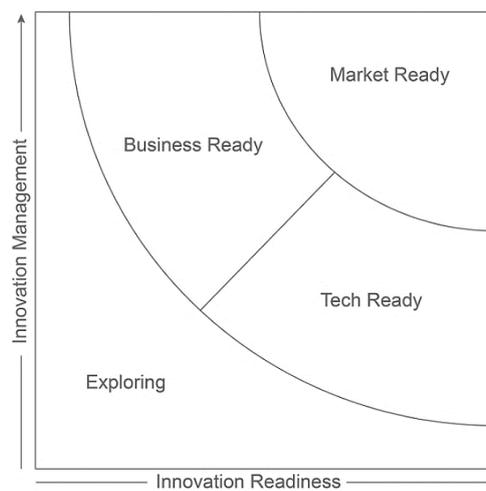


Figura 8. Representación de los cuatro niveles de madurez de la innovación (European Commission, 2024)

Los cuatro niveles de madurez mencionados se describen como sigue:

1. *Market ready* o Listo para el mercado: Innovaciones son tecnológicamente maduras y en las que el consorcio muestra un compromiso elevado de llevarlas a mercado.
2. *Tech ready* o Tecnológicamente listo: Innovaciones que van progresando hacia el proceso de desarrollo (por ejemplo, pilotos, prototipos, o demostración). Aunque se consideran avanzados en lo que respecta al desarrollo de la tecnología, precisaran un esfuerzo para transformar la tecnología novedosa en un producto o servicio comercializable.
3. *Business ready* o Listo para el negocio: Innovaciones para las cuales hay ideas concretas orientadas a mercado y donde ya se ha trabajado en ellas (por ejemplo, estudios de mercado, planes de negocio o participación de usuarios finales, entre otras). Se consideran avanzadas en lo que respecta a la preparación hacia el mercado, quedando su comercialización pendiente del progreso en el desarrollo tecnológico.

4. *Exploring* o exploración: Innovaciones que exploran nuevas oportunidades. Están en fases tempranas de madurez tecnológica pero las organizaciones ya muestran un interés elevado para desarrollarlas.

Además, como parte de las iniciativas estratégicas de la Unión Europea para explotar y dar continuidad a los resultados de I+D+i de los proyectos dentro de sus programas de financiación en esta línea, la Unión Europea ha creado la *Horizon Results Platform* (European Commission, 2024n). Esta no es más que una plataforma donde se pueden encontrar dichos resultados y que permite, entre otros servicios gratuitos, encontrar:

- Resultados relacionados con *políticas*, que o bien puedan influenciarlas o bien contribuyan a los objetivos de sostenibilidad de las Naciones Unidas (UN SDGs) (United Nations, 2024).
- El camino hacia la *innovación*, por medio de la búsqueda de financiación, préstamos o inversión, así como ayuda en su camino hacia la entrada a mercado.
- Avanzar en *I+D y tecnología*, para encontrar ayuda técnica, infraestructura o candidatos (empleados) así como colaboraciones.

## 2.5 Indicadores complementarios en las últimas etapas del desarrollo tecnológico.

A pesar del interés y la aplicabilidad del concepto de TRL, hay algunos aspectos implicados en la llegada a mercado de las actividades de I+D+i que no se tienen en consideración al utilizar este indicador. Una tecnología puede no llegar al mercado por no ser aceptada socialmente, o bien retrasarse por la necesidad de certificaciones muy exigentes como ocurre en ámbitos como el de la energía nuclear o en la medicina. La importancia de los aspectos no tecnológicos es grande, y a título de ejemplo, se puede indicar que un Grupo de Expertos de Alto Nivel establecido por la Comisión Europea, ha desarrollado una Guía Ética para una Inteligencia Artificial (IA) confiable (*High-Level Expert Group on Artificial Intelligence set up by the European Commission 2019*), que recoge aspectos más críticos que limitan la implantación de los sistemas basado en IA como los aspectos legales, éticos y su robustez frente al daño no intencionado (European Commission, 2019a).

En este sentido, una entidad de financiación como el *Innovation Fund Denmark* ya ha definido nuevos conceptos para hacer frente a la evaluación de las propuestas que gestionan, según se recoge en (Bruno et al., 2020). Se define el concepto de *Societal Readiness Level* (sRL) o Nivel de Madurez Social para evaluar el nivel de aceptación social de una tecnología, producto, proceso o intervención. Valores bajos del sRL indican la necesidad de poner en marcha medidas a medida que promuevan “una transición realista hacia la adaptación social”. De hecho, tal y como indican los autores, ambas escalas – la de SRL y la de TRL – no se solapan ya que los sRL únicamente evalúan la madurez de la sociedad para adoptar

la solución, siendo una escala tecnológicamente neutral. Es decir, cuando los equipos de I+D desarrollan una solución tecnológica deben tener presente que no sólo hay aspectos técnicos a tener en cuenta, sino que se debe considerar también si la sociedad está preparada para adoptar dicha tecnología. A semejanza del TRL, el indicador sRL tiene 9 niveles que se listan en la Tabla 3.

Tabla 3. Escala sRL - adaptada de Innovation Fund Denmark (Bruno et al., 2020)

Nivel de madurez	Descripción
sRL1	Identificación de las necesidades genéricas y las perspectivas de madurez asociadas.
sRL2	Formulación del concepto de solución propuesto e impactos potenciales, evaluación de cuestiones asociadas con la madurez social; identificación de <i>stakeholders</i> relevantes para el desarrollo de la solución.
sRL3	Se comparte inicialmente la solución propuesta con <i>stakeholders</i> relevantes) por ejemplo, a través de <i>mock-ups</i> o maquetas visuales: un grupo limitado de la sociedad sabe de la solución o de iniciativas similares.
sRL4	Solución validada a través de pruebas piloto en ambientes controlados para justificar los impactos propuestos y la madurez social: un grupo limitado de la sociedad prueba la solución o iniciativas similares.
sRL5	Solución validada a través de ambientes reales o realísticos y por los <i>stakeholders</i> relevantes: la sociedad conoce la solución o iniciativas similares, pero no es consciente de sus beneficios.
sRL6	Solución demostrada en un entorno real y en cooperación con <i>stakeholders</i> relevantes para conseguir comentarios sobre los impactos potenciales: la sociedad conoce la solución o iniciativas similares y crece la conciencia social sobre los beneficios.
sRL7	Refinamiento de la solución y, si es necesario, nuevas pruebas en entornos del mundo real con los <i>stakeholders</i> relevantes: la sociedad es totalmente consciente de los beneficios de la solución, una parte de la sociedad comienza a adoptar soluciones similares.
sRL8	Solución específica, así como un plan de adaptación social, completo y cualificado; la sociedad está preparada para adoptar la solución y ha utilizado soluciones similares en el mercado.
sRL9	Solución real probada en entornos sociales relevantes después de su lanzamiento al mercado; la sociedad está utilizando la solución disponible en el mercado

El concepto de sRL es de especial interés en las tecnologías que requieren de una colaboración humano-tecnología muy elevada. De hecho, como los propios autores del artículo indican, cada vez es más común que los proyectos de I+D+i giren cada vez más en torno al usuario o *user centric approach*, por medio de diseños centrados en el usuario, grupos de trabajo o encuestas para evaluar la aceptación social, etc. Prueba de ello es que cada vez es más común que en los proyectos de I+D+i promovidos por la Unión Europea, como el Programa Horizonte Europa, se promueva lo que se conoce como Ciencia Ciudadana o *citizen's science* (European Commission, 2024e).

Por otro lado, los mismos autores (Bruno et al., 2020) han definido por primera vez, y por analogía, el concepto de *Organizational Readiness Level* (ORL) o Nivel de Madurez Organizativo, que pretende ser visto como un modelo de madurez a medida que relacione el impacto organizativo de una determinada tecnología, producto, proceso o intervención. Al margen de más detalles sobre cómo se han inspirado en publicaciones de otros autores (Eleanor D. Glor., 2014) como base de su propia propuesta, han propuesto una escala de 9 niveles para medir los ORL por una cuestión de simetría, tal y como se detalla en la Tabla 4.

Tabla 4. Escala ORL (Bruno et al., 2020) inspirado por (Eleanor D. Glor., 2014)

Nivel de madurez	Descripción
ORL1	Identificación de la necesidad organizacional (infraestructuras, capacidades, habilidades) y aspectos asociados de preparación organizacional.
ORL2	Formulación del concepto de solución propuesta y sus posibles impactos; evaluación de cuestiones relacionadas con la madurez organizacional; identificación de roles, procesos, funciones y estructuras relevantes para la solución.
ORL3	Descripción completa de los impactos de la solución propuesta dentro de la organización en términos de roles, competencias y habilidades, así como las infraestructuras físicas requeridas.
ORL4	Solución validada mediante pruebas piloto en un medio organizativo real o realístico: la organización que desarrolla la solución comienza a adquirir roles, competencias y habilidades, así como las infraestructuras físicas requeridas.
ORL5	Solución propuesta validada mediante pruebas piloto en entornos organizacionales reales o realistas: la organización que está desarrollando la solución logra roles, competencias y habilidades, así como las infraestructuras físicas requeridas.
ORL6	Solución demostrada en entornos del mundo real y en cooperación con los <i>stakeholders</i> (o partes interesadas) relevantes para obtener comentarios con el fin de mejorar los roles, los procesos, las funciones y las infraestructuras requeridas.
ORL7	Refinamiento de los roles, procesos, funciones e infraestructuras requeridas y nueva prueba de la solución en entornos organizacionales relevantes.
ORL8	Solución específica, así como un plan de integración organizacional, completo y cualificado: los roles, procesos, funciones e infraestructuras están disponibles.
ORL9	Solución real probada en entornos organizacionales relevantes: los roles, procesos, funciones e infraestructuras se utilizan correctamente para la solución en el mercado.

En este caso, el ORL, tal y como subrayan los autores, indica el nivel de preparación que tiene una organización para recibir una solución innovadora precisamente, no siendo una valoración de la mejora que supondría el adoptar la tecnología. Se parte de que cualquier innovación (sea tecnológica o social) – requiere ser absorbida o integrada en el ambiente organizativo para llegar a ser adoptada de manera permanente. Esta aproximación es, igual que en el caso del sRL neutral desde un punto de vista tecnológico, sin que se produzca ningún solapamiento con el indicador TRL.

El concepto de *Legal Readiness Level* (LRL) o Nivel de Madurez Legal es una aproximación original de los mismos autores (Bruno et al., 2020) para el propósito de la investigación realizada. Conceptualmente, indican que este concepto está aún menos arraigado que el anterior en la literatura. De manera similar al caso anterior, la similitud entre sRL y ORL permite formular un modelo de madurez que esté pendiente de las implicaciones regulatorias y legales de las innovaciones en términos de cumplimiento, pero también de poder transformador. De hecho, es totalmente cierto que ninguna tecnología, producto, proceso o intervención puede sobrevivir si demuestra ir contra las reglas existentes que gobiernan el dominio seleccionado. También puede pasar lo contrario, es decir, que cualquier sistema legal evolucione con el tiempo como resultado de una innovación rupturista, trayendo consigo la necesidad de limitar el rango de posibilidades y configurar nuevos espacios para acciones legítimas.

Tomando como ejemplo lo que sucede en el campo de la IA, recientemente se exploró esto en un Taller conjunto entre JRC-EIT (JRC (Joint Research Centre) and EIT (European Institute of Technology)).

2018). Así mientras se pueda afirmar de manera fehaciente que todos los proyectos de I+D+i relacionados con IA y las *start-ups* que operan de manera estable en la misma, lo hacen dentro de los límites del sistema legal existente, cumplen los requisitos legales. También es significativo probar si se puede identificar cualquier obstáculo o resquicio regulatorio o legal, lo cual beneficiaría al desarrollo de esas tecnologías en un entorno más propensos a la innovación y también hacia la protección de los derechos individuales. Es decir, se asume que la innovación, especialmente la disruptiva, requiere una serie de prueba de cumplimiento legal para poder ser adoptada ampliamente. Por ello, los valores altos de LRL significan que su cumplimiento es mayor, mientras que en los valores más bajos de LRL el cumplimiento es menor y por tanto, será necesario establecer una serie de medidas ad-hoc para promover “una transición realista hacia el cumplimiento legal”. Con todo esto en mente la escala de LRL también se estructura en 9 niveles según se indica en la Tabla 5.

Tabla 5. Escala LRL (elaborada por (Bruno et al., 2020))

Nivel de madurez	Descripción
LRL1	Consideración general del cumplimiento de los aspectos legales y éticos observados, pero no se ha hecho aún nada para desarrollar la solución.
LRL2	Formulación de la necesidad de mejorar la normativa legal, leyes, reglas o guías y el concepto de la solución; evaluación del cumplimiento de los aspectos legales y éticos.
LRL3	Descripción del resumen del cumplimiento ético y legal de la solución propuesta.
LRL4	Perspectivas de cumplimiento ético y legal de la solución, validadas contra cualquier cambio recomendado o requerido el sistema regulatorio y/o legal.
LRL5	Definición del estado de cumplimiento legal y ético de la solución propuesta tras una prueba de piloto en un ambiente organizacional realista o real.
LRL6	Descripción detallada de los cambios recomendados o requeridos en las leyes, regulaciones o reglas organizacionales relevantes que aseguren el cumplimiento total de la solución propuesta.
LRL7	Refinamiento de la solución dentro del sistema legal y ético y, si es necesario, propuesta de cambios recomendados o requeridos para algunos de estos aspectos.
LRL8	Solución enfocada, al igual que la auditoría de cumplimiento legal y ética, cualificada y lista para lanzarse al mercado.
LRL9	Solución actual probada y conforme a la legalidad y aspectos éticos de aplicación tras haber sido lanzada al mercado.

En la tabla anterior se observa que un LRL 1-2 encaja con un sRL 1-2 y ORL 1-2 al reflejar la preocupación creciente del equipo de investigación sobre la existencia de temas asociados al cumplimiento de aspectos legales y éticos. En cambio, un LRL 3-6 se asocia a que hay una cada vez mayor preocupación por las leyes, regulaciones, principios éticos o reglas organizativas en las pruebas, validación y demostración de la solución objetivo. El LRL7 encaja con el mismo valor de sRL, ORL o TRL en el hecho de que es el último paso del prototipado, mientras que LRL8-9 pertenece a la fase previa de mercado o de lanzamiento al mercado, respectivamente.

Por último, como parte de las propias conclusiones de los autores (Bruno et al., 2020) cabe destacar el potencial del TRL y de estos conceptos afines, por los siguientes motivos:

- Una de las mayores ventajas de utilizar conceptos como el TRL, sRL, ORL u LRL es que son verificables y se están proponiendo como elementos básicos para continuar aplicándolos en los programas de financiación e I+D+i de la Unión Europea. En particular se empezó su implementación en el Horizonte 2020 y se continua con él en el Horizonte Europa.
- Es compatible con una gran variedad de tecnologías y dominios de aplicación, utilizando el enfoque de 4 ejes de aplicación usando TRL, sRL, ORL y LRL.
- Este marco de trabajo basado en los cuatro conceptos anteriores ha demostrado ser exitosos para diversas tecnologías, además de incluir de manera adecuada la interoperabilidad y los riesgos, así como ofrecer alternativas para mejorar el enfoque de posicionar al usuario en el centro.
- Por último, se indica que además de seguir utilizando el TRL para evaluar lo cerca de mercado que se encuentra una tecnología, el resto de los conceptos sobre madurez (sRL, ORL y LRL) deberían también incluirse o al menos plantearse su incorporación, ya que permitirían una columna vertebral más estructurada, holística y consciente de su impacto en la evaluación de los programas de I+D+i implantados.

## 2.6 Gestión de riesgos según la madurez tecnológica

La evaluación del estado de madurez de la tecnología siempre ha estado asociado al concepto de riesgo de un proyecto o programa. Cuando, a través de un proyecto, se desarrolla algo nuevo que deba incorporar avances tecnológicos implica un riesgo. Los proyectos de I+D+i están expuestos, además de los riesgos de no cumplir plazo ni coste previsto, a no poder alcanzar los objetivos previstos en un grado muy superior al habitual en los proyectos. Hasta tal punto es importante, que metodologías de gestión de proyectos como la del PMI (*Project Management Institute*) incorpora procesos específicos para la gestión del riesgo en el proyecto (Project Management Group, 2017). La gestión de los riesgos implica su definición, evaluación, planear respuestas y, por último, monitorizar y controlar en función de los cambios en el proyecto. La norma ISO31000:2018 (International Standard Organization, 2018) muestra una aproximación similar con un enfoque holístico que incorpora otros aspectos de la gestión de proyectos como la comunicación.

Uno de los aspectos clave a considerar es la gestión de riesgos enfocada en la selección de proyectos o de tecnologías. Es en la propia selección de la tecnología a desarrollar donde se debe comenzar la identificación y evaluación de riesgos. En la misma línea, el informe del GAO (GAO, 1999), el determinar el nivel de Desarrollo de una tecnología permite evaluar los riesgos inherentes a su desarrollo. Ya se indica que un bajo nivel de desarrollo (TRL bajo) representa un riesgo alto, puesto que hay numerosos problemas que solventar en el proceso de desarrollar la tecnología. Cuanto mayor es el salto entre lo disponible actualmente, y las características de la tecnología a desarrollar, tanto mayor será el riesgo (Moorhouse, 2002).

Tal y como indican (Hicks et al., 2009) , mientras que el desarrollo de producto (TRL9) tiene un nivel moderado de riesgo, la invención (comenzando en TRL1) tiene un muy alto nivel de riesgo. Anteriormente se ha indicado cómo los proyectos tecnológicos tienen mayor o menor riesgo en función del estado en el que se encuentre la tecnología involucrada. Es decir, Para proyectos de investigación básica (los TRLs más bajos de la escala), la incertidumbre siempre es mayor y por ello, y las necesidades de financiación son mayores (por ello las ratios de financiación pública son más elevados). En cambio, para proyectos de innovación (los TRLs más elevados de la escala), se entiende que la tecnología está más cerca de mercado y que la inversión puede retornar en el corto o medio plazo y por ello, las ratios de financiación pública son menores.

Autores como (Mankins, 2009a) han trabajado en evaluar los riesgos asociados a la madurez de una tecnología pues consideran que la única manera de tener éxito en proyectos de desarrollo de sistemas tecnológicos es evaluando y gestionando, de forma efectiva los riesgos tecnológicos y la madurez de las nuevas tecnologías críticas asociadas. Se parte de la idea que de que la I+D+i desarrollada ayudara a conseguir los objetivos del proyecto en cuanto a presupuesto, plazo y calidad. Sin embargo, si la I+D temprana se implementa de manera pobre los nuevos sistemas desarrollados en base a esta, sufrirán de sobrecostes, retrasos e incluso de una erosión de los objetivos de ejecución iniciales. Desde el punto de vista de la gestión de proyectos, es esencial ser capaz de evaluar la madurez de la metodología y los riesgos de manera clara y bien documentada, además de poder llevarlo a cabo en puntos clave de control a lo largo del ciclo de vida del programa. La aproximación que integra ambos aspectos se conoce como TRRA por sus siglas del inglés *Technology Readiness and Risk Assessment* y se caracteriza por su:

- Claridad: el proceso debería incluir criterios de decisión claros, tanto para determinar los riesgos como la madurez tecnológica; pudiendo ser verificados de forma independiente.
- Transparencia: el proceso de evaluación de los riesgos y la madurez tecnológicos debería ser formal (pero no excesivamente burocrático) y estar basado en el consenso.
- “Frescura”: la toma de decisión sobre la evaluación TRRA debería hacerse por y/o con la propiedad, hecha a tiempo y siempre enfocada al cumplimiento del presupuesto, planificación y cumplimiento de requisitos
- Útil como herramienta de apoyo en la gestión del programa.

Aquí es donde en propias palabras de Mankins, el concepto de TRL es una buena aproximación para evaluar la madurez tecnológica y el riesgo de cara a anticipar posibles riesgos en los desarrollos futuros del sistema. De hecho, resaltan que los TRLs son una figura de mérito o FOM por sus siglas del inglés *Figure of Merit*, es decir, una métrica de rendimiento programática e independiente de la disciplina que permite una comunicación y evaluación más efectiva acerca de la madurez de las nuevas tecnologías, tal y como se ha adelantado anteriormente. Pero como indica también hay herramientas más usuales de

evaluación del riesgo como la “matriz de riesgos”, ampliamente conocida e utilizada. En (Mankins, 2009a) propone su nuevo enfoque integrando técnicas tradicionales en un marco común para la “evaluación de la madurez y riesgo tecnológico”, la ya mencionada *Technology Readiness and Risk Assessment* (TRRA). En este caso, además de otros parámetros de éxito de la ejecución habituales, de incluyen las siguientes figuras de éxito que son independientes de cualquier tecnología:

- TRL es la medida estándar del nivel de madurez de la tecnología, detallada ampliamente con anterioridad.
- (R&D<sup>3</sup>) es el grado de dificultad de la I+D+i (o R&D por sus siglas en inglés, “*Research & Development*”), mostrado en la Figura 9.
- TNV es el valor de necesidad tecnológica y que se define para entender (y comunicar) la importancia relativa de varias tecnologías para su aplicación futura, lo cual es esencial para una buena gestión de I+D+i. Su escala se recoge en la Figura 9.

Como continuación a la explicación anterior, la Figura 9 muestra esta nueva herramienta de gestión de una nueva tecnología: el concepto de R&D<sup>3</sup>. El R&D<sup>3</sup> establece la probabilidad esperada de éxito (o de fracaso) para un conjunto de objetivos tecnológicos dados dentro de los programas de I+D+i o en esfuerzos de demostración tecnológica posterior. A modo de ejemplo, un R&D<sup>3</sup> igual a 1 se traduce por un nivel muy bajo de dificultad, por lo que se prevé que se logrará conseguir los objetivos de I+D+i de esta innovación. En cambio, si este parámetro fuera igual a 5, el nivel de dificultad esperado es tan alto porque, por ejemplo, se requiere una propuesta disruptiva total en física o química fundamental.

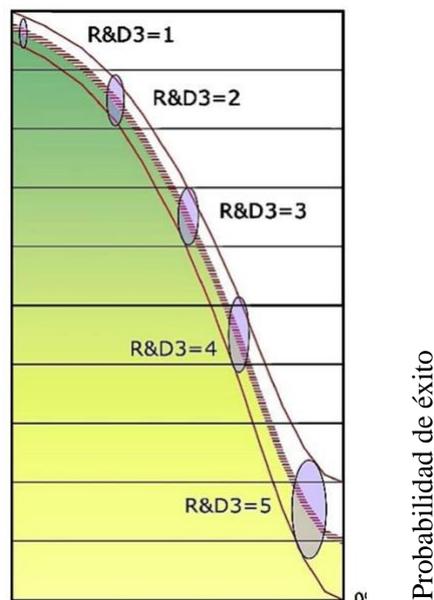


Figura 9. Escala del grado de dificultad de I+D+i (“R&D<sup>3</sup>”) medida en función de la probabilidad de éxito

En cuanto a la escala de TNV, se puede explicar de manera sencilla por medio de un factor de peso o ponderación al evaluar la importancia del desarrollo de una determinada tecnología, tanto en términos

de su aplicación última del sistema, como del potencial tecnológico de esta para aportar información relevante y en tiempo a las decisiones de gestión de los programas futuros. Oscila entre un valor mínimo del 40% (TNV=1) para desarrollos cuyo éxito no es crítico para el proyecto, hasta el 120% (TNV=5) para aquellos que son críticos e importantes para el éxito del proyecto.

Atendiendo a estos nuevos conceptos, (Mankins, 2009a) propone una nueva estructura para la matriz de riesgos estándar en la que los FOM anteriores se encuentren integrados y por tanto se evalúa también la probabilidad de fallo como las consecuencias de este. La Figura 10 representa en el eje y la probabilidad de éxito o de fallo (R&D<sup>3</sup>) y las consecuencias del éxito o del fallo en el eje x. Las consecuencias del éxito o del fallo (C<sub>F</sub>) se determinan por medio de la Ecuación 1:

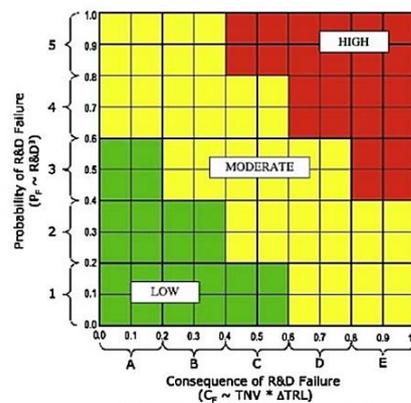
$$\Delta \text{TRL} \times \text{TNV} \quad \text{Ecuación 1}$$

siendo  $\Delta$ -TRL es la diferencia entre el TRL actual y el TRL deseado antes de comenzar con el desarrollo del sistema y TRN el factor de ponderación basado en cómo de importante es el esfuerzo tecnológico en al éxito del programa.

De este modo la Figura 10 muestra cómo una tecnología se puede asesorar por medio del proceso de evaluación TRRA donde los esfuerzos de I+D+i tecnológicos asociados a esta se evalúan por medio de una combinación única de  $\Delta$ -TRL, TNV y R&D<sup>3</sup>. De este modo, estos valores únicos se pueden representar en la matriz de riesgos y ver por tanto su localización específica en la misma.

PROBABILITY RATINGS (P <sub>F</sub> )		
LEVEL		LIKELIHOOD
Quantitative	Qualitative	
0.0-0.2	1	Remote
0.2-0.4	2	Unlikely
0.4-0.6	3	Likely
0.6-0.8	4	Highly Likely
0.8-1.0	5	Near Certainty

- For a specific R&D effort, the Technology Risk Matrix synthesizes prospective issues in the R&D...
- Probability Rating
  - How likely is it that a given R&D effort will succeed? How likely that it will Fail?
- Consequence Rating
  - What are the consequences is a given R&D effort does not succeed? What are the benefits if it succeeds?



CONSEQUENCE RATINGS (C <sub>F</sub> )		
LEVEL		IMPACT
Quantitative	Qualitative	
0.0-0.2	A	Minimal Impact
0.2-0.4	B	Some Impact
0.4-0.6	C	Moderate Impact
0.6-0.8	D	Major Impact
0.8-1.0	E	Unacceptable

Figura 10. Matriz de riesgos de un programa tecnológico genérico (Mankins, 2009a)

El siguiente paso sería entonces, extender esta nueva aproximación del proceso de TRRA dentro del marco de esfuerzo de I+D+i tecnológico, es decir, dentro de un programa de I+D+i. La Figura 11

muestra el esquema general de su aplicación donde la matriz de riesgos se emplea desde los estados más tempranos de la I+D+i (TRL3-4) para una tecnología dada y dicho análisis de riesgos se continúa actualizando a medida que se avanza en la escala de TRLs. De este modo se observa que a mayores TRLs, el riesgo es menor.

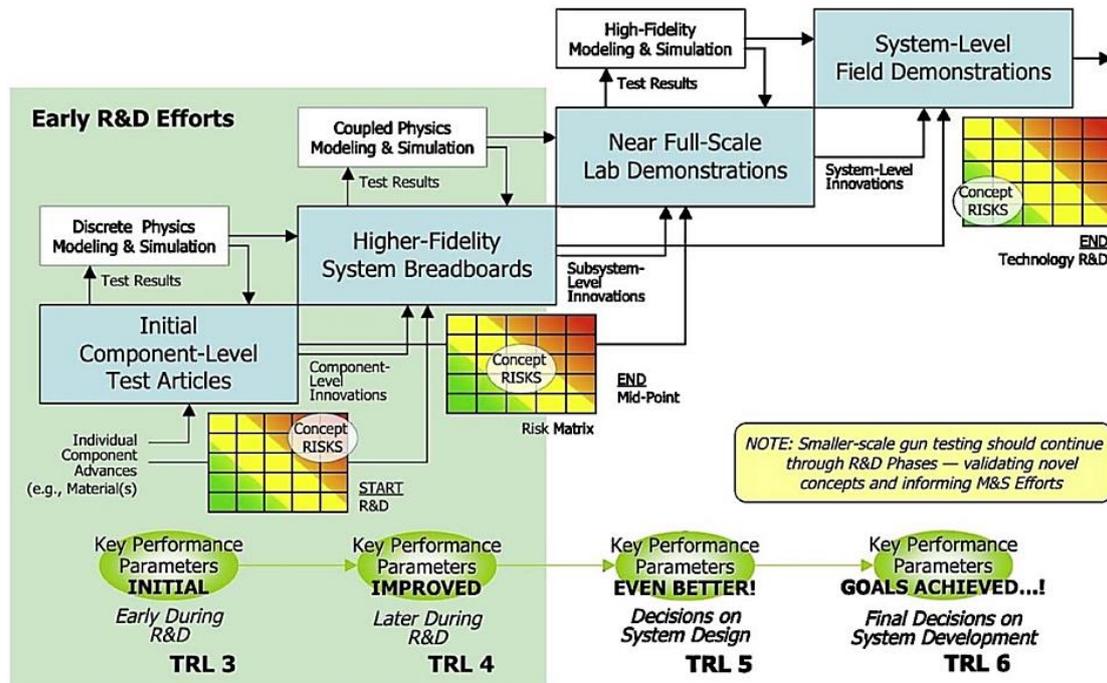


Figura 11. Esquema de un programa de I+D+i genérico aplicando el enfoque TRRA (Mankins, 2009a)

Esta aproximación integra evaluación de riesgos y madurez tecnológica en una herramienta orientada a la gestión de los riesgos a lo largo de la vida del proyecto. En ella, se enfatiza la importancia de ser capaz de determinar indicadores como el TRL de forma tan objetiva como sea posible como un requisito crítico para su correcto funcionamiento.

Asimismo, cabe destacar que el concepto de TRL no es un ente abstracto cuya aplicación se limita únicamente a programas o proyectos de I+D+i. Este concepto ha demostrado ser de tal utilidad que los autores (Brañas et al., 2024) han basado un análisis de la instalación IFMIF-DONES (sita en Granada, España) aplicando el concepto de TRL según la definición utilizada por la Comisión Europea en su programa de I+D (European Commission, 2014). De este modo, han evaluado la madurez del diseño de IFMIF-DONES y las actividades necesarias que deben llevarse a cabo para incrementarlo antes de lanzar la fase de licitación y poder construir sus sistemas y subsistemas.

Simplemente para comprender mejor la importancia de dicho trabajo, se debe saber que IFMIF-DONES por sus siglas del inglés *International Fusion Materials Irradiation Facility - DEMO Oriented Early Neutron source* (Bernardi et al., 2022) es una instalación de alta intensidad de irradiación de neutrones, para cualificar los materiales de los reactores de fusión que se están diseñando como parte de la Hoja de

Ruta europea para la generación de electricidad por medio de fusión. Por un lado, esta propia instalación pretende ser un centro de pruebas para elevar el TRL de los materiales destinados a formar parte del reactor nuclear del futuro, tal y como mencionan dichos autores (Bernardi et al., 2022) . Por otro lado, la instalación final de esta infraestructura llamada IFMIF-DONES se llevará a cabo cuando la tecnología asociada esté lista, es decir, cuando la tecnología esté madura y por tanto se puedan lanzar licitaciones asociadas a su construcción. Este es el análisis realizado por (Brañas et al., 2024) quienes se encargaron de determinar el TRL actual de los distintos elementos que lo conforman, así como el TRL objetivo que se debe alcanzar antes de poder lanzar la licitación asociada para su fabricación.

Además, los elementos que forman la instalación son los sistemas del acelerador, sistemas de litio, sistemas de las pruebas, sistemas de instrumentación central y control, así como los sistemas de la planta, el edificio y el sitio. La instalación se organiza según una estructura de descomposición de planta donde cada grupo de sistemas se subdivide en un número de subsistemas y componentes. Los mismos autores (Brañas et al., 2024) destacan que en las actividades de I+D+i, han sido los coordinadores técnicos de los diferentes grupos y subgrupos, quienes han aportado su juicio de expertos para llevar a cabo dicha clasificación.

## 3 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA DE TRABAJO

### 3.1 Objetivos

Tal y como se ha visto en el capítulo anterior, el uso de un indicador del estado de desarrollo de una tecnología es una herramienta de gran interés para las organizaciones, ya que permite, entre otros aspectos:

- Asignar los recursos, siempre limitados, a los proyectos y desarrollos que puedan tener una mejor alineación con los objetivos estratégicos.
- Acceder a los programas de financiación pública que encajan con el estado de desarrollo de la metodología.
- Evaluar diversos aspectos de la gestión de proyectos tecnológicos, como es el caso de la de los riesgos asociados a las actividades de I+D necesarias para lograr la madurez de dicha tecnología.

Sin embargo, a la hora de establecer cuál es el estado de avance de una tecnología, se advierte una carencia de metodologías que determinen de forma cuantitativa y objetiva el estado de madurez de una tecnología. El método más habitual es que ésta sea determinada por expertos en el campo, y adquirir esa experiencia y conocimiento en un ámbito determinado requiere un esfuerzo continuo de vigilancia tecnológica que es difícil de mantener.

El objetivo general de la línea de investigación que ha dado lugar a esta tesis es el desarrollo de una metodología de cálculo del TRL que se adapte a la realidad de las empresas de pequeño y mediano tamaño. Esta adaptación deberá tener en cuenta sus limitaciones en cuanto a disponibilidad de recursos humanos, financieros o su capacidad de reacción ante imprevistos, entre otras cuestiones.

De este modo, la metodología a desarrollar deberá cumplir una serie de requisitos, seleccionados para facilitar su adopción por PYMEs y los centros de desarrollo tecnológico, a saber:

- RQ1. Ser cuantitativa.
- RQ2. Estar basada en fuentes libres.
- RQ3. No deberá exigir el uso de aplicaciones propietarias.
- RQ4. No deberá ser dependiente de expertos.

RQ5.Ser intuitiva y fácil de usar.

RQ6.Ser semiautomática

Además de ello, la metodología deber ser una herramienta útil para acompañar la toma de decisiones estratégicas de dichas entidades y evaluar la criticidad de los proyectos tecnológicos tanto desde el punto de vista de la madurez de una tecnología como de los riesgos asociados a dicho estado de madurez.

## 3.2 Metodología

La investigación para la realización de esta tesis se ha desarrollado siguiendo los pasos detallados en la Figura 12: 1. Estudio del estado del arte, 2. Validación y revisión crítica de las metodologías actuales de cálculo de TRL, 3 Establecimiento de requisitos para la metodología propia a desarrollar, 4. Definición de módulos y reglas de cálculo de la metodología propia, 5. Validación de la metodología desarrollada.

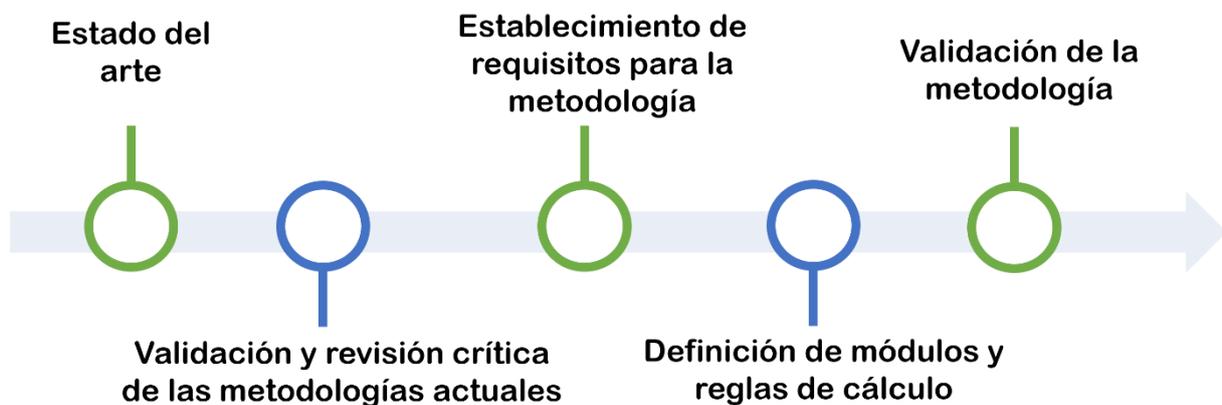


Figura 12. Procedimiento metodológico para desarrollar la investigación

En primer lugar, tras haberse detectado el interés de la determinación objetiva del TRL y de la dificultad de realizarlo para las pequeñas y medianas empresas, se profundiza en la detección de las herramientas, y en el estudio profundo de aquellas basadas en criterios objetivos y cuantificables. Se han estudiado con gran detalle todas las herramientas y metodologías encontradas.

De las herramientas encontradas tiene como máximo un caso de aplicación por lo que se plantean dos cuestiones: la primera es si son aplicables fuera del caso de estudio presentado y el segundo, si es posible aplicarlas en un entorno de recursos limitadas utilizando fuentes libres. realiza un análisis del estado del arte. Para poder conocer como de sencilla era su aplicación y para validar su acierto, se realizará una exhaustiva **validación y revisión crítica** de los dos métodos encontrados, enfrentándolas contra mediciones basadas en juicio de experto. Se han evaluado confrontándolas con los requisitos deseados para localizar las fortalezas y debilidades de cada una de estas metodologías. A partir de la revisión crítica de las limitaciones de las metodologías existentes y los requisitos impuestos por las pequeñas y

medianas entidades, se plantea establecer los **requisitos** que la metodología a desarrollar debe cumplir. Se utilizará como base aquellos elementos que se vean adecuado y se completaran o mejoraran para cumplir los objetivos previstos. La metodología propuesta será validada con un número suficiente de casos representativos, que se entiende como dos de cada una de las fases en la que se agrupan los TRLs. Se evaluará su robustez y fiabilidad, en función de los resultados obtenidos introduciendo las mejoras necesarias. La validación se considera suficiente para comprobar hasta qué punto la metodología propuesta es capaz de discriminar entre los distintos niveles y comprobar su nivel de acierto.

También se estudiará **el grado de aceptación de los usuarios** potenciales de la metodología evaluando el nivel de conocimiento del indicador TRL y el interés en el desarrollo de herramientas para su estimación.

## 4 REVISIÓN CRÍTICA DE LAS METODOLOGÍAS CUANTITATIVAS DE ESTIMACIÓN DE TRL

### 4.1 Estudio de metodologías de estimación TRL

La existencia de una metodología económicamente efectiva, semiautomática, no dependiente de expertos y neutral, que permita determinar el nivel de madurez de una tecnología, es un objetivo más que deseable para la gestión de proyectos en organizaciones de pequeño y mediano tamaño. La definición de nivel de madurez tecnológica o “*Technology Readiness Level*” (TRL) aplicado a un proyecto tecnológico, permitirá que las organizaciones puedan fácilmente estimar sus necesidades financieras, recursos y riesgos relacionados (Mankins, 2002).

Hay algunas aproximaciones acerca del cálculo de TRL, basados por completo o en parte, en un método de extracción de conocimiento experto, tales como:

- Guías para el procedimiento de madurez tecnológica. Estas guías se refieren de forma específica al sector de la energía nuclear (Office of Environmental Management DOE, 2010) e incluye una serie de plantillas con preguntas/indicadores que permiten establecer el nivel de madurez tecnológica basándose en el concepto de TRLs. Únicamente incluye reglas para determinar dicha madurez en el rango de TRL 1 a TRL6 mientras que el TRL7, 8 y 9 se quedan fuera de la evaluación. Además, este método está basado de manera exclusiva en las respuestas de los expertos a las preguntas de la plantilla o en información cualitativa.
- Análisis estratégico para investigación y tecnología. Relacionada con aplicaciones aeroespaciales, se ha desarrollado una metodología integrada llamada ITAM (Mankins, 2002) por sus siglas del inglés “*Integrated Technology Analysis Methodology*” o Metodología de análisis de la tecnología integrada. Se fundamenta en una serie de elementos y parámetros que cuantifican el estado de una determinada tecnología. Sin embargo, esta metodología sólo incluye un nuevo parámetro ya que carece de información sobre cómo establece el valor actual de TRL al aplicarla.
- Calculadora del nivel tecnológico. Esta calculadora da el valor de los TRLs en el sector aeroespacial, basándose en las definiciones de la NASA (Altunok & Cakmak, 2010). Esta

calculadora se basa en las respuestas de expertos y ahora está disponible para toda la escala de TRLs (TRL1-TRL9), aunque en versiones anteriores sólo era capaz de calcular hasta TRL6. En el mismo artículo se indica que esta calculadora es válida para el sector de defensa en Turquía. Otra herramienta similar fue desarrollada por AFRL por sus siglas del inglés “*Air Force Research Laboratory*” o Laboratorio de Investigación de las fuerzas aéreas y también está disponible, pero igualmente depende de las respuestas de los expertos (Defense Acquisition University (DAU), 2024). La Agencia Espacial Europea o ESA (por sus siglas en inglés “*European Space Agency*”) también tiene a disposición una calculadora que permite evaluar la madurez de una tecnología en el rango de TRL3 a TRL7 (European Space Agency, 2024).

Si la búsqueda se centra en metodologías completas y no dependientes de expertos, solamente se han encontrado dos metodologías bien desarrolladas y descritas en artículos científicos. La primera de ellas es SmET por sus siglas del inglés “*Scientific method for determining Emerging Technologies*” o Método científico para determinar tecnologías emergentes. SmET es una metodología patentada (US9177249B2) propuesta por Abercrombie (Abercrombie et al., 2015) y a la que nos referiremos en esta tesis como SmET. Dicha patente detalla un método para generar un modelo bibliométrico que siga la evolución de una tecnología identificada desde su descubrimiento original (por medio de literatura científica y de conferencias original), a través de descubrimientos críticos (por medio de literatura científica y de conferencias original, así como de patentes) y su transición a través de los distintos TRLs hasta llegar, en último lugar a su aplicación comercial. Durante el periodo asociado a la innovación y transferencia de conocimiento, reclama que las fuentes de mayor interés son los trabajos científicos, las patentes y las noticias on-line disponibles. A medida que las tendencias tecnológicas evolucionan, el número de citas, los indicadores de colaboración y los patrones de las noticias on-line son más relevantes. Con todo ello, el método propone una combinación de cuatro fuentes agrupadas (publicaciones científicas y citas, patentes mundiales, archivos de noticias y red de mapeos online) que, de forma integrada, se convierte en una red colectiva (base de datos para el análisis de las relaciones). De este modo, la red establecida se convierte en la base con la que analizar de forma rápida el flujo temporal de una actividad (por ejemplo, tecnología) en el dominio de aplicación relevante. La segunda es un método bibliométrico para evaluar la madurez tecnológica o “*Bibliometric Method for Assessing Technological Maturity*”, a la que nos referiremos como BIMATEM. Las características y forma de cálculo se detallan en sucesivos apartados, pero a modo de introducción, se pueden resumir las principales características de estas en la Tabla 6.

Tabla 6. Comparación de las metodologías de definición de TRLs (Fuente: elaboración propia)

Metodologías	Cuantitativa	Cualitativa	Principales características	Rango
SmET	✓	✗	Basada en indicadores numéricos y procedimientos en torno a datos de métricas científicas.	TRL1–TRL9
BIMATEM	✓	✗	Basada en indicadores y procedimientos numéricos.	TRL1–TRL9
Guías para el procedimiento de madurez tecnológica	✗	✓	Cuestionario basado en respuestas de expertos.	TRL1–TRL6
Análisis estratégico para investigación y tecnología	✗	✓	No hay datos sobre cómo establece el TRL actual, sólo menciona parámetros basados en diferencias de TRLs.	-
Calculadora del nivel tecnológico	✗	✓	Cuestionario basado en respuestas de expertos.	TRL1–TRL9

## 4.2 Scientific Method for Determining Emerging Technologies (SmET)

El “*Scientific method for determining Emerging Technologies*” o SmET (Abercrombie et al., 2015) es una metodología patentada que detalla un procedimiento más completo y no dependiente de expertos para determinar el año en el que se alcanza un determinado TRL. Este procedimiento se organiza en cuatro pasos detallados en la Figura 13:

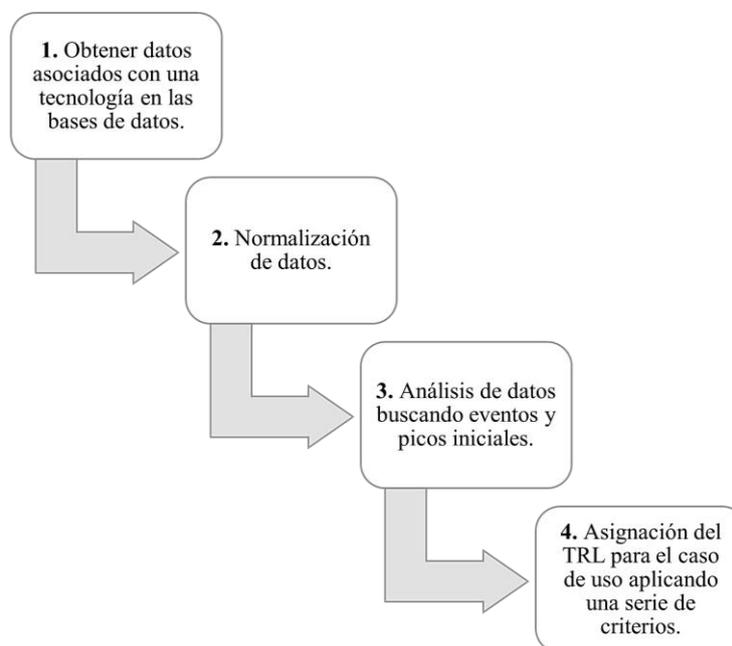


Figura 13. Procedimiento SmET (Fuente: elaboración propia)

Como las bases de datos y tipos de datos pueden ser muy diferentes, los datos obtenidos de ellas deben normalizarse. La normalización de cada conjunto de datos se realiza calculando un porcentaje (de 0 a 100), dividiendo cada uno de los datos anuales entre el valor máximo de todos ellos. Posteriormente,

sobre los conjuntos de datos que ya han sido normalizados, se calcula las líneas de tendencia polinómica. La metodología calcula un índice de correlación  $R^2$  (valor de 0 a 1) para cada base de datos que determinar la bondad del ajuste de la regresión.

Se utilizan cuatro bases de datos: Datos académicos (artículos y citas académicos), Datos de patentes (patentes), Datos de noticias en web (fuentes de noticias vía web) y Datos de Negocio/Comienzo de producto (surge ciertos productos específico en la aplicación/tecnología). Las fuentes de datos usadas para definir cada base de datos o conjunto de datos son las siguientes (tal y como se refieren en la patente):

- *ISI Web of Knowledge—Science Innovation Index* para Datos académicos.
- *Thomson Innovation—Derwent World Patents Index (DWPI)* para Datos de patentes.
- *Google News* para Datos de noticias en web.
- *Google Maps* para Datos de Negocio/Comienzo de producto.

Aunque las bases de datos de *ISI Web of Knowledge* y *Thomson Innovation* son referencias hechas aplicando la misma nomenclatura que las de la patente, las referencias actuales son, respectivamente, *Web of Science* (servicio proporcionado por *Clarivate Analytics* integrado dentro de *ISI Web of Knowledge*) y *Derwent Innovation* es la nueva denominación de la antigua *Thomson Innovation* (servicio también proporcionado por *Clarivate Analytics*).

Cada TRL se calcula por medio de la aplicación de la(s) base(s) de dato(s) correspondiente(s) según la relación entre TRL y bases de datos detallada en la Tabla 7.

Tabla 7. Procedimiento de US9177429 – relación de TRL con las bases de datos (Fuente: elaboración propia a partir de (Abercrombie et al., 2015))

	Datos académicos	Datos de patentes	Datos de noticias en web	Datos de Negocio / Comienzo de producto
<b>TRL1</b>	✓			
<b>TRL2</b>	✓			
<b>TRL3</b>	✓	✓	✓	
<b>TRL4</b>		✓		
<b>TRL5</b>		✓		
<b>TRL6</b>		✓		
<b>TRL7</b>		✓	✓	✓
<b>TRL8</b>				✓
<b>TRL9</b>				✓

SmET establece el año en el que una tecnología alcanza un determinado nivel de TRL. Los criterios que definen cuando se alcanza el nivel de TRLs son los siguientes:

- **TRL1:** si hay al menos un artículo científico relacionado con la tecnología (Datos académicos).
- **TRL2:** si se cumplen dos criterios. El primero es que el número de publicaciones sea relevante y el segundo es que los artículos académicos encontrados, sean citados al menos por un nuevo artículo científico (Datos académicos).
- **TRL3:** si hay un pico en las concesiones de patente de la tecnología, independientemente del titular de la misma y si hay un número relevante de menciones a la tecnología en las primeras noticias. Es decir, se determina por medio del resultado de tres bases de datos (datos1: Datos académicos, datos2: Datos de patentes y datos3; Datos de noticias en web). Se calcula la media aritmética de los tres resultados y su valor (una fecha) es cuando se consigue el TRL3. Los datos 1 se usan para determinar el TR2. Los datos 2 establecen cuándo las patentes concedidas logran una cresta sin tener en cuenta el nombre del titular. Los datos 3 resuelven cuándo las primeras noticias relacionadas con la tecnología comienzan a tener amplia difusión.
- **TRL4:** cuando se concede una patente sobre dicha tecnología en cualquier país (Datos de patentes).
- **TRL5 y/o TRL6:** cuando se hace el mayor número de concesiones de patentes (Datos de patentes).
- **TRL7:** se determina según los resultados de tres bases de datos (datos1. Datos de patentes, datos2. Datos de noticias en la web y datos3. Datos de Negocio/Comienzo de producto). Se calcula la media aritmética de los tres resultados y su valor (una fecha) es cuando se consigue el TRL7. Los datos 1 determinan cuándo se alcanza una cresta de concesiones de patente por tecnología y titular de la patente. Los datos 2 calculan cuándo sucede el primer anuncio de un producto. Los datos 3 determinan cuando se produce el primer anuncio al respecto de Negocios/Productos asociados a esta tecnología.
- **TRL8:** si hay un anuncio de una oferta de producto o un lanzamiento de producto (Datos de Negocio/Comienzo de producto).
- **TRL9:** si hay muchas ofertas de producto (Datos de Negocio/Comienzo de producto).

Estos criterios se supone que son aplicados a las bases de datos normalizadas. Sin embargo, no se indica cómo se aplican las bases de datos normalizadas o cómo la regresión lineal ajustada se emplea en la asignación del TRL. El cálculo de  $R^2$  relacionado con el ajuste, parece ser opcional y su valor no afecta a la aplicación de la regresión lineal, sea o no sea alto.

### 4.3 Bibliometric Method for Assessing Technological Maturity (BIMATEM)

En (Lezama-Nicolás et al., 2018), se propone un método bibliométrico para evaluar la madurez tecnológica, también llamado BIMATEM por sus siglas del inglés *Bibliometric Method for Assessing Technological Maturity* para determinar cuantitativamente un rango de TRL para una tecnología dada, ahora e incluso en el pasado. Esta metodología se basa por completo en fuentes bibliográficas y se estructura en los siguientes cuatro pasos:

1. **Selección tecnológica:** esta comienza con una selección terminológica que debe ser lo más clara y concisa posible. Esto requiere prestar especial atención a la selección de términos y realizar una revisión extensa de la literatura (e incluso una validación por parte de expertos). En segundo lugar, la selección de datos es importante dependiendo del Ciclo de Vida Tecnológico, también conocido por sus siglas TLC del inglés *Technology Life Cycle*, o estado de madurez (emergente, maduro). Se ha incluido una lista de bases de datos adecuada en el artículo (especialmente aquellas relacionadas con ramas científicas como la medicina y la biología).
2. **Consulta de búsqueda:** se refiere al diseño de la consulta de búsqueda detallando las condiciones que deben cumplir los campos de búsqueda de *Título*. Si se requiriera, se pueden ejecutar búsquedas adicionales con los campos de *keyword* o palabras clave o bien con *Abstract* o resumen. Por último, se realiza una revisión de las guías de las bases de datos y la sintaxis, por medio del ajuste de la consulta de búsqueda en la base de datos seleccionada.
3. **Entrega de resultados:** este paso se centra en descargar los resultados devueltos tras la búsqueda, prestando especial atención a resultados tales como los periodos de tiempo y la relevancia de estos. Los periodos de tiempo dados deben ser fidedignos, y en términos generales, se representarán en años. Además, es esencial garantizar resultados coherentes y evitar duplicidades. Los autores detallan su estrategia considerando cada base de datos aplicada: Patseer™, base de datos comercial para la búsqueda de patentes; Factiva™, base de datos comercial para noticias, etc.
4. **Evaluación de la madurez tecnológica:** este paso se centra en la interpretación de los resultados por medio de la aplicación de un modelo matemático para asignar un TRL. Esto incluye los siguientes pasos: la construcción de una tabla de madurez tecnológica, la verificación de que se cumplen las condiciones iniciales y, por último, la aplicación de una regresión lineal en cada base de datos. Los datos se agrupan por periodo, por ejemplo, un año. Los autores de BIMATEM usaron en su validación el software estadístico *Minitab 18™*. Si el desarrollo tecnológico se encuentra entre un TRL entre 1 y 7, se usan como fuentes de datos artículos científicos y patentes y se aplica un crecimiento logístico para hacer el ajuste de la curva. Se requieren datos de cuatro periodos, que no tengan valor cero, para poder usar una aproximación logística de crecimiento.

Si el TRL se encuentra entre 7 y 9, se añaden las noticias como fuentes de datos. En este caso, se usa una curva de evolución tipo *Hype-Type* para hacer una regresión no líneas para cada base de datos. Para ello se necesita disponer de ocho periodos temporales no nulos. Si no se cumple el número de periodos, conforme al flujo de trabajo de BIMATEM no se debería considerar la fuente de noticias.

Así la regresión logística (Ecuación 2) se aplica a los datos de las bases de datos de investigación, investigación aplicada y desarrollo (artículos científicos y patentes), mientras que la regresión “de cresta” (Ecuación 3) se aplica a los datos de las bases de datos de noticias.

El comportamiento de crecimiento logístico se representa matemáticamente como:

$$r(t) = \frac{k}{1+ae^{-b(t-t_0)}} \quad \text{Ecuación 2}$$

donde k es el límite superior del crecimiento de r(t). El estado inicial de difusión se presenta por medio de a y b es la velocidad de difusión.

El comportamiento “de cresta” fue modelado por los autores de la referencia (Campani & Vaglio, 2015) como una superposición de las funciones Q(t) y S(t') donde

$$H(t) = Q(t) + S(t') \quad \text{Ecuación 3}$$

Y Q(t) es la derivada de la función logística (Ecuación 2).

$$Q(t) = \frac{dR(t)}{dt} = \frac{abke^{b(t-t_0)}}{[a+e^{b(t-t_0)}]^2} \quad \text{Ecuación 4}$$

Además, S(t') es una función de crecimiento logístico modificada y muestra la pendiente de crecimiento de la curva y la meseta de productividad:

$$S(t') = jR(t') = \frac{jk}{1+ae^{-b(t-t_0)}} \quad \text{Ecuación 5}$$

donde j es la constante de proporcionalidad y t' = t - t\*. t\* es la transformada del retraso para alcanzar la llamada meseta de productividad.

Se genera una función continua que se ajusta a los puntos obtenidos, por medio del algoritmo/método de Levenberg–Marquardt a una regresión no lineal. Este tipo de regresión se ajusta bien para los crecimientos logarítmicos típicos de innovación. Se usarán los datos estandarizados en la escala de 1, estableciendo un valor inicial de k de 1 mientras que el resto de los parámetros se inician en 0.5 (error estándar de la regresión) contra el límite de aceptación del valor de S (ATS por sus siglas en inglés “*Acceptance Threshold for S value*”), tal y como se muestra en la Figura 14.

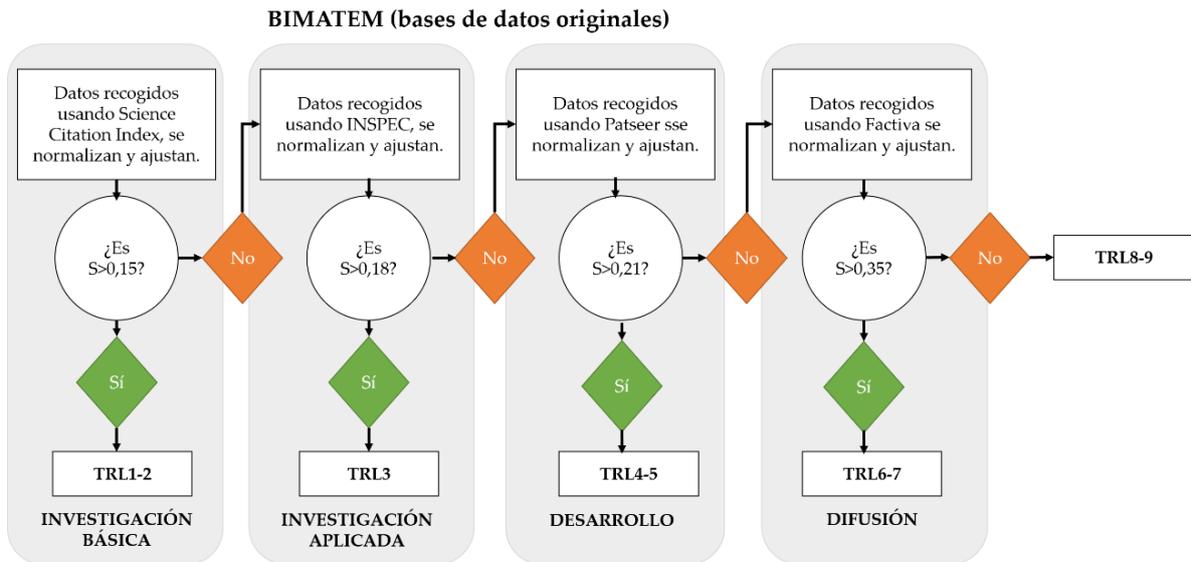


Figura 14. Criterios de TRL de BIMATEM (Fuente: elaboración propia basado en (Lezama-Nicolás et al., 2018))

Tal y como los autores explican, el error estándar de la regresión ( $S$ ) se usa para estimar la bondad del ajuste. No se usa el coeficiente de determinación ( $R^2$ , usado más habitualmente) porque las investigaciones muestran que  $R^2$  no es válido para modelos de regresión no lineal (Spiess & Neumeyer, 2010). Se asignará el TRL en función del valor obtenido tal y como se muestra en Figura 15. Además, se usarán las distintas bases de datos en función del valor de  $S$  obtenido tras el ajuste de los datos.

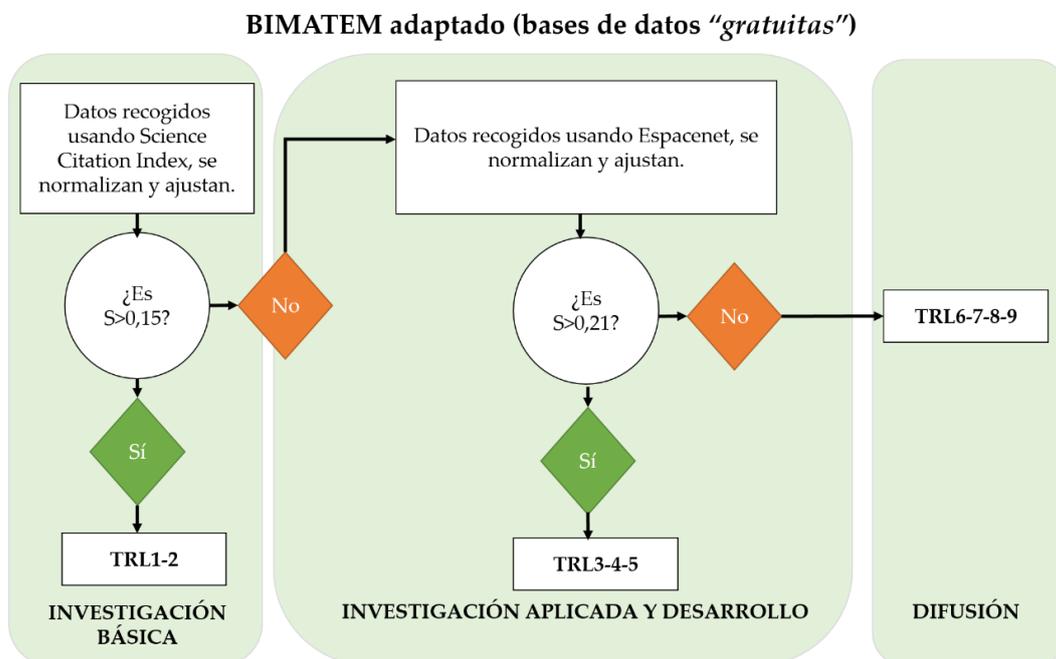


Figura 15. Asignación de TRL según BIMATEM (Fuente: elaboración propia basado en (Lezama-Nicolás et al., 2018))

Así, SmET y BIMATEM proponen metodologías cuantitativas para calcular el TRL de una tecnología dada. Ambas aproximaciones se analizarán en detalle de cara a comprobar su idoneidad para pequeñas

y medianas organizaciones, realizando pruebas de validación de ambos métodos, cuyos resultados se describen en el siguiente capítulo.

## 5 ANÁLISIS CRÍTICO DE LAS METODOLOGÍAS CUANTITATIVAS DE ESTIMACIÓN DE TRL

### 5.1 Materiales y métodos

Se han encontrados dos metodologías cuantitativas para la determinación del TRL. Ambas metodologías se basan en procedimiento cuantitativos “no expertos” que determinan el año en el que se alcanza un TRL para una tecnología dada o aplicación tecnológica (SmET) o para asignar el TRL de una tecnología dada en un momento presente o pasado (BIMATEM). En ambos casos, se presenta con un caso de validación específico y sin limitación en cuanto a las fuentes de información y herramientas utilizadas. Si se quieren utilizar por parte de organizaciones de pequeño o mediano tamaño en las que hay limitaciones de acceso a recursos, es necesario comprobar su adecuación y realizar un análisis crítico que señale los puntos de mejora. Para ello se realizará una validación extensa sobre un conjunto de casos que permita evaluar de forma rigurosa la validez y sencillez de aplicación de ambas metodologías.

Como punto de partida se establece las siguientes hipótesis, cuyo cumplimiento por las metodologías se pretende determinar, a saber:

- **Hipótesis 1. Capacidad para clasificar el TRL para una tecnología dada:** la metodología puede clasificar la tecnología según el concepto de TRL de forma acertada.
- **Hipótesis 2. Asignación inequívoca del TRL:** la metodología proporciona un TRL claro para una tecnología dada en un campo específico en un momento concreto.
- **Hipótesis 3. Uso de fuentes de datos gratuitas para la búsqueda:** la metodología se basa en el uso de fuentes de datos gratuitas para crear sus bases de datos.
- **Hipótesis 4. Aplicabilidad en un amplio rango de aplicaciones relacionadas con tecnologías industriales:** la metodología es válida para aplicaciones relacionadas con tecnologías industriales (por ejemplo, KETs – *Key Enabling Technologies* por sus siglas en inglés).
- **Hipótesis 5. El procedimiento es cuantitativo y no dependiente de la experiencia de expertos:** No hay necesidad de ser un experto para usar la metodología.

- **Hipótesis 6. Aplicable con fuentes de datos abiertas:** la metodología permite el cálculo de un TRL usando fuentes de datos abiertas incluso si las fuentes de datos originales no son de acceso abierto.

## 5.2 Estructura de la validación

Para validar los métodos es necesario tener tecnologías de las que se conozca el TRL y que sirvan como elemento de prueba. Centrándose en el sector industrial, la fabricación aditiva (o “*additive manufacturing*”, AM por sus siglas en inglés) es un ámbito tecnológico que ha demostrado ser una opción muy adecuada en la que aparecen tecnologías en varios estados tecnológicos de madurez.

La fabricación aditiva usa el diseño asistido por ordenador para construir objetos capa a capa (ASTM, 2017). Dentro de este campo, a nivel europeo destaca la *AMR Sub-Platform*, una iniciativa de los grupos de la Plataforma Tecnológica MANUFUTURE, que es el actor clave de fabricación aditiva en Europa (Manufacture-EU, 2024). En 2014 se la Agenda Estratégica de la *AM Platform* (Manufacture-EU, 2024), publicó un informe detallando el rango de TRL para diversas tecnologías de fabricación aditiva: la AM en plástico es, en general, en una escala de TRLs mayores con propiedades “no buenas” (TRL7-TRL9), mientras que la AM en metal (TRL3-7) o la MA en otros materiales, como cerámicos, está en menores niveles de TRL (TRL1-3). Usando este documento como referencia, se proponen las siguientes pruebas de validación:

- Test 1.1. Para estimar el año en el que se logra TRL1, TRL2 y TRL3 para AM en materiales cerámicos.
- Test 1.2. Para determinar el año en el que se logra TRL3, TRL4, TRL5, TRL6 y TRL7 para AM en metales.
- Test 1.3. Para estimar el año en el que se alcanzan TRL7, TRL8 y TRL9 para AM en plásticos con propiedades “no buenas”.

El Test 1.3 ya supone una detección temprana de posibles mejoras, ya que no puede realizarse la validación de ambas metodologías ya que ninguna es capaz de calcular TRLs tan altos cumpliendo las sin utilizar fuentes propietarias de las que no se pudo conseguir el acceso. Esto supone de facto incumplir la hipótesis H3 y H6. En particular, la metodología SmET aplica el módulo de “*Business/Product Starts*” para su cálculo y este solo es adecuado para determinar los TRLs en el presente, no en el pasado, tal y como es el caso, que trata de 2014. En el caso de BIMATEM, esta metodología usa Factiva™ para evaluar el TRL7 y superiores. En este caso, no se tiene acceso a Factiva™ ni a bases de datos similares (en acceso abierto o gratuito) por lo que el TRL final no puede evaluarse.

El proyecto financiado por la Comisión Europea llamado *AM-Motion* (una *CSA – Coordination and Support Action*) trata de reforzar el ecosistema de AM europeo. Uno de sus objetivos fue mapear el en

entorno de AM e incluir una evaluación de TRL de algunas aplicaciones nuevas de AM en 2016 cuando el proyecto comenzó (AM-Motion, 2016) tales como “*Organ Bioprinting*” o biopresión de órganos (TRL1-3), producción de mayores estructuras de avión (TRL3-4) o asegurar la consistencia y calidad de la producción en polvo (TRL6). Basándose en la evolución de los TRLs, se propusieron un nuevo grupo de tests incluyendo las siguientes:

- Test 2.1. Para estimar el año en el que se logra TRL1, TRL2 y TRL3 para “bio-impresión de órganos”.
- Test 2.2. Para determinar el año en el que se logra TRL3 y TRL4 para la producción de mayores estructuras de avión a través de la tecnología de AM.
- Test 2.3. Para determinar el año en el que se logra el TRL6 para asegurar la consistencia y calidad de la producción en polvo por medio de la tecnología de AM.

Ambas metodologías (SmET y BIMATEM) se aplicarán para calcular cada uno de los tests propuestos y compararlos con el resultado esperado, tal y como se muestra en la Tabla 8. La fabricación aditiva o AM es una de las KETs definidas por la Comisión Europea y una buena referencia para validar la capacidad de ambas metodologías de obtener el TRL y determinar las limitaciones de dicho procedimiento, así como maneras de mejorarlo.

Tabla 8. Resultados de TRL de los tests (resultados esperados) - datos de entrada

Conjuntos de datos o datasets	Test	TRL
Dataset 1	Test 1.1	TRL1–3 en 2014
	Test 1.2	TRL3–7 en 2014
	Test 1.3 *	TRL7–9 en 2014
Dataset 2	Test 2.1	TRL1–3 en 2016.
	Test 2.2	TRL3–4 en 2016.
	Test 2.3	TRL6 en 2016.

\* Ver la explicación anterior.

El conjunto de tests propuestos permite abarcar la totalidad de la escala de TRL, lo que le hace suficientemente representativo para poder realizar una validación y análisis mucho más detallado. Además, se corresponde con tecnologías diferentes a las utilizadas por los autores de las metodologías.

### 5.3 Fuentes de datos

SmET usa cuatro bases de datos obtenidos de las fuentes de datos correspondientes: *ISI Web of Knowledge* para la base de datos Académica/*Scholarly*, Espacenet para la base de datos de Patentes/*Patents*, Google News para la base de datos de *Web News/Noticias de la Web* y *Google maps* para *Business o Product starts/Comienzo de Producto o Negocio*. La metodología aplica algunas bases de datos de pago tales como *ISI Web of Knowledge* para la parte Académica o *Thomson Innovation*—

*Derwent World Patents Index (DWPI)* para la parte de patentes. De cara a comprobar la hipótesis H6, la autora ha empleado la base de datos *ISI Web of Knowledge database* para la información académica mientras que el resto de las fuentes son gratuitas o de acceso abierto. Así, utiliza Espacenet para patentes, así como *Google News* y *Google Maps* como la metodología original. Como, *Google News* no estaba disponible en España en el momento de realizar estos trabajos por temas de propiedad intelectual, se aplicó el buscador de Google y posteriormente se realizó un filtro usando “Noticias”.

BIMATEM aplica hasta cuatro bases de datos de pago (*Science Citation Index*, INSPECTM, PatseerTM o FactivaTM) para recoger los datos, así como un software de pago estadístico (Minitab18TM) para realizar el ajuste de las regresiones no lineales. Para comprobar el cumplimiento de las hipótesis planteadas, la metodología únicamente aplicará una fuente de pago (*Science Citation Index*) mientras que PatseerTM se reemplazará por Espacenet (European Patent Office, 2024). Se ha realizado una adaptación de la metodología BIMATEM al uso de fuentes libres similares (Figura 15). En primer lugar, se calcula la investigación básica con la misma base de datos en ambos casos (*Science Citation Index*) así que el procedimiento es similar. En segundo lugar, la metodología “tradicional” de BIMATEM (Figura 14) aplica una base de datos de pago adicional llamada INSPECT (artículos) y Patseer (patentes) para diferenciar entre investigación aplicada y desarrollo, respectivamente. Sin embargo, la propuesta de mejora en BIMATEM (Figura 14) no permite distinguir entre ciencia aplicada y desarrollo debido a las limitaciones de las fuentes *gratuitas* disponibles (Espacenet). Como no se puede diferenciar entre ciencia aplicada y desarrollo, BIMATEM se modifica para incluir solo tres estados. Así la Figura 15 muestra cómo el enfoque propuesto puede indicar exclusivamente si el TRL está dentro de investigación aplicada y desarrollo, o más allá.

## 5.4 Validaciones realizadas

En esta sección, se aplicarán las metodologías SmET y BIMATEM a los casos de tests propuestos para validar el cumplimiento de las hipótesis definidas. SmET se usa para determinar el año en el que un TRL dado se alcanza en los casos de uso seleccionados, mientras que BIMATEM proporciona el TRL (rango de TRLs), para una tecnología dada tanto en un momento presente como pasado.

### 5.4.1 Test 1.1 AM en Materiales Cerámicos

De acuerdo con la referencia sobre Fabricación aditiva de la *AM Platform*, la fabricación aditiva en materiales cerámicos debería estar en un TRL entre 1 y 3 en el año 2014. Se procede, conforme a las metodologías cuantitativas detectadas a realizar la búsqueda en las fuentes de datos, a realizar los cálculos y a aplicar los criterios.

Las palabras clave “*3D printing*”, “*Additive manufacturing*” y “*ceramics*” fueron las elegidas para el caso relacionado con “*AM on ceramics*” o AM en cerámica. Nótese que se muestran las palabras claves

utilizadas originalmente en inglés, para facilitar la reproducibilidad de las pruebas. Las búsquedas de todas las fuentes se presentan en la Tabla 9. (Se han restringido al 2014 ya que es el año en el que se establecen las referencias de TRL encontradas).

Tabla 9. Test 1.1. Búsqueda usada en las fuentes de datos

Test ID	Búsqueda Booleana	Fuente
1.1 SmET	"3D printing OR Additive manufacturing AND ceramics" REFINEMENT TI = (3D printing AND ceramics) OR TI = (Additive manufacturing AND CERAMICS)	Science Citation Index
	(ta all "3D print* AND ceramics" OR ta all "additive manuf* AND ceramics") AND pd ≤ "2014"	Espacenet
	3d printing OR additive manufacturing AND ceramics	Google search. Filter by News
1.1 BIMATEM	TI = (3D print* AND ceramics) OR TI = (Additive manufact* AND CERAMICS)	Science Citation Index
	(ta all "3D print* AND ceramics" OR ta all "additive manuf* AND ceramics") AND pd ≤ "2014"	Espacenet

\* es parte de la sintaxis de búsqueda e indica que las palabras de búsqueda incluyen modificaciones de la palabra. Por ejemplo, "manuf\*" buscará "manufacture", "manufacturing", etc.

Los resultados devueltos por *Science Citation Index* se recogieron y normalizaron según cada una de las metodologías (Tabla 10).

Tabla 10. Resultados devueltos para fabricación aditiva en cerámica desde *Science Citation Index*<sup>TM</sup> (WoS) – resultados normalizados según las metodologías de BIMATEM y SmET

Año	Periodo	Registros	BIMATEM	SmET
			Registros normalizados	Registros normalizados (%)
1997	0	1	0.02631579	10.00%
2005	8	3	0.07894737	30.00%
2006	9	1	0.02631579	10.00%
2008	10	3	0.07894737	30.00%
2009	11	3	0.07894737	30.00%
2010	12	1	0.02631579	10.00%
2011	13	2	0.05263158	20.00%
2012	14	7	0.18421053	70.00%
2013	15	7	0.18421053	70.00%
2014	16	10	0.26315789	100.00%

### Aplicación de SmET

En SmET, los datos se ajustan a regresiones polinómicas. La ecuación y su coeficiente de regresión R<sup>2</sup>, así como los datos resultantes, se muestra en la Figura 16 ( $y = -5 \times 10^{-5}x^6 + 0.643x^5 - 3226.9x^4 + 9 \times 10^6x^3 - 1 \times 10^{10}x^2 + 1 \times 10^{13}x - 3 \times 10^{15}$  y  $R^2 = 0.8976$ , respectivamente). Los autores mencionaron que dicha regresión no es obligatoria para determinar el TRL en SmET. Es más, el valor de R<sup>2</sup> no se define como crítico a la hora de decidir si la regresión se puede o no se puede aplicar. Debido a la falta de detalles sobre el procedimiento, no se puede realizar una aplicación adicional de los datos normalizados.

## AM en cerámica – Publicaciones (SmET)

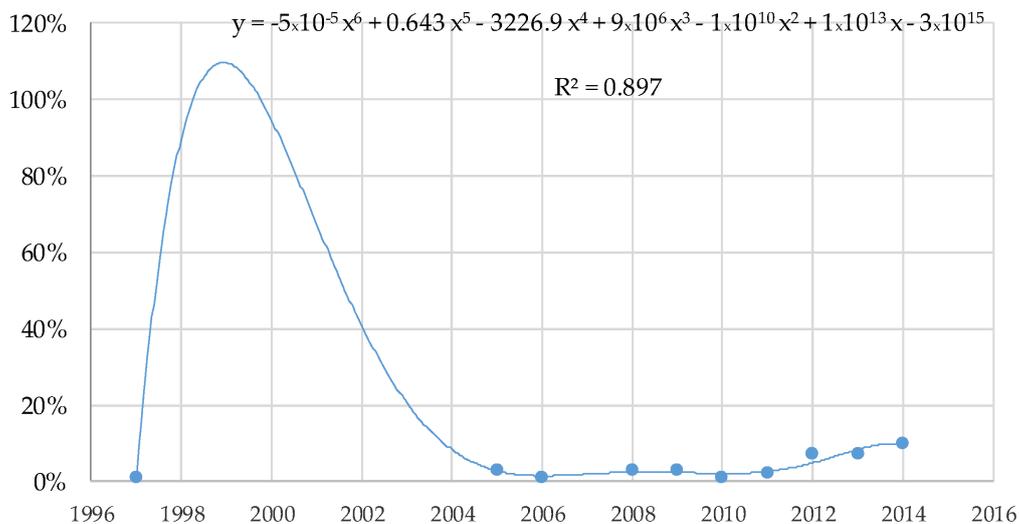


Figura 16. Resultados normalizados – AM en cerámica – SmET (elaboración propia)

La asignación de TRL según la metodología SmET, es como sigue:

- **Búsqueda de TRL1:** el primer resultado es la referencia (Sarton & Zeedijk, 1997) y, por tanto, se logra el TRL1.
- **Búsqueda de TRL2:** el año en el que el número de artículos se convierte en prominente, según la descripción del procedimiento SmET, puede entenderse como el 2012 o más. Tras comprobar el contenido de los artículos en 2012, es en este año cuando se publicó un número prominente (más de 5, 10...) de artículos sobre tecnología. Entonces, se comprobó si se cumple el segundo criterio, lo cual significa que al menos un artículo (Wu et al., 2012) es citado por otros artículos y autores en ese año. Así pues, el TRL2 se logra en 2012. Los resultados de WoS se muestran en la Tabla 10.
- **Búsqueda de TRL3:** el TRL3 ya se ha definido como 2012, de acuerdo con la explicación previa. Posteriormente, basándose en Espacenet, se realiza una búsqueda de patentes relacionada con la temática basando dicha consulta de búsqueda en la sintaxis indicada en la Tabla 9. Tras una fase de limpieza, los resultados resultantes no están relacionados con esta temática. Así pues, el TRL se calcula como la media de tres años, y el segundo, asociado con las patentes, no puede calcularse y por tanto el TRL3 no puede determinarse.

### Aplicación de BIMATEM

Los datos devueltos sobre “Fabricación aditiva en cerámica” se muestran en la Tabla 10, donde dichos resultados también se encuentran normalizados. Tras este cálculo (resultados detallados en la Tabla 11), S es 0.09. A causa del valor de S, se realiza la búsqueda en la base de datos de patentes (Espacenet). En este caso, se aplica la sintaxis de búsqueda anterior. Según BIMATEM, no se aconseja el uso del IPC

(*International Patent Code*) en tecnologías emergentes, tal y como es el caso de AM en cerámica, ya que el código IPC para AM (*Additive Manufacturing* o Fabricación aditiva) se creó en 2015 y considerarlo, podría excluir patentes relacionadas con la tecnología que sean anteriores a dicho año. En este caso, esto es especialmente importante al tener como año objetivo el 2014. La base de datos (Espacenet) devuelve 199 patentes, pero tras una fase de limpieza, no hay patentes asociadas con este tema.

Tabla 11. Ajuste de crecimiento logístico para los resultados normalizados de fabricación aditiva en cerámica desde Science Citation Index™ (WoS) – de acuerdo con la metodología BIMATEM

BIMATEM–R Resumen del ajuste de crecimiento logístico para los registros de AM en cerámica desde Science Citation Index™ Método: Algoritmo de mínimos cuadrados no lineal de Levenberg–Marquardt Iteraciones máximas: 50
Ecuación: AM cerámica registros para SCI = $1/(1+6.70539 \times \text{EXP}(-0.11148 \times \text{'Año-Año\_Inicial'})$
Resumen: Iteraciones: 13 DFE (degrees of freedom for error – grados de Libertad para el error): 8 S: 0.0858

### Criterios de BIMATEM

Para comprobar la precisión de la búsqueda, la consulta de búsqueda se realiza aplicando la misma sintaxis, escogiendo el IPC BY33 (IPC por las siglas en inglés de *International Patent Code*) y dejando que la búsqueda se extienda hasta la fecha presente. Esto devuelve 12 patentes relacionadas con AM en cerámica publicadas entre 2015 y 2020 – fuera del periodo objetivo que finaliza en el 2014. A causa de la ausencia de información sobre patentes dentro del marco temporal objeto de estudio, no hay datos que se ajusten a una curva logarítmica y, por tanto, S no podría calcularse. Basándose en los resultados anteriores de S, AM en cerámica se encuentra en un TRL comprendido entre RL1 a TRL3 en el año 2014, según BIMATEM.

#### 5.4.2 Test 1.2. AM en Metales

De acuerdo con la referencia sobre Fabricación aditiva de la *AM Platform*, la fabricación aditiva en metal debería estar en un TRL entre 3 y 7 en el año 2014. Se procede, conforme a las metodologías cuantitativas detectadas a realizar la búsqueda en las fuentes de datos, a realizar los cálculos y a aplicar los criterios.

Esta búsqueda se realiza basándose en las fuentes de datos detalladas en la sección anterior. En este caso, las palabras clave de aplicación en esta búsqueda son “*Additive manufacturing*”, “*3D printing*” y “*metal*”. Las búsquedas usadas se pueden ver en la Tabla 12.

Tabla 12. Test 1.2. Búsqueda usada en las fuentes

Test ID	Búsqueda Booleana	Fuentes
1.2 SmET	<i>TI = (3D printing AND metal) OR TI = (Additive manufacturing AND metal)</i>	<i>Science Citation Index</i>
	<i>(ta all "3D print * AND metal" OR ta = ("Additive manufact *" prox/distance &lt; 3 "metal")) AND pd ≤ "2014"</i>	<i>Espacenet</i>
	<i>"3d printing OR additive manufacturing AND metal"</i>	<i>Google search. Filter by news</i>
1.2 BIMATEM	<i>"3d printing OR additive manufacturing AND metal AND product business"</i>	<i>Google maps</i>
	<i>TI = (3D printing AND metal) OR TI = (Additive manufactur * AND metal)</i>	<i>Science Citation Index</i>
	<i>(ta all "3D print * AND metal" OR ta all "additive manuf * AND metal") AND pd ≤ "2014"</i>	<i>Espacenet</i>

Los resultados de *Science Citation Index* se recogieron y normalizaron para cada metodología según el detalle mostrado en la Tabla 10.

### Aplicación de SmET

Tal y como sucedió en el caso anterior, los datos se ajustan a una regresión polinómica, y la fórmula es  $y = 3 \times 10^{-6}x^6 - 0.0388x^5 + 194.26x^4 - 519281x^3 + 8 \times 10^8x^2 - 6 \times 10^{11}x + 2 \times 10^{14}$ , así como  $R^2 = 0.9863$ .

### Criterios de SmET

La asignación de TRL según la metodología SmET, se establece en función del año en el que se ha alcanzado cada nivel. Dicha asignación se realiza conforme a lo indicado a continuación:

- **Búsqueda de TRL3:** Basándose en los resultados normalizados (Figura 17), el año en el que el TRL3 se alcanzó parece ser 2014. En segundo lugar, se estima el año en el que surge el pico de patentes concedidas relacionadas con la temática. Los resultados alcanzados se analizaron para encontrar patentes concedidas dentro de las solicitudes de patente, y entonces el año en el que se alcanza es el 2014. La búsqueda del dataset de Noticias Web mostraba 1999, 2000, 2001 y 2002 con una noticia al año; 2003, 2004, 2005 y 2006 no muestran realmente ninguna noticia relacionada. En 2007 sólo hay una noticia o publicación asociada (Kühner et al., 2007). En 2008 había cuatro, siendo algunas de ellas (Kahn, 2008) (Morton, 2008) (Jackson, 2008). En 2009, había más de siete siendo algunos de ellas (Fraunhofer-Gesellschaft, 2009b) (Saenz, 2009) (B. Wang, 2009) (Jamais, 2009) (Fraunhofer-Gesellschaft, 2009a) y por tanto, puede considerarse 2009 para el TRL3 para el cálculo.

## AM en metales – Publicaciones (SmET)

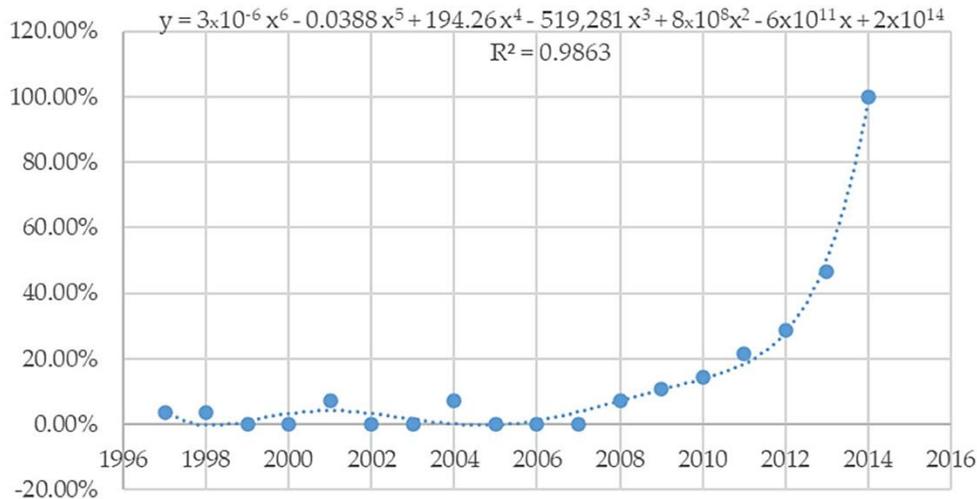


Figura 17. Resultados normalizados – AM en metales – SmET

Puesto que todos los valores tienen el mismo peso, TRL es  $(2014 + 2014 + 2009)/3 = 2012$ . En este caso, la descripción “prevalente” no ayuda a normalizar la definición de TRL.

- **Búsqueda de TRL4:** Basándose en el dataset de patentes, se calcularía como el año en el que hay una patente concedida asociada (dataset de Patentes). En este caso, Espacenet sólo proporciona el número total de solicitudes de patentes presentadas y no hay un método automático de recoger esta información. Tras investigar y atendiendo a los resultados devueltos por Espacenet ya limitada información existente sobre algunas de las patentes, el año sería 2005. Esta es una **incoherencia** en la aplicación de la metodología SmET ya que no asegura que el TRL3 se alcanza antes del TRL4.
- **Búsqueda de TRL5 y TRL6:** Se corresponde el año en el que se concede el mayor número de patentes. Basándose en las búsquedas previas, este sería 2014 y por tanto, el TRL5-6 se alcanza en 2014.
- **Búsqueda de TRL7:** se calcula basándose en tres datasets: patentes, noticias y negocios/productos. El primer cálculo se relaciona con un pico de patentes por tecnología y nombre de empresa. Atendiendo a la búsqueda realizada previamente, este año debería ser 2014. Entonces, usando el módulo de Comienzo de Noticias, se calculó el año en el que se lanzó la primera oferta de producto. En este caso, la búsqueda booleana se basa en la ecuación de búsqueda “*3d printing OR additive manufacturing AND metal AND product*” y la primera información asociada que aparece es en el 2009 (Mironov, 2006). A continuación, el módulo de Comienzo de Negocio/Producto se calcula usando la sintaxis siguiente para la búsqueda Booleana “*3d printing OR additive manufacturing AND metal AND product business*” en *Google Maps*. Como estas palabras no funcionaron, se aplicaron nuevas palabras clave: “*metal*

*additive manufacturing*”. En este caso aparecieron cuatro soluciones dentro del área geográfica objeto de estudio (área en la que se realizó la búsqueda), pero no es posible ni filtrar por año ni por lugares. Así pues, SmET no puede aplicarse directamente con este propósito. Una opción puede ser analizar el año en el que se creó dicho negocio, pero el problema que surge es que esto no se puede aplicar de forma genérica. En resumen, aplicando el módulo de Comienzo de Negocio/Producto, no se pudo determinar el TRL.

### Aplicación de BIMATEM

Los resultados devueltos para “Fabricación aditiva (AM) en metales” se muestran en la Tabla 10.

Tabla 13. Resultados devueltos para fabricación aditiva en metales desde Science Citation Index<sup>TM</sup> (WoS) – resultados normalizados según las metodologías de BIMATEM y SmET

Año	Año-Año_Inicial	Registros	SmET	BIMATEM
			Registros Normalizados	Registros Normalizados
1997	0	1	3.57%	0.00127551
1998	1	1	3.57%	0.00127551
1999	2	0	0.00%	0
2000	3	0	0.00%	0
2001	4	2	7.14%	0.00255102
2002	5	0	0.00%	0
2003	6	0	0.00%	0
2004	7	2	7.14%	0.00255102
2005	8	0	0.00%	0
2006	9	0	0.00%	0
2007	10	0	0.00%	0
2008	11	2	7.14%	0.00255102
2009	12	3	10.71%	0.00382653
2010	13	4	14.29%	0.00510204
2011	14	6	21.43%	0.00765306
2012	15	8	28.57%	0.01020408
2013	16	13	46.43%	0.01658163
2014	17	28	100.00%	

El ajuste devuelto para el valor de  $S < 0.15$  así que se realizó el siguiente paso conforme a lo indicado por la metodología, con los resultados mostrados en la Tabla 14.

Tabla 14. Ajuste de crecimiento logístico para los resultados normalizados de fabricación aditiva en metales desde Science Citation Index<sup>TM</sup> (WoS) – de acuerdo con la metodología BIMATEM

BIMATEM–R Resumen del ajuste de crecimiento logístico para los registros de AM en metales desde Science Citation Index <sup>TM</sup> Método: Algoritmo de mínimos cuadrados no lineal de Levenberg–Marquardt Iteraciones máximas: 50
Ecuación: AM metales registros para SCI = $1/(1 + 8928000 \times \text{EXP}(-0.8998 \times \text{'Año-Año\_Inicial'})$
Resumen: Iteraciones: 21 DFE (degrees of freedom for error – grados de Libertad para el error): 50 S: 0.05196

En este caso, el siguiente paso se basa en realizar la sintaxis de búsqueda relacionada con las patentes en la temática. Se llevó a cabo usando Espacenet y aplicando la sintaxis de búsqueda mencionada en la Tabla 12.

Como los resultados que devuelve (2013: 3 patentes y 2014: 11 patentes) no cumple con que  $YWR > 4$ , no se podría calcular S.

### Criterios de BIMATEM

Esta metodología sólo permite determinar que AM en metal está en un TRL entre TRL3 y TRL5, ya que no se alcanza el número de datos suficientes para utilizar los datos de la fuente de datos de patentes.

#### 5.4.3 Test 2.1. Bio-impresión de órganos

De acuerdo con la clasificación para aplicaciones tecnológicas de fabricación aditiva (AM-Motion, 2016) se asigna a la bio-impresión de órganos un TRL entre 1 y 3 en 2016. Las búsquedas usadas para cada caso se indican en la Tabla 15.

Tabla 15. Test 2.1. Búsquedas usadas en las fuentes de datos

Test ID	Búsqueda Booleana	Fuentes
2.1. SmET	$TI = (Bioprinting \text{ AND } organ)$	Science Citation Index
	$ta \text{ all } "organ \text{ AND } bioprint*" \text{ OR } ta = ("print*" \text{ prox/distance } < 3 \text{ "organ"})$	Espacenet
2.1. BIMATEM	$TI = (Bioprinting \text{ AND } organ)$	Science Citation Index

Los resultados devueltos por Science Citation Index se recogieron y normalizaron de acuerdo con cada metodología (Tabla 16).

Tabla 16. Resultados devueltos para bioimpresión de órganos desde Science Citation Index<sup>TM</sup> (WoS) – resultados normalizados según las metodologías de BIMATEM y SmET

Año	Año-Año_Inicial	Registros	BIMATEM	SmET
			Registros Normalizados	Registros Normalizados
2006	0	1	0.04347826	16.67%
2007	1	0	0	0.00%
2008	2	0	0	0.00%
2009	3	0	0	0.00%
2010	4	3	0.13043478	50.00%
2011	5	0	0	0.00%
2012	6	2	0.08695652	33.33%
2013	7	2	0.08695652	33.33%
2014	8	3	0.13043478	50.00%
2015	9	6	0.26086957	100.00%
2016	10	6	0.26086957	100.00%

La búsqueda de patentes en Espacenet muestra una patente relacionada en 2014 y una en 2016, tal y como se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17. Bio-impresión de órganos – patentes concedidas

Año	Patente concedida
2013	0
2014	1
2015	0
2016	1

### Aplicación de SmET

Los datos normalizados de publicaciones se ajustaron a una regresión polinómica ( $y = -0.0001x^6 + 1.3796x^5 - 6933.1x^4 + 2 \times 107x^3 - 3 \times 1010x^2 + 2 \times 1013x - 8 \times 1015$ ) pero no fue un buen ajuste ya que  $R^2$  era 0.881.

### Criterios de SmET

La asignación de TRL según la metodología SmET, es como sigue:

- **TRL1:** tal y como se mencionó previamente, la definición de TRL indica que es el año en el que se publica el primer artículo en el tema (Mironov, 2006). Por lo tanto, el TRL1 se logra en 2006.
- **TRL2:** considerando los resultados, el año en el que el número de publicaciones se convierte en prominente fue 2010 (tres publicaciones). En ese año, al menos un artículo (Yoo & Polio, 2010) fue citado por otro autor. Así, el TRL2 se logró en 2010.
- **TRL3:** el año en el que se alcanza el TRL se calcula como media de los tres años. El primer año fue 2010 (cuando se logra el TRL2). El segundo año fue en el que se alcanzaba un pico en el número de patentes concedidas, y en este caso fue el 2014 (dentro del periodo hasta 2016, tal y como se muestra en la Tabla 17). Por último, el año en el que las primeras fuentes de datos son prevalentes fue el 2013 (Figura 18).

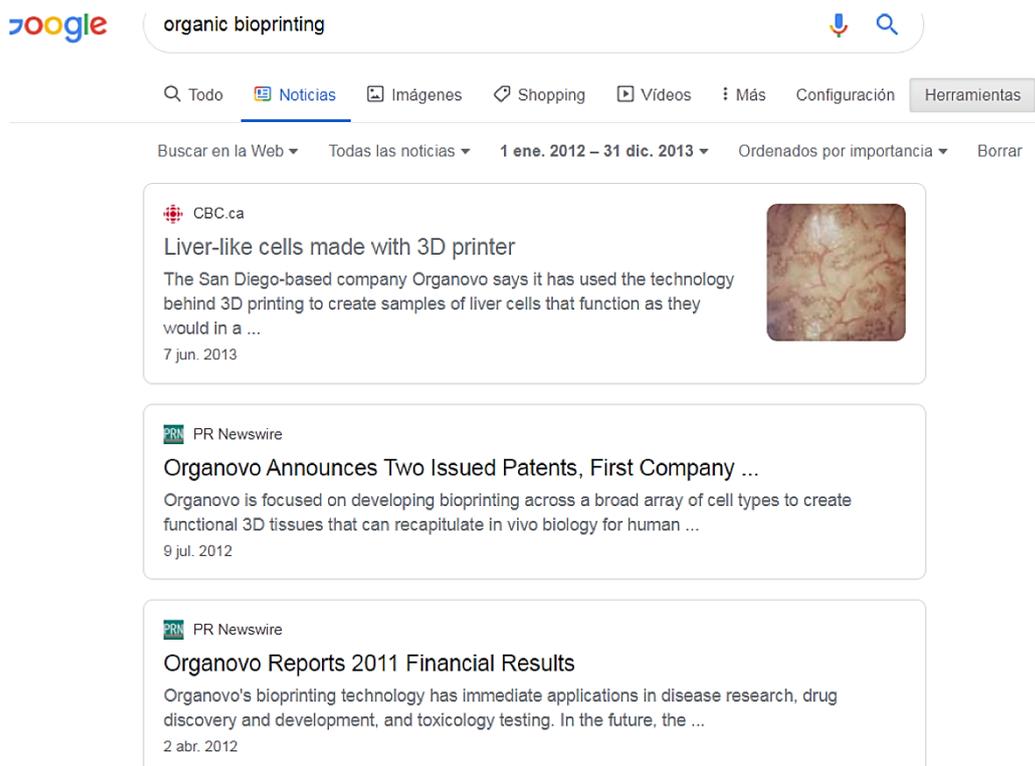


Figura 18. Noticias de bio-impresión de órganos

Tabla 18. Ajuste de crecimiento logístico para los resultados normalizados de producción de bio-impresión orgánica desde Science Citation Index™ (WoS) – de acuerdo con la metodología BIMATEM

<p>BIMATEM–R Resumen del ajuste de crecimiento logístico para los registros de producción de bio-impresión orgánica desde Science Citation Index™          Método: Algoritmo de mínimos cuadrados no lineal de Levenberg–Marquardt          Iteraciones máximas: 50</p>
<p>Ecuación: Producción de impresión de órganos registros para SCI = <math>1/(1 + 12.25121 \times \text{EXP}(-0.39362 \times \text{'Año-Año\_Inicial'})</math></p>
<p>Resumen:          Iteraciones: 8          DFE (degrees of freedom for error – grados de Libertad para el error): 3          S: 0.0369</p>

Como todos los valores tienen el mismo peso, TRL3 es  $(2010 + 2014 + 2013)/3 = 2012$  (2012.33). En este caso, está claro que la descripción “prevalente” no ayuda a normalizar la definición de TRL.

### Criterios de BIMATEM

Este ajuste devuelve (usando los datos de 2012 a 2016) un valor de  $S < 0.15$ , lo que significa que el TRL es mayor que TRL1-2 y que, al menos, se logra el TRL3 (los resultados se muestran en la Tabla 16). Sin embargo, no se pueden ejecutar más cálculos ya que los datos disponibles para patentes cubren únicamente dos años y por tanto, como no cumple el requisito de  $YWR > 4$ , no es posible.

#### 5.4.4 Test 2.2. Producción por AM de estructuras de avión de gran tamaño

La producción de estructuras de avión de gran tamaño por fabricación aditiva tiene un TRL de entre 3 y 4 en el año 2016. Las búsquedas usadas para cada caso se indican en la Tabla 19.

Tabla 19. Test 2.2. Búsquedas usadas en las fuentes de datos

Test ID	Búsqueda Booleana	Fuentes
2.2. SmET	$TI = (additive\ manufacturing\ AND\ aerospace)\ OR\ TI = (additive\ manufacturing\ AND\ aircraft)$	Science Citation Index
	$(ti\ all\ "additive\ manufact * AND\ aerospace" OR\ ta\ all\ "additive\ manufact * AND\ aircraft")\ AND\ pd \leq "2016"$	Espacenet
	$(additive\ manufacturing\ AND\ aerospace)\ OR\ (additive\ manufacturing\ AND\ aircraft)$	Google search. Filter by News
2.2. BIMATEM	$TI = (additive\ manufacturing\ AND\ aerospace)\ OR\ TI = (additive\ manufacturing\ AND\ aircraft)$	Science Citation Index
	$(ti\ all\ "additive\ manufact * AND\ aerospace" OR\ ta\ all\ "additive\ manufact * AND\ aircraft")\ AND\ pd \leq "2016"$	Espacenet

Los resultados devueltos se normalizan tal y como se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20. Resultados devueltos para producción de estructuras de avión de gran tamaño por medio de fabricación aditiva desde Science Citation Index<sup>TM</sup> (WoS) – resultados normalizados según las metodologías de BIMATEM y SmET

Año	Año-Año_Inicial	Registros	BIMATEM	SmET
			Registros Normalizados	Registros Normalizados
2010	2	0	0.14285714	50.00%
2011	1	1	0.07142857	25.00%
2012	0	2	0	0.00%
2013	1	3	0.07142857	25.00%
2014	3	4	0.21428571	75.00%
2015	3	5	0.21428571	75.00%
2016	4	6	0.28571429	100.00%

La búsqueda de patentes en Espacenet devuelve los resultados devueltos en la Tabla 21.

Tabla 21. Resultados devueltos para producción de estructuras de avión de gran tamaño por medio de fabricación aditiva desde Espacenet – resultados normalizados según las metodologías de BIMATEM

Año	Año-Año_Inicial	Número de Registros	BIMATEM Registros Normalizados
2010	0	1	0.06666667
2011	1	0	0
2012	2	0	0
2013	3	1	0.06666667
2014	4	2	0.13333333
2015	5	5	0.33333333
2016	6	6	0.4

### Aplicación de SmET

Los datos normalizados se ajustan a una regresión polinómica y la ecuación y el coeficiente son  $y = 0.0024x^6 - 29.347x^5 + 147641x^4 - 4 \times 10^{83} + 6 \times 10^{11}x^2 - 5 \times 10^{14}x + 2 \times 10^{17}$ , y  $R^2 = 1$ , respectivamente.

### Criterios de SmET

La asignación de TRL según la metodología SmET, es como sigue:

- **TRL1:** se logró en el año 2010 por las referencias (Gaytan et al., 2010) (Brandl et al., 2010).
- **TRL2:** 2016 es el año en el que artículos relacionados se han vuelto prominentes. Además, durante este año, al menos un artículo fue citado por otro autor y por eso el TRL2 se alcanza en 2016.
- **TRL3:** se calcula como la media de tres aspectos. El primero es 2016 (cuando TRL2 se logró). El segundo es el año en el que se logró un pico de solicitudes de patentes para la tecnología, y en este caso fue 2004 (es el primer año que se alcanza el pico). Entonces, el tercer aspecto, cuando los datos asociados a noticias o publicaciones se convierten en prevalentes, fue el 2016. Como todos estos valores se ponderan igual, el TRL3 es  $(2016 + 2004 + 2016)/3 = 2012$ . Como para casos previos, este resultado es **inconsistente** ya, pues el TRL2 no se puede lograr antes que el TRL3.

### Criterios de BIMATEM

El ajuste de los registros de la publicación devolvió un valor de  $S < 0.15$ , así que se llevó a cabo el siguiente paso (los resultados se muestran en la Tabla 22). Esto significa que el TRL es mayor que TRL1-2.

Tabla 22. Ajuste de crecimiento logístico para los resultados normalizados de producción de estructuras de avión de gran tamaño por medio de fabricación aditiva desde Science Citation Index<sup>TM</sup> (WoS) – de acuerdo con la metodología BIMATEM

BIMATEM–R Resumen del ajuste de crecimiento logístico para los registros de producción de estructuras de avión de gran tamaño por medio de fabricación aditiva desde Science Citation Index <sup>TM</sup> Método: Algoritmo de mínimos cuadrados no lineal de Levenberg–Marquardt Iteraciones máximas: 50
Ecuación: Producción de estructuras de avión de gran tamaño por medio de fabricación aditiva registros para $SCI = 1/(1 + 22.0366 \times \text{EXP}(-0.3619 \times \text{'Año-Año\_Inicial'})$
Resumen: Iteraciones: 14 DFE (degrees of freedom for error – grados de Libertad para el error): 5 S: 0.06678

Así, se realiza un ajuste de los registros de patentes y se observa que el valor de  $S < 0.21$  (resultados mostrados en la Tabla 23). Esto significa que el TRL es mayor que TRL4-5. Sin embargo, no se pudieron llevar a cabo más cálculos a causa de las limitaciones de esta metodología.

Tabla 23. Ajuste de crecimiento logístico para los resultados normalizados de producción de estructuras de avión de gran tamaño por medio de fabricación aditiva desde Espacenet – de acuerdo con la metodología BIMATEM

BIMATEM–R Resumen del ajuste de crecimiento logístico para los registros de producción de estructuras de avión de gran tamaño por medio de fabricación aditiva desde Espacenet Método: Algoritmo de mínimos cuadrados no lineal de Levenberg–Marquardt Iteraciones máximas: 50
Ecuación: Producción de estructuras de avión de gran tamaño por medio de fabricación aditiva registros para $SCI = 1/(1 + 14.000 \times EXP(-8.216 \times 'Año-Año\_Inicial'))$
Resumen: Iteraciones: 12 DFE (degrees of freedom for error – grados de Libertad para el error): 5 S: 0.2

#### 5.4.5 Test 2.3. Calidad y consistencia de la producción en polvo por AM

La fabricación aditiva en polvo tiene un TRL de 6 conforme a la clasificación para aplicaciones tecnológicas de fabricación aditiva (AM-Motion, 2016). La búsqueda de cada metodología se indica en la Tabla 24.

Tabla 24. Test 2.3. Búsquedas usadas en las fuentes de datos

Test ID	Búsqueda Booleana	Fuentes
2.3. SmET	<i>((ta all “AM powder” AND ta = (“AM” prox/ordered “powder”)) OR (ta all “additive manuf * powder” AND ta = (“additive manuf *” prox/ordered “powder”))) AND pd ≤ “2016”</i>	<i>Espacenet</i>
	<i>TI = (AM powder OR additive manufacturing powder)</i>	<i>Science Citation Index</i>
2.3. BIMATEM	<i>((ta all “AM powder” AND ta = (“AM” prox/ordered “powder”)) OR (ta all “additive manuf * powder” AND ta = (“additive manuf *” prox/ordered “powder”))) AND pd ≤ “2016”</i>	<i>Espacenet</i>
	<i>TI = (additive manufacturing AND aerospace) OR TI = (additive manufacturing AND aircraft)</i>	<i>Science Citation Index</i>

#### Aplicación de SmET

Se recogieron y normalizaron los resultados obtenidos, tal y como muestran las Tabla 25 y Tabla 26. Además, se ajustaron a la siguiente regresión polinómica  $y = 5 \times 10^7 x^6 - 0.0066x^5 + 33.06x^4 - 88331x^3 + 1 \times 10^8 x^2 - 1 \times 10^{11} x + 4 \times 10^{13}$  cuyo coeficiente fue  $R^2 = 0.9824$ .

Tabla 25. Resultados devueltos Calidad y consistencia de la producción de fabricación aditiva (AM) en polvo desde Science Citation Index<sup>TM</sup> (WoS) – resultados normalizados según las metodologías de BIMATEM y SmET

Año	Año-Año_Inicial	Registros	BIMATEM	SmET
			Registros Normalizados	Registros Normalizados
1996	0	1	0.0078125	2.00%

Año	Año-Año_Inicial	Registros	BIMATEM	SmET
			Registros Normalizados	Registros Normalizados
1997	1	0	0	0.00%
1998	2	0	0	0.00%
1999	3	0	0	0.00%
2000	4	0	0	0.00%
2001	5	0	0	0.00%
2002	6	1	0.0078125	2.00%
2003	7	2	0.015625	4.00%
2004	8	0	0	0.00%
2005	9	1	0.0078125	2.00%
2006	10	1	0.0078125	2.00%
2007	11	2	0.015625	4.00%
2008	12	1	0.0078125	2.00%
2009	13	4	0.03125	8.00%
2010	14	7	0.0546875	14.00%
2011	15	3	0.0234375	6.00%
2012	16	3	0.0234375	6.00%
2013	17	5	0.0390625	10.00%
2014	18	19	0.1484375	38.00%
2015	19	28	0.21875	56.00%
2016	20	50	0.390625	100.00%

Tabla 26. Resultados devueltos de Calidad y consistencia de la producción de fabricación aditiva (AM) en polvo desde Espacenet – resultados normalizados según las metodologías de BIMATEM

Año	Año-Año_Inicial	Número de Registros	BIMATEM Registros Normalizados
2013	0	3	0.214286
2014	1	11	0.785714

### Criterios de SmET

- **TRL1:** se logra en 1996, por la referencia (Paul & Baskaran, 1996a) .
- **TRL2:** cinco artículos o más en 2010, y al menos una de las referencias (Berumen et al., 2010) fue citado por otro autor.
- **TRL3:** al igual que en el caso anterior, el año en el que el TRL se alcanza se calcula como una media de tres aspectos. El primero de ellos es 2010 (cuando se alcanza el TRL2). El segundo es aquel en el que hubo un pico de patentes concedidas para la tecnología, y es 2014 (tras examinar manualmente las patentes resultantes para el periodo). El tercero de ellos es cuando los datos asociados a las noticias son prevalentes, y esto sucede en 2013. Así, el año en el que se consigue el TRL3  $(2010 + 2014 + 2013)/3 = 2012.33$ .
- **TRL4:** se logra el año en el que se hay una primera patente concedida así que el TRL4 se logra en 2007 (lo cual es incoherente, ya que no se puede alcanzar el TRL4 antes del TRL3).

- TRL6 y/o TRL6: se logra el año con el mayor número de patentes concedidas, y esto corresponde a 2012. Así que el TRL5-6 se logra en 2012.

### Criterios de BIMATEM

Este ajuste devuelve el valor de  $S < 0.15$ , así que se ejecuta el siguiente paso (los resultados se muestran en la Tabla 27).

Tabla 27. Ajuste de crecimiento logístico para los resultados normalizados de Calidad y consistencia de la producción de fabricación aditiva (AM) en polvo desde Science Citation Index<sup>TM</sup> (WoS) – de acuerdo con la metodología BIMATEM

BIMATEM–R Resumen del ajuste de crecimiento logístico para los registros de Calidad y consistencia de la producción de fabricación aditiva (AM) en polvo desde Espacenet Método: Algoritmo de mínimos cuadrados no lineal de Levenberg–Marquardt Iteraciones máximas: 50
Ecuación: Calidad y consistencia de la producción de fabricación aditiva (AM) en polvo registros para SCI = $1/(1 + 79.9713 \times \text{EXP}(-0.2267 \times \text{'Año-Año\_Inicial'})$
Resumen: Iteraciones: 21 DFE (degrees of freedom for error – grados de Libertad para el error): 10 S: 0.05287

En este caso, el paso siguiente es el de realizar la búsqueda relacionada con las patentes en esta temática. Se realiza usando Espacenet y aplicando la sintaxis de búsqueda detallada en la Tabla 24. Los resultados que devuelven (2013: 3 patentes y 2014: 11 patentes) no cumplen  $YWR > 4$ , y por tanto  $S$  no se puede calcular. Consecuentemente, esta metodología permitía determinar que la producción de AM en polvo con calidad y consistencia se encuentra en un TRL entre TRL3 y TRL5.

## 5.5 Análisis de los resultados de la validación

La Tabla 28 resume los resultados obtenidos tras aplicar ambas metodologías (SmET y BIMATEM) en los datasets identificados y pruebas, considerando las hipótesis de partida. Para cada test o prueba, SmET es capaz de calcular el TRL (o rango, para el caso de TRL5-6) y el año en el que se consigue para cinco de los seis tests (excepto para el test 1.3.). Sin embargo, la precisión en términos de TRL, y el año en el que este se obtiene, es limitada. Aunque SmET es capaz de determinar el TRL basándose en criterios fijos, y este se corresponde con el valor objetivo indicado en la bibliografía (según las referencias bibliográficas encontradas), el año en el que este se alcanza no siempre coincide con dicha referencia. Además, una debilidad particular del método es su inconsistencia ya que no proporciona ningún medio para asegurar que los TRLs elevados no se alcanzan más tardes que los TRLs más bajos. Así, SmET calcula cada TRL basándose en un criterio o varios criterios (como es el caso del cálculo del TRL 3). Cuando se consideran varios criterios, el año en el que se alcanza el TRL se basa en la mesa de los años obtenidos en todos los criterios. Este fue el caso del Test 1.2, en el que el TRL4 se alcanzó en 2015.

Tabla 28. Comparación de resultados: SmET vs BIMATEM

Set	Test	TRL objetivo	SmET (TRL) Resultados	BIMATEM (TRL) Resultados
Set 1	Test 1.1	TRL1–3 en 2014	TRL1 en 1967; TRL2 en 2012; TRL3 no puede calcularse.	TRL1–3 en 2014.
	Test 1.2	TRL3–7 en 2014	TRL3 en 2012; TRL4 en 2005; * TRL5–6 en 2014; TRL7 no puede calcularse.	TRL3–5 en 2014.
	Test 1.3	TRL7–9 en 2014	Sin datos.	Sin datos.
Set 2	Test 2.1	TRL1–3 en 2016.	TRL1 en 2006. TRL2 en 2010. TRL3 en 2012.	TRL1–3 en 2016
	Test 2.2	TRL3–4 en 2016.	TRL1 en 2010. TRL2 en 2016.* TRL3 en 2012	Mayor que TRL4–5 en 2016.
	Test 2.3	TRL6 en 2016.	TRL1 en 1996. TRL2 en 2010. TRL3 en 2012. * TRL4 en 2007. TRL5–6 en 2012.	TRL3–TRL5 en 2016.

\* Resultados incoherentes.

Por otro lado, BIMATEM proporciona un rango preciso de TRL que son coherentes con los proporcionados por la literatura de referencia. Sin embargo, no es capaz de aportar un único valor de TRL, en vez de un rango. Asimismo, no puede diferenciar entre TRLs elevados más allá del rango TRL6-TRL9. En términos generales, BIMATEM es más preciso que SmET, puesto que los resultados que devuelve coinciden con los indicados en la bibliografía.

## 5.6 Análisis de aplicabilidad y limitaciones encontradas en la metodología

### SmET

Basándose en sus características y su uso práctico, se han extraído los siguientes resultados en función del cumplimiento de las hipótesis planteadas en la sección 5.1:

- La hipótesis H1 se basa en la capacidad de la metodología de clasificar el TRL para una metodología dada, y SmET cumple con H1 si permite la clasificación del año en el que una tecnología dada alcanza un TRL específico.
- En relación con su capacidad para asignar un TRL inequívoco, tal y como se establece en la hipótesis H2, SmET presenta limitaciones en la asignación de un único TRL para una tecnología dada en un instante específico. Esto se debe principalmente a la definición de algunos TRLs recogidos en esta metodología, ya que proporcionan un rango de resultados en vez de un valor único.
- La tercera hipótesis (H3) se relaciona con el uso de fuentes de datos gratuitas de manera prioritaria, a la hora de realizar la búsqueda. En este caso, SmET lo cumple parcialmente ya que

está basada en una serie de fuentes de datos donde sólo un número limitado de las mismas presenta acceso gratuito (aquellas relacionadas con los servicios de Google) mientras que las otras, están basadas en servicios de pago (*Science Citation Index* y *Derwent Innovation Index*).

- La aplicabilidad de la metodología para un amplio rango de aplicaciones relacionadas con tecnologías industriales también se ha estudiado como parte de la cuarta hipótesis (H4). Aunque SmET se desarrolló originalmente para aplicaciones TIC, se validó para una de las KETs definidas por la Comisión Europea (AM o fabricación aditiva) en un conjunto completo de aplicaciones. De este modo, el uso de la metodología puede extenderse a aplicaciones relacionadas con tecnologías industriales, y, por tanto, cumple con esa hipótesis.
- En cuanto a si la metodología es independiente del uso de expertos (H5), las validaciones realizadas muestran que SmET se basa en fuentes de datos cuyos resultados e interpretación puede llevarse a cabo por no expertos. Sin embargo, se observó que la selección de las palabras clave para optimizar la búsqueda de una tecnología dada necesita mejorarse puesto que este procedimiento patentado, realmente se diseñó para aplicaciones TIC en un principio. Igualmente, existe información limitada acerca de cómo se realiza la normalización de los datasets. Así pues, en este caso se requiere la participación de expertos y, por tanto, esta hipótesis no se cumple por completo.
- En cuanto al uso de fuentes de datos abiertas (H6), SmET se ha demostrado utilizable cuando la mayoría de las fuentes de datos son gratuitas.

La aplicación de la metodología SmET a los casos de validación ha llevado a identificar las limitaciones siguientes: Considerando el potencial de cumplimiento de H1. Clasificación del TRL para una tecnología dada: la metodología puede clasificar la tecnología según el concepto de TRL y H2. Asignación inequívoca del TRL:

- **Limitación 1.** TRL5 y TRL6 tienen la misma definición para caracterizar el año en el que se alcanzan (no cumple H2).
- **Limitación 2.** El año en el que alguno TRLs se alcanza (como es el caso del TRL3 y TRL7) se establece como una media de los años obtenidos en diversos datasets. El cálculo de dicha media se lleva a cabo considerando que todos los datos tienen el mismo peso, lo cual no sería válido para todas las tecnologías ya que depende de su velocidad de maduración.
- **Limitación 3.** Algunos años en los que se alcanza un determinado TRL (es decir, TRL2, TRL3 y TRL9), se establecen como el año en el que se alcanzan unos determinados valores ambiguos para ciertos parámetros. Por ejemplo, TRL2 indica que cuando las publicaciones científicas se convierten en prominentes, se publican artículos asociados.

Para los autores, el término “prominente” significa el primer año que se logra 5, 10, 15, etc. Dichos valores requieren una revisión atendiendo al tipo de tecnología, su nivel de madurez, su aplicación, etc., ya que no todas las tecnologías consiguen el mismo estado en el mismo momento o con la misma velocidad.

- Para H3. Uso de fuentes de datos gratuitas para la búsqueda:
  - **Limitación 4.** Dos de los cuatro datasets se basaban en fuentes de datos de pago *Science Citation Index* y *Derwent Innovation Index* – no se cumple H3).
- Atendiendo a H4. Aplicabilidad en un amplio rango de aplicaciones relacionadas con tecnologías industriales:
  - **Limitación 5.** Este procedimiento patentado se validó para casos de uso basados en TIC donde los datasets se normalizaron, pero no para otras aplicaciones tales como las tecnologías industriales, refiriéndose al documento de patente. Sin embargo, el trabajo ha demostrado que se puede aplicar para tecnologías industriales.
- Considerando H5. Procedimiento cuantitativo no dependiente de la experiencia de expertos y H6. Idoneidad de la metodología para ser aplicada con fuentes de datos abiertas:
  - **Limitación 6.** El procedimiento incluye contenido presentado en el artículo de los autores (Paul & Baskaran, 1996b) donde se han previsto temas adicionales para mejorar el procedimiento. Sin embargo, dichas mejoras no se incluyen en el procedimiento patentado referido como SmET.
  - **Limitación 7.** No hay información sobre el procedimiento seguido para crear las palabras claves en cada caso de uso específico, así que los resultados de búsqueda se limitan a la idoneidad de las palabras clave seleccionadas y estas dependen en gran medida de la experiencia del usuario o su nivel de experiencia (no se cumple H5).
  - **Limitación 8.** El módulo de *Business/Product starts* o Comienzo de Negocio/Producto, no puede aplicarse al presente para calcular la información para el caso del TRL7, TRL8 o TRL9. La información requerida para determinar tales TRLs se debe consultar para eventos pasados (es decir, negocios creados en el pasado, antes del momento presente).
- Otros aspectos, tales como la *fuerza del método*, son:
  - **Limitación 9.** La metodología no tiene ninguna manera de contrastar la evolución del TRL (es decir, la velocidad de madurez tecnológica). Así, a causa de la ambigüedad de los TRLs en la descripción, podrían ocurrir situaciones incoherentes, como el hecho de alcanzar el TRL4 antes que el TRL3, tal y como muestran los resultados de las pruebas (tests).

- **Limitación 10.** Para aquellos casos donde el TRL se calcula como media de ciertos valores (artículos, patentes y noticias), si alguno de ellos no se puede obtener, no se puede determinar el año en el que se alcanza el TRL.
- **Limitación 11.** Aunque la metodología detalla cómo se normalizan los datasets e indica que estos datasets se ajustan a una regresión polinómica, no hay una definición clara de cómo usarla. Igualmente, el  $R^2$  asociado a la regresión polinómica se calcula, pero no se emplea como criterio para rechazar el dataset o para determinar la bondad del ajuste.

## 5.7 Análisis de aplicabilidad y limitaciones encontradas en la metodología

### BIMATEM

La experiencia de uso durante los casos de validación ha permitido probar las hipótesis planteadas, presentándose a continuación una evaluación del cumplimiento de cada una por la metodología BIMATEN:

- En primer lugar, esta metodología se adapta para determinar el TRL en el momento actual o pasado, así que se cumple la hipótesis H1.
- En cuanto a la identificación indudable de cada nivel, la metodología proporciona, únicamente, un rango de TRLs en vez de un valor único y, por lo tanto, no satisface H2.
- BIMATEN considera varios elementos de las bases de datos de pago: para TRLs bajos (TRL1 a TRL5), se basa únicamente en artículos científicos (ciencia); para TRLs medios (TRL6 y TRL7), el cálculo se basa en patentes (tecnologías); para TRLs más altos (TRL8 y TRL9), se consideran las noticias (mercado). Por lo tanto, no cumple H3 y no permite su aplicación utilizando fuentes libres.
- BIMATEN se aplicaba en su origen a un caso de uso relacionado con fabricación aditiva y este trabajo lo ha validado en casos adicionales relacionados con la fabricación aditiva. BIMATEN es válida para aplicaciones relacionadas con tecnologías industriales, de modo que cumple con H4, relativa al amplio rango de aplicabilidad.
- Los resultados y la metodología se pueden llevar a cabo por perfiles no -expertos. Sin embargo, la selección de palabras clave requiere un análisis profundo del estado del arte o de perfiles expertos. Por el contrario, la metodología explica cómo optimizar las bases de datos y para ello no se requiere experiencia. Sin embargo, no se cumple H5 por completo.
- BIMATEN usa exclusivamente fuentes de datos de pago así como un software estadístico propietario pero puede ajustarse para su uso por medio de fuentes de datos gratuitas y un software estadístico gratuito, dando cumplimiento a H6, de poder utilizarse utilizando fuentes gratuitas.

La aplicación práctica de la metodología BIMATEM ha permitido identificar las siguientes limitaciones:

- Considerando el cumplimiento de H1. Clasificación del TRL para una tecnología dada: la metodología puede clasificar la tecnología según el concepto de TRL y H2. Asignación inequívoca del TRL:
  - **Limitación 1.** El TRL se calcula por rangos: ciencia (TRL1-2, TRL3, TRL4-5), tecnología (TRL6-7) y mercado (TRL8-9) (no se cumple H2).
- Para H3. Uso de fuentes de datos gratuitas para la búsqueda:
  - **Limitación 2.** Todos datasets aplicados están basados en fuentes de pago (no se cumple H3).
- Considerando H6. Idoneidad de la metodología para ser aplicada con fuentes de datos abiertas:
  - **Limitación 3.** La determinación de S (valor crítico que determina los TRLs) implica la definición del comportamiento que mejor se ajusta con las bases de datos: crecimiento logístico o evolución *Hype-Type*. Este paso implica el uso de un software propietario (Minitab18<sup>TM</sup>). El enfoque del trabajo presentado en esta tesis requiere la aplicación de software gratuito R (R Core Team, 2021) pero se necesitan conocimientos de programación, por lo que se requiere usuarios con competencias elevadas en esta materia.
  - **Limitación 4.** Para las nuevas tecnologías, en los primeros años, las publicaciones aparecen de manera irregular. Este es el caso de bio-impresión orgánica (“*organic bio-printing*”), por lo que los resultados no pueden convergen en un buen ajuste a causa de los años intermedios que tienen valor 0. Además, los datos no se pueden ignorar ya que se debe cumplir que  $YWR > 4$  y esto no siempre se cumple para tecnologías no maduras.
  - **Limitación 5.** El ajuste de los resultados a un crecimiento logarítmico se basa en el algoritmo de Levenberg–Marquardt (L–M) usando el software gratuito R. El algoritmo L-M también lo aplica BIMATEM, usando la fuente de pago Minitab18<sup>TM</sup>. Durante la validación, muchos de los tests (usando el software R) no se han podido llevar a cabo a causa de que el algoritmo L-M no puede converger a causa de diversos motivos (por ejemplo, Limitación 4) y esto limita muchas de las pruebas pues no puede encontrar el resultado. Así, esta metodología depende de un gran número de causas que dificultan la determinación del resultado final en una variedad de situaciones (ver también la Limitación 6).
  - **Limitación 6.** El cálculo tiene límites para los TRLs más elevados ya que dependen de los resultados de una fuente de pago (Factiva<sup>TM</sup>) y no hay alternativas gratuitas para recopilarlos (no se cumple H6). En este sentido, los TRLs dentro del rango TRL7-9 no se pueden usar utilizando fuentes gratuitas y aplicando BIMATEM.

## 5.8 Idoneidad para organizaciones de pequeño y mediano tamaño

Ninguna de las metodologías estudiadas cumple completamente las hipótesis iniciales, pero ambas tienen puntos muy positivos a tener en cuenta sobre su aplicación potencial en organizaciones de pequeño y mediano tamaño. Por un lado, SmET proporciona un TRL único (el año en el que se alcanza un único TRL) para la mayoría de los casos y, además, la mitad de sus bases de datos son gratuitas; BIMATEM ofrece un rango de TRL y ninguna de las bases de datos aplicadas son de acceso abierto. Por otro lado, BIMATEM detalla sus pasos metodológicos con todo detalle (por ejemplo, la normalización de los resultados o bases de datos, la búsqueda, etc.) así como que ha sido validada originalmente en aplicaciones industriales. En cambio, este no es el caso de SmET si bien ha demostrado ser adecuada para aplicaciones industriales.

En cualquier caso, ambas metodologías presentan limitaciones que dificultan su aplicación directa en las entidades objetivo (aquellas de pequeño y mediano tamaño). Considerando la asignación de TRL, ninguna de ellas puede proporcionar un valor inequívoco de TRL. Mientras que SmET tiene problemas para diferenciar el TRL5 y TRL6, BIMATEM sólo proporciona un rango de TRLs, salvo para el TRL3. La importancia de asignar un valor único e inequívoco de TRL está relacionada con la capacidad de la metodología de permitir pasos futuros de cara a priorizar proyectos relacionados con otros aspectos asociados con la madurez tecnológica: nivel del riesgo, acceso a financiación, necesidad de proveedores tecnológicos, etc. Además, el uso de bases de datos de pago en ambos casos, la falta de asignación de un único TRL o el uso de software estadístico complejo y de pago para determinar el rango de TRLs (BIMATEM) o las inconsistencias durante el cálculo de TRLs, complican su aplicación en este tipo de organizaciones donde el tiempo y los recursos financieros son más escasos que en otras.

Puesto que las organizaciones objetivo tienen recursos limitados, es esencial el uso de fuentes gratuitas de manera exclusiva para crear las bases de datos y esto no se cumple ni por parte de SmET ni de BIMATEM. Además, BIMATEM utiliza una herramienta estadística de pago llamado MiniTab18™ para calcular el parámetro S y es un paso crítico para determinar el TRL de la tecnología de acuerdo con la citada metodología.

Durante el cálculo del TRL, se han identificado inconsistencias, especialmente en lo que respecta al cálculo de SmET (por ejemplo, TRL4 se alcanza antes del TRL3 a causa de la definición e indicaciones de cálculo dadas por el método). Todos estos aspectos se deben a la ambigüedad de su definición (media de varios años, el momento en el que se logra un determinado valor de un parámetro dado (5,10,15...), etc.) sin tener en cuenta las diferentes velocidades de madurez de una tecnología dependiendo de su aplicación final. Por otro lado, BIMATEM aplica un concepto estadístico (S) basándose en la precisión del ajuste de los datos a una regresión no-lineal. Además, BIMATEM no tiene ambigüedad desde el punto de vista del S definido y los valores umbral que determinan el TRL se basan en un cálculo

realizado a partir de tecnologías emergentes. Cabe destacar que SmET se refiere al ajuste de una regresión lineal de las bases de datos y en el cálculo del coeficiente de regresión  $R^2$  para determinar la bondad del ajuste. A pesar de que ambas metodologías están orientadas a asignar el TRL para una tecnología dada, uno de ellos (BIMATEM) se basa totalmente en conceptos estadísticos, aplicando el error estándar para regresiones no lineales (S) como criterio para determinar el TRL. En cambio, SmET sólo aplica una regresión lineal y el  $R^2$  asociado de la regresión sólo se considera como referencia, para saber cómo de bueno es el ajuste, en lugar de ser un parámetro crítico para determinar el TRL.

Aunque estas metodologías aplican diferentes fuentes según el tipo de TRL (sea de la parte alta o baja de la escala, cerca de mercado o investigación, respectivamente). Estas fuentes son principalmente bibliométricas. Algunas referencias, si son gratuitas, no son válidas para calcular el TRL para eventos pasados, como es el caso de *Google Maps* en SmET. Asimismo, la selección de palabras clave para ejecutar la búsqueda, es muy dependiente de la experiencia de expertos y, en el caso de SmET, no se detalla cómo se realiza dicha elección.

En este contexto, los autores han creado un borrador del camino que define la nueva metodología desarrollada para superar las limitaciones identificadas, tal y como se detalla en el apartado 5.9.

## 5.9 Oportunidades de Mejoras

Tras aplicar y validar las metodologías cuantitativas existentes, se han analizado estas propuestas de mejoras y conclusiones que se deberían aplicar para el desarrollo de una metodología mejorada de estimación del TRL de una tecnología.

Las metodologías cuantitativas encontradas, SmET y BIMATEM, tienen un esquema de búsqueda de información en módulos que se considera adecuado, pero admite una serie de ajustes. Así, como resultado de las validaciones llevadas a cabo para dichas metodologías cuantitativas, entre algunas de las posibles mejoras a plantear podrían estar la de flexibilizar las fuentes, definiendo módulos relativos a la información que se desea obtener y permitiendo el uso de las fuentes disponibles para la organización (es decir, el uso de fuentes libres o ampliar la base de datos con nuevas fuentes), la asociación de las fuentes con un grupo concreto de niveles del TRL y la ampliación de los módulos para incluir fuentes de información que no eran manejadas por las organizaciones. Como resultado de la validación y punto de partida del desarrollo de una nueva metodología se plantea una propuesta inicial de módulos que incluirían los siguientes:

- **Módulo académico:** se centrará en cuantificar el potencial de I+D de la tecnología del caso de uso, basándose en artículos y citas. En este caso, la fuente de datos podría ser *Google Scholar* (Google Scholar, 2024) en vez de *Science Citation Index* (ClarivateTM, 2024), tal y como se ha explicado en el estado del arte. En resumen, los autores priorizarán el uso de varios

repositorios de ciencia abierta tales como *Google Scholar* (referencias mundiales), Repositorios Europeos de Acceso Abierto o Repositorios Regionales de Acceso abierto tales como RIA (Gobierno del Principado de Asturias, 2024).

- **Módulo de patentes:** se basará en identificar las patentes potenciales relacionadas con la tecnología del caso de uso, basándose en el número de patentes, nombre de autores, clasificaciones de patentes, etc. La fuente de datos podría ser *Espacenet* o *Google Patents* en vez de *Derwent Innovation Index*. Igualmente, los autores estudiarán un rango de fuentes de datos abiertas tales como Espacenet, WIPO (WIPO, 2024) o USPTO (USPTO, 2024) , entre otras.
- **Módulo de proyectos:** este estará orientado a identificar proyectos de I+D+i para la tecnología del caso de uso, ya que muchos de los programas de financiación clasifican ya los proyectos financiados usando el rango de TRL. Entre las fuentes de datos gratuitas que pueden resultar útiles, se encuentran: *EC Quick tools* (European Commission, 2024) y *Cordis* (European Commission., 2024). Muchos artículos están incluso relacionados con los proyectos o las agencias financiadores, que permitirán establecer o determinar esa relación.
- **Módulo de negocios:** se orientará a determinar la tecnología relacionada con los negocios. En este caso, la idea sería combinar varias fuentes para resolver las limitaciones de las soluciones actuales (es decir, el uso de Google Maps para analizar la existencia de negocios en el pasado). Las fuentes de datos aplicables se basarán en una combinación de Google Maps, fuentes sectoriales y de estandarización en la materia.
- **Módulo de noticias/redes sociales:** se encontrará orientado a cuantificar las noticias relacionadas con el tema. En este caso, las fuentes de datos aplicables serían: X-Twitter (X-Twitter, 2024) y *Google News* (en España, esto implica usar el buscador de Google usando el filtro de “Noticias” ya que Google News ya no existe como lo conocíamos, o al menos durante la ejecución de estos trabajos debido a las particularidades del país). Además, otros estudios han abordado otras redes sociales como TikTok (TikTok, 2024) .

El TRL se calcularía combinando información de los diversos módulos, permitiendo determinar el TRL de forma cuantitativa basándose en criterios imparciales. Será adecuado para los no expertos en la temática ya que no se basará en encuestas o respuestas procedentes de expertos.

BIMATEM y la metodología propuesta tienen puntos en común, tales como el hecho de ser métodos cuantitativos orientados al cálculo del TRL para una tecnología dada. Sin embargo, la metodología propuesta deberá proponer un TRL inequívoco para un caso de uso dado, mientras que esto no es el caso para SmET o BIMATEM. La inclusión de módulos adicionales sobre redes sociales, proyectos e iniciativas de estandarización, para poder mejorar la definición de los TRLs intermedios y altos

La información procedente de las redes sociales ha demostrado ser una solución relevante como resultado de la revisión de las metodologías actuales (Wilson, 2008) (Zubiaga et al., 2015) (X. Li et al., 2019). Igualmente, la búsqueda de datos de patentes se puede mejorar tal y como se detalla en tecnologías existentes (Kocaoglu, 2014). Asimismo, el novedoso método usará fuentes de datos gratuitas de manera exclusiva, yendo más allá del estado del arte. Por otro lado, todas las metodologías analizadas pueden llevarse a cabo casi en su totalidad sin expertos, pero en algunos pasos cruciales (como la selección de palabras clave), se requiere incorporar a expertos (SmET) o se recomienda hacerlo (BIMATEM). Sin embargo, la metodología propuesta incluirá un refinamiento de la selección de palabras clave usando técnicas de “*text mining*” o minería de texto, en particular para la tecnología donde los términos evolucionan con el tiempo, incluso para el mismo concepto (por ejemplo, “*3D printing*”, “*free forming*” o “*additive manufacturing*”). Igualmente, la metodología propuesta proporcionará bases de datos normalizadas y los criterios para calcular el TRL evitarán la participación de expertos. Además, la metodología propuesta se centrará en las necesidades de los usuarios objetivos, en otras palabras, las organizaciones de pequeño y mediano y tamaño. Esto implica el uso de bases de datos y herramientas gratuitas, facilidad de uso, no dependencia de expertos, etc.

Las mejores propuestas pretenden ir más allá del estado del estado del arte tal y como se resume en la Tabla 29.

Tabla 29. Comparación entre los procesos de SmET y BIMATEM contra la metodología propuesta

	<b>SmET</b>	<b>BIMATEM</b>	<b>Nueva aproximación</b>
<b>Aproximación</b>	Determina el año en el que el TRL del “caso de uso” tecnológico se logra.	Determina el TRL de una tecnología en el presente. Podría adaptarse para determinarlo en una fecha pasada.	Determina el TRL del del “caso de uso” tecnológico en el presente (primera aproximación) o en el pasado.
<b>Método cuantitativo</b>	Sí (se dan indicadores cuantitativos).	Sí (se dan indicadores cuantitativos).	Sí (se dan indicadores cuantitativos).
<b>Necesidad de expertos</b>	No. El procedimiento general no necesita expertos. Sin embargo, algunos pasos (normalización de conjuntos de datos) requieren expertos para su definición.	No Si se hace una revisión de la literatura extensa, no se requieren expertos. Sin embargo, su experiencia reduciría notablemente el tiempo necesario.	No
<b>Univocidad en la caracterización del TRL</b>	No. (TRL5 y TRL6 tienen la misma definición).	No. (Rango de TRLs).	Sí. (Se añaden módulos y criterios).

	<b>SmET</b>	<b>BIMATEM</b>	<b>Nueva aproximación</b>
<b>Pérdida de información en varios pasos del proceso</b>	Sí. Necesidad de expertos para la normalización del dataset o conjunto de datos y la selección de las fuentes ( <i>keywords</i> ).	No. Podrían requerirse expertos para definir la terminología ( <i>keywords</i> ) pero no es obligatorio.	No. La metodología se definirá para que sea semiautomática, minimizando los inputs de los expertos durante su aplicación.
<b>Ausencia de bases de datos gratuitas</b>	2 de las 4 bases de datos se basan en fuentes de datos de pago (WoS para el dataset académico y DSII para el dataset de patentes).	Todas las fuentes de datos y la herramienta estadística están disponibles bajo licencia.	Todos los módulos se basarán en fuentes de datos gratuitas.
<b>Aplicación</b>	Aplicación TIC.	Tecnologías de fabricación aditiva.	Mayor aplicación con especial atención a las tecnologías industriales.

Por último, esta propuesta también tiene el potencial de extenderse a otro tipo de organizaciones (más allá de las organizaciones de pequeño y mediano tamaño) que no tengan su propia infraestructura intensiva en I+D+i o ninguna capacidad de tenerla. Este es el caso de la Administración Pública, Universidades, hospitales, u organizaciones sin ánimo de lucro, entre otras.

## 5.10 Conclusiones de la validación

Este capítulo incluye el estudio, validación y comparación de dos metodologías de evaluación tecnológica basada en criterios cuantitativos: SmET y BIMATEM. Ambos pueden determinar el TRL de un “caso de uso” tecnológico – es decir de una tecnología utilizada a una aplicación específica – en un determinado momento (presente o pasado) basándose en indicadores cuantitativos (número de artículos, patentes, noticias, etc.) y, en términos generales, independiente de inputs de expertos. Ninguna de ellas es capaz de proporcionar un único TRL (SmET tiene la misma definición para TRL5 y TRL7, mientras que BIMATEM proporciona un rango de TRLS) o usa exclusivamente fuentes de datos gratuitas (SmET usa dos gratuitas mientras que BIMATEM no aplica ninguna). Con relación a su aplicación, SmET ha sido definido para cuestiones asociadas con las TIC, pero tras las pruebas, se ha demostrado que también es válido para aplicaciones industriales relacionadas con fabricación aditiva. Aún más, BIMATEM ha sido desarrollado para tecnologías específicas de fabricación aditiva y ha sido probado para otras aplicaciones relacionadas con fabricación aditiva, demostrando así su validez. Basándose en las hipótesis definidas, ninguna de las metodologías las cumple todas. Así, SmET puede clasificar una tecnología de acuerdo con el concepto de TRL, haciendo uso de fuentes de datos gratuitas

(50% de fuentes gratuitas), y es adecuado para aplicaciones tecnológicas industriales y para usar bases de datos gratuitas. Sin embargo, no es capaz de asignar un TRL inequívoco y algunos pasos (por ejemplo, definición de palabras clave) son dependientes de expertos. Atendiendo al análisis de los datos, no hay una conexión clara entre la definición de cada TRL y el análisis realizado de los datos (normalización de los datos, ajuste de la regresión lineal, etc.). BIMAEM sólo satisface las hipótesis asociadas con la clasificación de una tecnología dada según el TRL, y su validez para tecnologías industriales. A pesar de la independencia limitada de la experiencia de los expertos, la normalización de los datos, el ajuste de regresión no lineal, los criterios del TRL basado en el S calculado, etc., es totalmente objetivo y basado en parámetros cuantitativos.

Al margen de las limitaciones, ambas metodologías tienen ventajas que pueden usarse como punto de partida para los desarrollos futuros:

- SmET se basa en un elevado número de bases de datos gratuitas y es adecuada para este tipo de fuentes. Además, es válida para aplicaciones tecnológicas industriales, aunque fue desarrollada para temas TIC.
- BIMATEM ha demostrado ser un enfoque fuerte para determinar el TRL en base a indicadores cuantitativos e incluyendo una descripción exhaustiva del procesamiento de datos y su análisis. Es más, en su origen se desarrolló para tecnologías de fabricación y esto hace que sea una buena base para extenderse a otras aplicaciones industriales.

Por lo tanto, este análisis presenta un marco donde el concepto es el pilar en torno al cual pivota la metodología propuesta. En este sentido, el TRL determinará la madurez de una metodología aplicada en un caso dado y se basará en criterios cuantitativos y fácticos, superando las limitaciones encontradas en las soluciones del estado del arte como resultado del análisis previo.

Por lo tanto, este nuevo enfoque permitirá simplificar la gestión de proyectos de organizaciones de pequeño y mediano tamaño, atendiendo a sus recursos limitados (financiación, personal, tiempo, etc.) y la imposibilidad de tener personal con altas cualificaciones y experimentado en competencias clave (tecnologías objetivo, programación o análisis estadístico, entre otras). Este trabajo propone una herramienta que las ayude durante la selección de sus proyectos tecnológicos mientras planifican sus actividades internas de I+D+i, así como durante la definición de sus estrategias y programas de I+D e innovación en el medio y largo plazo.

El resumen, se sugiere un nuevo enfoque para evaluar la madurez de una tecnología dada, para organizaciones de pequeño y mediano tamaño, considerando sus particularidades:

- Sin dependencia de expertos: la propuesta no dependerá de los comentarios o *feedback* de expertos por lo que se definirá en base a indicadores objetivos y cuantitativos. Esto será posible

gracias a la incorporación de un amplio rango de bases de datos y tipos de fuentes de datos (por ejemplo, redes sociales).

- Número limitado de recursos: las organizaciones objetivo (de pequeño y mediano tamaño) no pueden dedicar muchos recursos a calcular la madurez de una tecnología para los casos de uso seleccionados. En este sentido, la metodología propuesta se basará en fuentes de datos gratuitas y en un enfoque que responda a sus necesidades.
- Resiliencia ante un entorno cambiante: esta aproximación basada en los TRLs, permitirá que las organizaciones puedan rápidamente adaptarse y redirigir su estrategia y plan de decisión (bajos TRLs para abrir nuevas líneas de I+D+i y altos TRLs para fomentar las nuevas líneas de negocio basadas en tecnología). Así, les permitirá hacer frente a crisis repentinas o eventos que puedan ocurrir, como pandemias, basadas en el conocimiento valioso proporcionado por esta herramienta.

## 6 DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN SOBRE LA IMPLANTACIÓN DEL CONCEPTO DE TRL

### 6.1 Objetivo del diagnóstico

Este capítulo detalla el objetivo, metodología y resultados acerca de un diagnóstico de situación realizado para conocer el grado de implantación del concepto de TRL.

El objetivo de este diagnóstico es conocer el potencial grado de aplicación de la metodología propuesta en esta tesis, así como el conocimiento asociado al concepto de TRLs, entre los potenciales usuarios de esta. En la definición inicial de los trabajos, el objetivo era dirigir el uso de esta herramienta principalmente a organizaciones de pequeño y mediano tamaño. Sin embargo, las conclusiones resultantes del análisis crítico de las metodologías cuantitativas existentes (apartado 5.9), es que podría haber otras organizaciones objetivo que, por diversos motivos, no pudieran tener capacidad o infraestructura para invertir en actividades de I+D+i.

Como resultado, el diagnóstico planteado trata de conocer no sólo la situación actual acerca del grado de implantación de los TRLs, sino el potencial grado de aceptación y necesidad de una metodología de este tipo entre las diversas organizaciones que puedan estar llevando a cabo proyectos tecnológicos. En resumen, los **objetivos del diagnóstico** (ODi) son los siguientes:

- **OD1.** Caracterizar las organizaciones y perfil objetivo.
- **OD2.** Conocer el grado de implantación y conocimiento de los TRLs.
- **OD3.** Determinar el grado de aceptación e interés en una metodología basada en TRLs como herramienta para la toma de decisiones estratégicas en la cartera de proyectos de una organización.

Para ello, se desarrolla la metodología y herramienta de diagnóstico descrita en el apartado 6.2, basada en una encuesta, y cuyos resultados se resumen y analizan en el apartado 6.3.

## 6.2 Metodología y herramienta de diagnóstico

Atendiendo a los objetivos definidos anteriormente, se decidió que la mejor manera de llevar a cabo el diagnóstico era realizar una encuesta que se pudiera compartir por medios electrónicos. Para ello, se estructuró la encuesta en dos bloques principales. El primero de ellos, llamado I. Segmentación, destinado a recabar información asociada con el objetivo OD1, mientras que el segundo de ellos, nombrado como II. Información sobre la gestión de la cartera de proyectos tecnológicos, se centra en recoger información asociada con los objetivos OD2 y OD3. Las preguntas asociadas y el flujograma de estas se detallan en la Figura 19 y se presentan brevemente a continuación:

- **I. Segmentación:** incluye preguntas destinadas a recabar información sobre la organización tales como su sector de actividad (pregunta nº1), tamaño (nº2), país (nº4) o si realiza proyectos de I+D+i (nº5). También se pregunta sobre el puesto de la persona que completa la encuesta y que trabaja y/o representa a dicha organización. El detalle de las opciones de respuesta en forma de “Listado de opciones” se muestran en los resultados presentados en el apartado **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**
- **II. Información sobre la gestión de la cartera de proyectos tecnológicos:** recoge información variada, y por ello, se subdivide en cuatro grupos:
  - **II.a. Conocimiento sobre TRL:** se pregunta sobre si conocen el concepto de TRL (nº6) y si les parece interesante (nº7), tras habérselo introducido a aquellos que no lo conocían previamente.
  - **II.b. Uso de TRL:** se consulta si usan los TRLs en su trabajo o los han visto usar (nº8) y si saben cómo se calcula, y en dicho caso, que especifiquen la opción (nº9).
  - **II.c. Cálculo de TRL:** se pregunta acerca de la utilidad de usar métodos basados en el TRL (nº10) y si les encuentra o identifican algún problema o ventaja en su uso (nº11).
  - **II.d. Estrategia y TRL:** por último, se interroga acerca del uso de alguna metodología para clasificar proyectos (nº12), si pudiera ser útil llevarlo a cabo usando el concepto de TRL (nº13) o bien, si desean hacer algún comentario adicional a modo de conclusión (nº14).

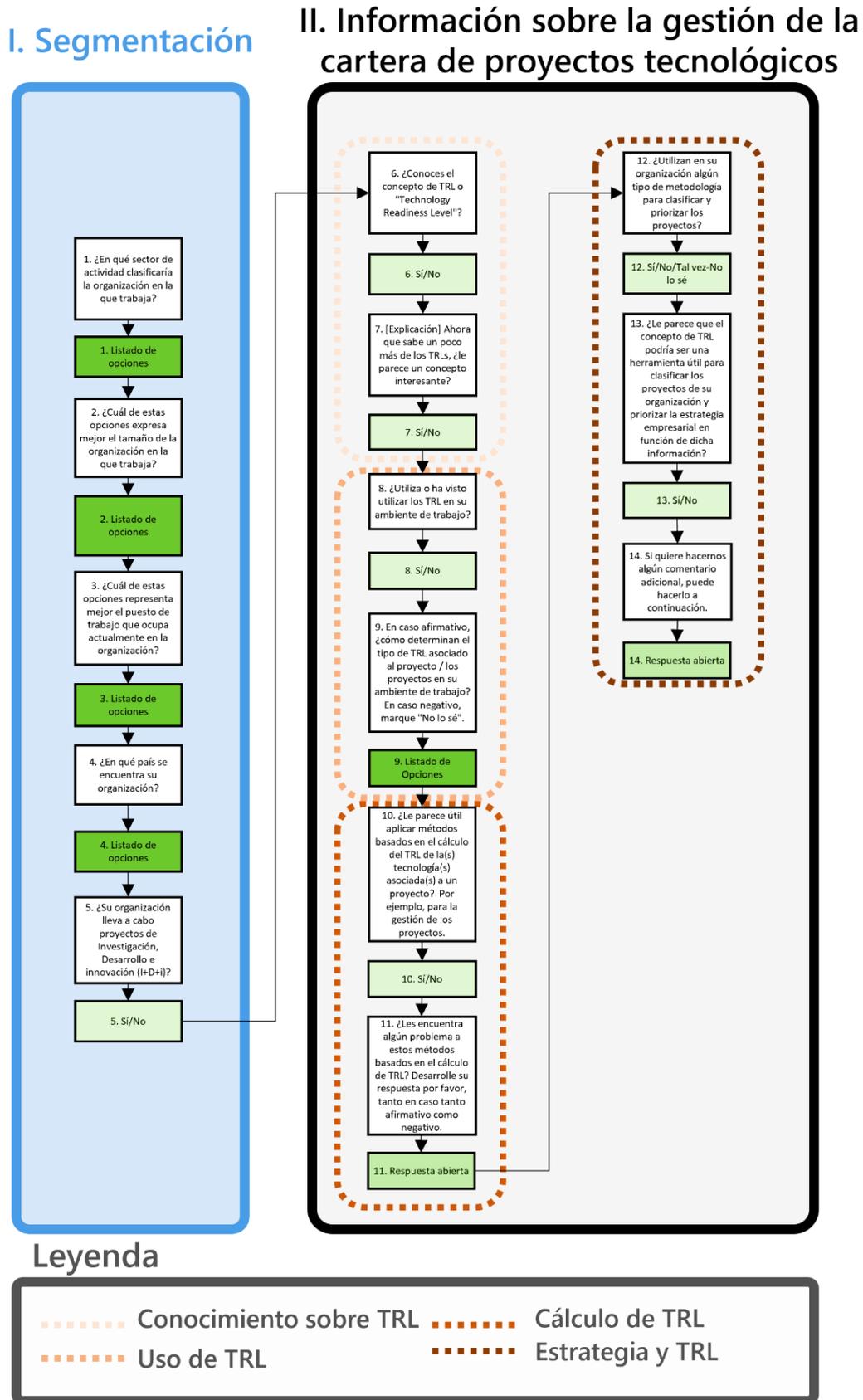


Figura 19. Flujoograma y contenido de la encuesta realizada (Fuente: elaboración propia)

### 6.3 Resultados obtenidos

En este apartado se recogen los resultados obtenidos tras haber logrado que una muestra total de 69 individuos completara la encuesta en alguna de sus versiones (español o inglés).

#### Caracterización de la organización

En lo que respecta al primer bloque de preguntas del cuestionario, este se centra en la **caracterización del perfil de la persona** el cuestionario y **la organización** a la que representa o donde trabaja. En lo que respecta al **sector de actividad** de entidad (Figura 20), destaca que la mayoría de los encuestados pertenecen a la Industria (29%), seguidos de Consultoría (23%), I+D (22%), Enseñanza (14%) y Servicios (12%).

*¿En qué sector de actividad clasificaría la organización en la que trabaja?*

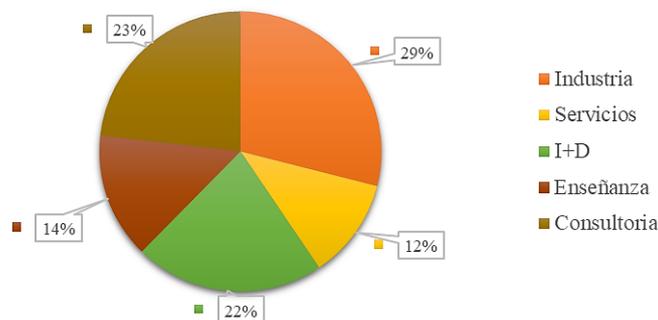


Figura 20. Sectores de actividad de las entidades encuestadas (Fuente: elaboración propia)

En cuanto al **tamaño** de dichas organizaciones, la Figura 21 muestra que mayoritariamente son Gran empresa (42%), seguidas de Universidad o Centro Tecnológico (28%), PYME (15%), *Start-up, spin-off* y/o micro - empresa (6%), Administración pública (4%) y ONG (1%).

*¿Cuál de estas opciones expresa mejor el tamaño de la organización en la que trabaja?*

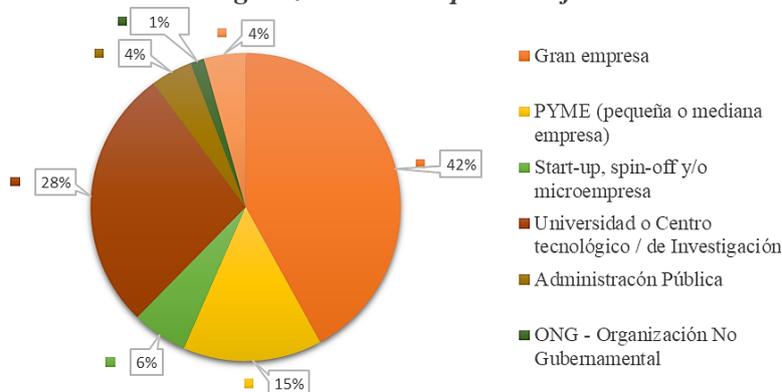


Figura 21. Tamaño de las entidades encuestadas (Fuente: elaboración propia)

En cuanto al **puesto desempeñado** por la persona que se encarga de responder al cuestionario y que representa o trabaja en la organización referida anteriormente, en su mayoría corresponden a mandos intermedios como “Directivo intermedio / Jefe de equipo / Jefe de proyecto” (57%), seguidos del perfil de “Técnico / Investigador” (33%) y por último, de “Alta dirección/gerencia” (10%). Todo ello se muestra en la Figura 22.

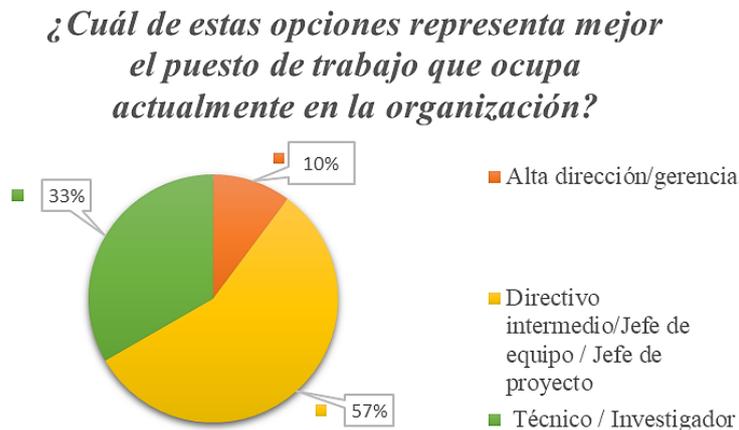


Figura 22. Puesto que ocupa la persona que cubre el cuestionario en la organización (Fuente: elaboración propia)

En cuanto a la **zona geográfica** en la que se localizan las organizaciones encuestadas, destacan en su mayoría Estados Miembros de la Unión Europea (Figura 31). En particular, España en primer lugar con un 88% de representación, seguidos por otros países de América del Norte (3%), Italia, Francia y Alemania (con un 2% cada uno) así como Dinamarca, Luxemburgo y Austria (con un 1% cada uno).

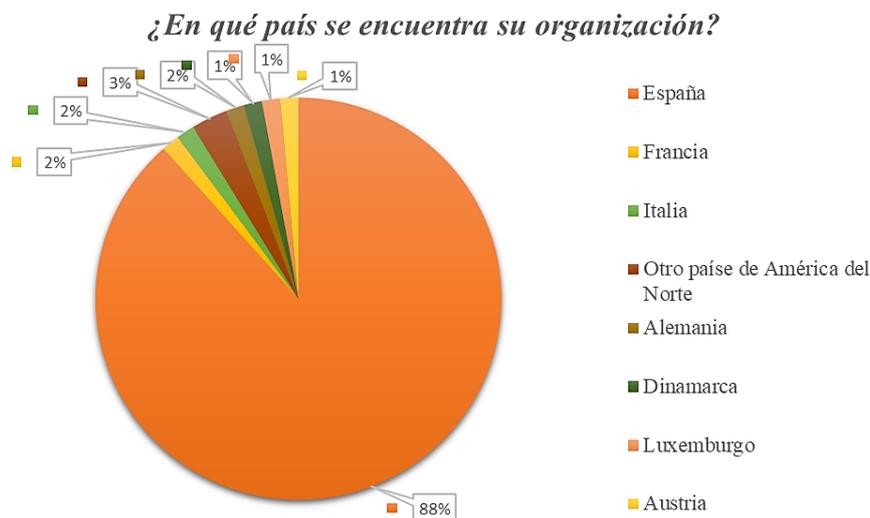


Figura 23. País en el que se encuentra la organización (Fuente: elaboración propia)

Además, la inmensa mayoría de las organizaciones encuestadas (90%) realizan **actividades de I+D+i** tal y como se deduce de la Figura 24.

*¿Su organización lleva a cabo proyectos de Investigación, Desarrollo e innovación (I+D+i)?*

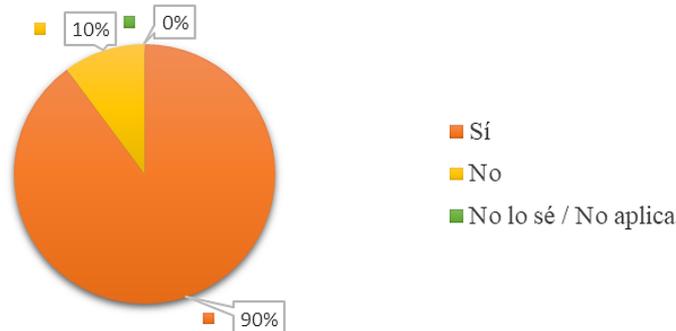


Figura 24. Organizaciones donde se llevan a cabo actividades de I+D+i (Fuente: elaboración propia)

Información sobre la gestión de la cartera de proyectos

En esta segunda sección, se presenta información relacionada sobre la gestión de proyectos y su relación con el concepto de TRL. En este sentido, en primer lugar, se estudia el **conocimiento y relevancia del TRL** en dichas organizaciones. La Figura 34 muestra que un 67% de los encuestados conocía previamente lo que eran los TRLs. Ahora bien, una vez explicado lo que es el concepto de TRLs, el 100% de los encuestados (tanto los que los conocían previamente, como los que no), consideran que es un concepto interesante.

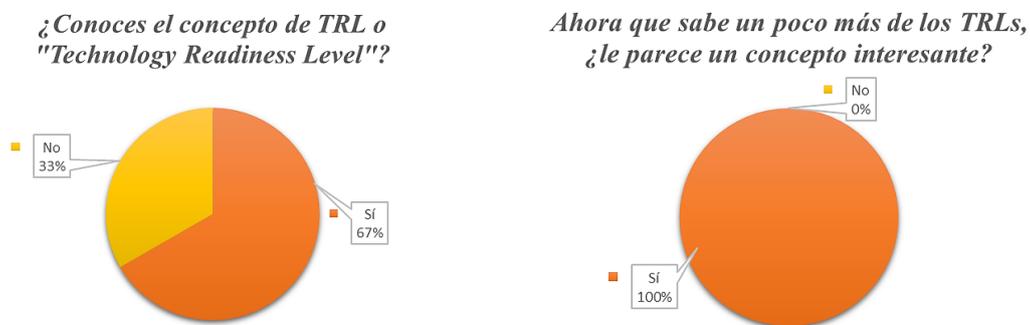


Figura 25. Conocimiento (izqda.) y relevancia (dcha.) del TRL en las organizaciones encuestadas (Fuente: elaboración propia)

Igualmente se analiza el **amplio uso y potencial de aplicación** de los TRLs en las organizaciones encuestadas tal y como se muestra en la Figura 26. De este modo, se observa que el 62% de los encuestados afirma utilizar o haber visto utilizar los TRLs en su ambiente de trabajo, frente al 38% que afirma no haberlo visto usar. Adicionalmente cabe destacar que aquellos que saben cómo se calculan los TRLs en su ambiente de trabajo (aquellos que han respondido diferente a “No lo sé” en la Figura 36), se les ha preguntado sobre la utilidad de aplicar métodos basados en el cálculo de TRLs para las tecnologías asociadas a un proyecto, y el 100% de los mismos lo han considerado de gran utilidad.

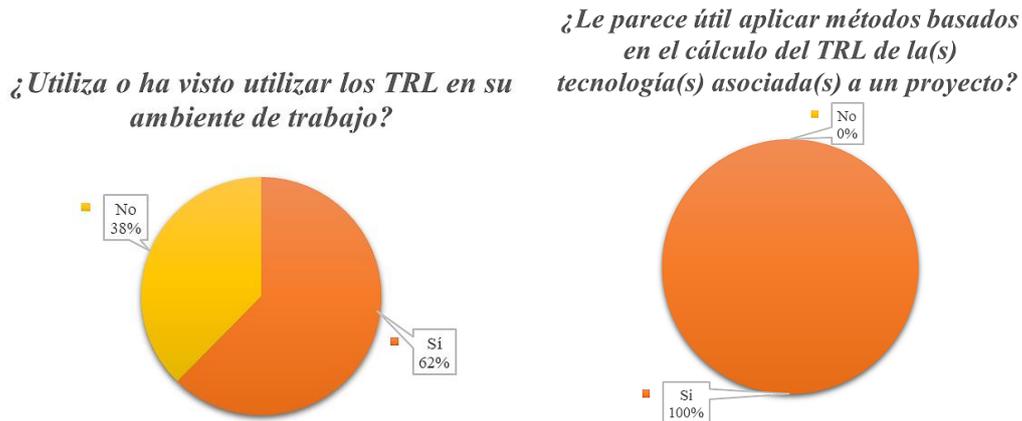


Figura 26. Uso (izqda.) y aplicación (dcha.) del TRL en las organizaciones encuestadas (Fuente: elaboración propia)

En la Figura 36 se muestran los **modos más habituales de cálculo de los TRLs** en las organizaciones objetivo si bien casi la mitad de los encuestados no saben cómo se calcula (42%), en aquellos que lo saben, destaca el juicio de expertos como método prioritario (46%), seguido de métodos cuantitativos (9%) y hojas de cálculo cualitativas (3%).

¿Cómo determinan el tipo de TRL asociado al proyecto / los proyectos en su ambiente de trabajo?

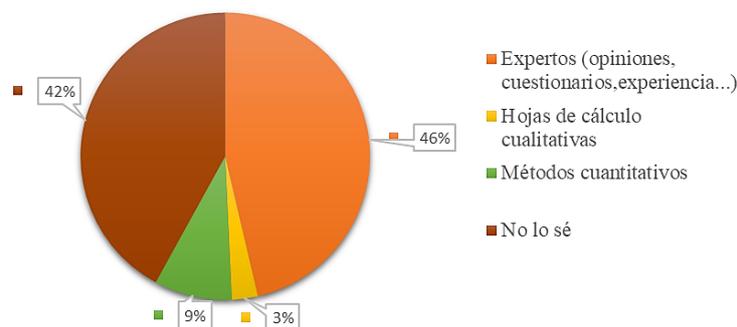


Figura 27. Modos de determinar el TRL en las organizaciones encuestadas (Fuente: elaboración propia)

Adicionalmente, se les ha preguntado sobre **problemas (Pi)** que hayan identificado **en el uso de estos métodos de cálculo de los TRLs**, y las principales tendencias encontradas en las respuestas son:

- P1. Subjetividad y falta de robustez:** hay una inmensa mayoría de los encuestados que subraya una interpretación subjetiva y que, en ocasiones, esto afecta a la robustez del método ya que hace que se adapte este TRL a la necesidad en cuestión según lo que se requiera en ese momento según diversos motivos (por ejemplo: presión del equipo comercial, requisitos de los programas de financiación, características del sector, etc.). Algunos de ellos reconocen que se basan en su propia experiencia para determinarlos, pero no descartan que pueda haber otros métodos que acierten mejor con el TRL. Además, se indica de nuevo, la falta de robustez, ya que en función del método usado podría cambiar el alcance (es decir, el valor del TRL identificado). Asimismo,

se destaca que si el TRL no se determina correctamente, este puede ser un problema más que una solución.

- **P2. Desconocimiento de métodos de cálculo:** en otras ocasiones, no se sabe realmente cuál es el método usado para su cálculo y, por tanto, para determinar el valor de cada TRL. O bien no se ha hecho un estudio exhaustivo de las opciones disponibles y por tanto no se sienten cómodos a la hora de responder sobre la pregunta.
- **P3. Ausencia de consenso y complejidad en su aplicación:** hay varias reflexiones de quienes indican que, cuando se aplican métodos cualitativos, existe dificultad para establecer diferencias entre ciertos niveles de desarrollo e innovación (por ejemplo, en el rango TRL6-TRL8). Afirman que en la actualidad se usan métodos empíricos para determinarlo. Además, aquellos que trabajan con TRLs elevados, indican que no conoce a nadie que sepa distinguir entre TRL7 y TRL8 y que en general, lo que se hace, es hablar de TRLs medios y altos.
- **P4. Definición demasiado generalista y ausencia de una solución universal:** una de las cuestiones que se resaltan es el hecho de que la dificultad radica en disponer de una herramienta de definición o cálculo de un TRL universal ya que, en la actualidad, tal y como se indica, se realiza por aproximación. En esta misma línea, se resalta el hecho de que la generalización del método a diferentes campos de I+D+i es una limitación adicional. Por ejemplo, se resaltan las grandes diferencias entre campos más experimentales o de laboratorio como química o biología, comparada con ingeniería, software o ingeniería de construcción. Son varios encuestados los que mencionan la complejidad de asignar el TRL a un proyecto de desarrollo IT/software.
- **P5. Dificultad para adaptarlo en el equipo:** en este caso, se indica que es un concepto difícil de adaptar o de ser usado por el equipo, si dentro del equipo no se dispone de un conocimiento maduro del concepto.
- **P6. Falta de consideración de otros conceptos:** también se indica que es importante no trabajar de forma aislada con el concepto de TRL, y usar otros como el de BRL ya que, en función de la tecnología puede ser un concepto más representativo. En función del proyecto y el impacto esperado para la empresa se debería trabajar sobre uno o sobre otro.

En cuanto a los **beneficios identificados** (Bi) por los encuestados, destacan los siguientes:

- **B1. Solidez:** se indica que puede ser un método que aporte solidez a la hora de realizar la clasificación del estado de madurez de una tecnología asociada a un proyecto.
- **B2. Acceso a inversión:** puede validar el tiempo de llegada al mercado y, por tanto, ayudar a conseguir inversión.

- **B3. Interés en la existencia del método:** se recalca que el modo en cómo establecer las variables sobre las que construir un modelo estándar aplicado a cualquier producto susceptible de ser analizado, puede ser de interés.
- **B4. Relevancia en el uso del TRL para gestionar proyectos:** varios encuestados resaltan que, efectivamente, el TRL es un método que puede apoyar a los proyectos es decir una medida para describir el estado de desarrollo o madurez de una tecnología en los proyectos.
- **B5. Exactitud no obligatoria:** hay quienes abogan en que, al no ser una cuestión de exactitud, no hace falta disponer de un gran consenso en la metodología.

Casi la mitad de los encuestados (49%) indica que en sus organizaciones se utilizan **métodos de clasificación y priorización de proyectos** si bien poco más de un cuarto (26%) no lo aplica y el resto no lo sabe, tal y como muestra la Figura 28.

*¿Utilizan en su organización algún tipo de metodología para clasificar y priorizar los proyectos?*

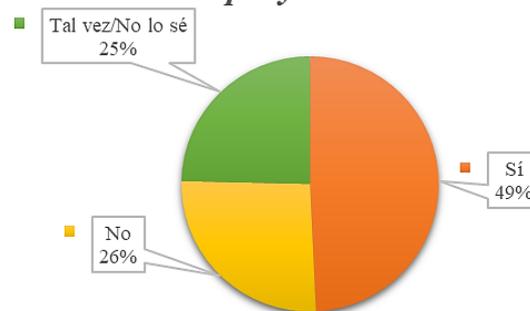


Figura 28. Métodos de clasificación y priorización de proyectos utilizados en las organizaciones encuestadas (Fuente: elaboración propia)

Cuando se les pregunta si el concepto de **TRL** podría ser interesante **como herramienta para clasificar los proyectos de la organización y priorizar la estrategia empresarial**, la inmensa mayoría de los encuestados (81%) cree que sí. En esta misma línea se les ha pedido información adicional sobre esta idea y algunas de las principales conclusiones se recopilan tras la siguiente figura.

*¿Le parece que el concepto de TRL podría ser una herramienta útil para clasificar los proyectos de su organización y priorizar la estrategia empresarial en función de dicha información?*

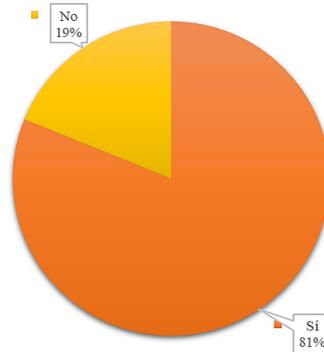


Figura 29. Potencial del TRL como método de clasificación y priorización de proyectos como parte de la estrategia empresarial (Fuente: elaboración propia)

A modo de resumen, las **conclusiones (Ci)** que han dejado algunos de los encuestados son:

- **C1. Importancia e interés del TRL como parte de la estrategia de I+D+i:** ciertos encuestados resaltan que el TRL es muy importante para la definición de la estrategia de I+D+i, ya que es una herramienta que permite diversificar la cartera de proyectos, así como priorizarlos, en función del grado de madurez y proximidad al mercado. También destacan que no debe ser la única herramienta que se debe utilizar para el desarrollo estratégico. Indican que, aunque no lo usan, creen que podría ser una solución interesante, o bien, que se podría crear una herramienta que por medio de una serie de preguntas calcule el TRL, sabiendo así el TRL asociado al proyecto.
- **C2. Necesidad de considerar las necesidades de mercado o de las organizaciones** en línea con lo anterior, hay quienes resaltan de utilizar el concepto de BRL o *Business Readiness Level*. Igualmente, hay quien resalta que la priorización de los proyectos se basa más en la estrategia y los planes comerciales de la compañía que en los conceptos de graduación de la innovación (por ejemplo, en el caso de un clúster o asociación empresarial). También se resalta que la priorización se hace en base a necesidad o peticiones de clientes.
- **C3. Falta de alineación entre las políticas públicas de I+D+i y las exigencias de los equipos universitarios:** desde el punto de vista de las universidades, destacan que estas se enfocan en los niveles de TRL más bajos y que es en base a ellos (por ejemplo, fomento de la investigación por medio de publicaciones científicas) en torno a las que reciben los incentivos. En cambio, las autoridades políticas y la sociedad indican que deberían realizar más transferencia tecnológica. En este sentido, se realizó una convocatoria piloto en 2019 para valorar como incentivo, el trabajo de transferencia del profesorado universitario español, pero no se ha dado continuidad a esta iniciativa, y aparentemente no se ha incorporado en los métodos de evaluación. O bien se

exigía demostrar capacidad investigadora para poder aspirar a este piloto que evaluaba aspectos como la transferencia tecnológica.

- **C4. Dificultad de adaptación y comprensión del concepto:** También se indica la complejidad de que los perfiles puramente comerciales entiendan este concepto y la escala gradual, ya que ellos normalmente se orientan al TRL más alto.
- **C5. Limitaciones de su uso e implantación en el mundo real:** complementando lo indicado en la C2, se indica que la priorización de los proyectos se realiza conforme a los plazos, justificaciones y/o entregas.

## 6.4 Análisis de resultados

En este apartado se realiza un análisis de los resultados presentados anteriormente desde el punto de vista del diagnóstico de situación y su efecto en la metodología propuesta en el marco de esta tesis. Dicho análisis se hará en torno a los siguientes puntos, alineados con los objetivos del diagnóstico: Caracterización de los potenciales usuarios de la metodología; Conocimiento y grado de implantación del concepto de TRL y Grado de aceptación e interés en una metodología basada en TRLs como herramienta para la toma de decisiones estratégicas en la cartera de proyectos de una organización.

### Caracterización de los potenciales usuarios de la metodología

Se ha comprobado que tanto el **sector público como el privado** están interesados en este tipo de soluciones, y sin una inclinación notable por un sector particular ya que Industria cuenta con un 29%, Consultoría un 23% e I+D un 22%, seguidos de cerca por Enseñanza con 14% y Servicios con un 12%. Sobre el **tamaño** de las organizaciones interesadas se cuenta mayoritariamente con Gran empresa (42%), seguidas de Universidad o Centro Tecnológico (28%), PYME (15%), *Start-up, spin-off* y/o micro - empresa (6%), Administración pública (4%) y ONG (1%). Y la localización geográficamente es mayoritariamente en los Estados Miembros de la Unión Europea (97%) siendo sólo España el 88% del país de origen de los encuestados. Además, la inmensa mayoría de las organizaciones encuestadas (90%) realizan **actividades de I+D+i**.

En cuanto al **puesto desempeñado** por la persona que se encarga de responder al cuestionario mayoritariamente corresponde a puestos intermedios con un 57%, seguidos de técnicos o investigadores con un 33% y, por último, alta dirección o gerencia con un 10%.

### Conocimiento y grado de implantación del concepto de TRL

Uno de los aspectos más relevantes es que el 67% de los encuestados, conocía los TRLs previamente y que todos ellos, una vez explicado el concepto (especialmente para aquellos que no lo conocían), el 100% de los encuestados consideran el TRL como un concepto interesante.

También se puede indicar que un porcentaje relevante de los encuestados (62%) utiliza o ha visto utilizar los TRLs en su organización. Es decir, el concepto de **TRL no es extraño** en más de la mitad de las organizaciones encuestadas. Incluso todos aquellos que no han visto utilizarlos en su organización, los consideran de gran utilidad.

En cuanto al método de cálculo de los TRLs, cabe destacar que el 42% no conoce cómo se realiza el cálculo mientras que como método más relevante destaca el **juicio de experto** con un 46%, seguido de lejos por otras alternativas como métodos cuantitativos (9%) y hojas de cálculo cualitativas (3%).

#### Grado de aceptación e interés en una metodología basada en TRLs como herramienta para la toma de decisiones estratégicas

Prácticamente el 50% de los encuestados indica que en sus organizaciones se aplican **métodos de clasificación y priorización de proyectos**, y la otra mitad o no lo aplica (26%) o no sabe cómo se lleva a cabo (25%). Independientemente de esto, el 81% cree que el concepto de TRL podría ser una buena herramienta para clasificar los proyectos de la organización y priorizar la estrategia empresarial.

#### Resultados del diagnóstico

Con todo ello, los **principales resultados del diagnóstico (RD<sub>i</sub>)** son:

- **RD1. Mayor variedad de organizaciones y perfiles objetivos:** se ha comprobado que, en principio, el tipo de usuarios objetivo puede ser mayor que el inicialmente previsto ya que no son únicamente las organizaciones de pequeño y mediano tamaño las que podrían estar interesadas en este tipo de metodología.
- **RD2. Amplio uso de TRLs en las organizaciones:** se ha podido comprobar que el concepto de TRL es algo que ya se usa de manera habitual en las organizaciones y que, en mayor o menor medida, lo aplican.
- **RD3. Juicio de expertos es el método mayoritario de cálculo:** al igual que se ha encontrado en la bibliografía, y como una de las hipótesis de partida, se ha comprobado que el juicio de expertos sigue siendo el método más utilizado en lo que respecta al cálculo de TRL.
- **RD4. Potencial del TRL y ventajas relacionadas con el uso de TRLs como método de cálculo:** se han identificado una serie de ventajas asociadas con el uso de los TRLs, tales como:
  - *Solidez y acceso a inversión:* aporta solidez al aplicar un concepto estándar que es comprensible en el ámbito de la I+D+i y que ya está abalado por décadas de uso desde su origen en la NASA. En esta misma línea, facilita el acceso a la inversión ya que permite determinar el estado de madurez tecnológica en el que se encuentra y, además,
  - *Interés en la existencia del método y relevancia en el uso del TRL para gestionar proyectos:* para calcular el TRL, es una ventaja identificada y cuya necesidad está

latente. En la misma línea, la importancia del TRL para gestionar proyectos, también se reconoce fácilmente.

- *Importancia e interés del TRL como parte de la estrategia de I+D+i:* el concepto de TRL se ha reconocido como esencial para ser aplicado en la estrategia de I+D+i de las empresas, pero también en las políticas públicas de I+D+i para poder alinear las exigencias del equipo investigador (universitario, por ejemplo), con el objetivo de potenciar la transferencia de conocimiento.
- *Exactitud no obligatoria:* indican que, en principio, tampoco se requiere una exactitud extrema de los TRLs sino que trabajar con rangos puede ser suficiente. De hecho, hay quienes comentan que al ser tan difícil cuantificar los TRLs más altos (rango de TRL6-TRL8) que se suele hablar en términos generales sobre “TRLs medios” o “TRLs altos”.
- **RD5. Problemas relacionados con el uso de TRLs como método de cálculo:** también se han podido identificar una serie de problemáticas existentes en la actualidad sobre el uso del TRL como método de cálculo:
  - *Subjetividad y falta de robustez:* una de las principales cuestiones es que el cálculo de los TRLs se hace por medio de juicio de expertos y esto implica una gran subjetividad, y en ocasiones falta de robustez ya que como los propios encuestados reconocen la diferencia entre ciertos niveles no es sencilla.
  - *Desconocimiento de métodos de cálculo:* además de lo que se traduce de los propios resultados de la encuesta, son varios encuestados quienes reconocen no saber el método de cálculo aplicado para determinar los TRLs. Esto denota una falta de transparencia probablemente motivada por una ausencia de claridad o conocimiento de las bases de los criterios de cálculo.
  - *Ausencia de consenso y complejidad en su aplicación:* consecuencia del punto anterior, se ha identificado que la ausencia de consenso en la definición del TRL (es cierto que, según el campo de aplicación o referencia, la descripción de TRL varía, por ejemplo, si se usan las descripciones de la NASA originales y/o ajustadas o las propuestas por la Comisión Europea, que, por ejemplo, en España, suelen ser una réplica directa en la mayoría de las ocasiones, pero no siempre). Por otro lado, esto lleva a que su aplicación sea muy compleja, en parte, resultado de lo anterior.
  - *Definición demasiado generalista y ausencia de una solución universal:* por un lado, se resalta que las definiciones son demasiado generalistas y no siempre es sencillo aplicarlo en el caso tecnológico y/o de aplicación objeto de estudio. Por otro lado, como ya se adelantaba previamente, la ausencia de una solución universal es una complejidad añadida.

- *Dificultad para adaptarlo en el equipo y para ser comprendido:* como puede ocurrir con ciertos planteamientos “rupturistas” o diferentes a lo establecido (por ejemplo, la adopción de metodología ágiles como *Scrum Master* en un equipo u organización), la adopción del concepto de TRL en el equipo conllevará un tiempo de evangelización y transición, pues no siempre es sencillo de comprender. Especialmente si el equipo no está familiarizado con la I+D+i. También ciertas actividades de evangelización podrían ser de utilidad. En realidad, esto indica que existen diversas limitaciones para su implantación en el mundo real.
- *Falta de consideración de otros conceptos:* son varios encuestados los que abogan por incluir las necesidades de mercado y el concepto de BRL o *Business Readiness Level* y evitar así utilizar el concepto de TRL de forma aislada.

Todos estos resultados son considerados en las conclusiones de la tesis para analizar el potencial y las deficiencias de la metodología, en tanto en cuanto esta responda o no, a estos puntos resultantes del análisis.

# 7 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

## 7.1 Establecimiento de requisitos

Tras haber analizado el estado del arte, y realizar un diagnóstico de situación, tal y como se ha indicado anteriormente, y determinado las deficiencias encontradas, se ha trabajado en definir y desarrollar una metodología que solvente dichas limitaciones al mismo tiempo que responda a las hipótesis de partida (o requisitos) que debe cumplir la misma.

Los **requisitos** (Ri) de la metodología propuesta, son:

- R1. Capacidad de clasificación de los TRL para una tecnología dada: la metodología puede clasificar la tecnología en función del concepto de TRL. Nótese que trata de determinar el TRL de una tecnología en el tiempo presente por dos motivos principales: a) Disponibilidad de información y b) Es el paso previo a la decisión estratégica sobre las prioridades de la cartera de proyectos de una organización de pequeño o mediano tamaño.
- R2. Univocidad de TRL o Asignación inequívoca de TRL: la metodología proporciona un TRL claro para una tecnología dada en un campo de aplicación específico en un momento concreto de tiempo.
- R3. Operatividad aplicando fuentes de datos gratuitas para la búsqueda: la metodología se basa en el uso de fuentes de datos gratuitas o de acceso abierto para crear sus bases de datos.
- R4. Usabilidad en un amplio rango de aplicaciones relacionadas con tecnologías industriales: la metodología es válida para aplicaciones relacionadas con una pluralidad de tecnologías, entre las que destacan, por su especial relevancia las KETs por sus siglas en inglés *Key Enabling Technologies*, definidas por la Comisión Europea como aquellas que ayuden a la industria europea (European Commission, 2024m). Nótese que atendiendo a la premisa de determinar tecnologías actuales, algunas de ellas (por ejemplo para el caso de validación de la metodología desarrollada) han debido ajustarse a la situación actual de estas ya que el entorno tecnológico ha evolucionado o bien la propia Comisión Europea las ha

ido actualizando (European Commission, 2024m) siendo algunas de las actuales fabricación avanzada o inteligencia artificial.

- R5. Procedimiento cuantitativo y no dependiente del conocimiento de expertos: no hay necesidad de ser un experto en la materia tecnológica en cuestión para usar esta metodología.
- R6. Procedimiento semiautomático: la solución proporcionada será una alternativa semiautomática, minimizando, en la medida en que sea posible, las interacciones de los usuarios para calcular el TRL y, por tanto, aportando agilidad.

Con estas premisas, en los siguientes apartados se detalla la metodología desarrollada en mayor detalle.

## 7.2 Visión general de la metodología

### 7.2.1 Cambio de paradigma

La metodología propuesta se basa en un **cambio de paradigma** establecido, en base a la propia definición de la escala de TRLs. Como resulta evidente de la propia definición de los niveles en la escala TRL, la tecnología avanza de un nivel al siguiente de forma lineal, pasando por todos los niveles intermedios. Sin embargo, las metodologías cuantitativas revisadas en el capítulo 5 consideran cada TRL como escalones aislados, sin tener en cuenta la relación entre cada uno de ellos con el siguiente. Esto es especialmente apreciable en la metodología SmET, propuesta por Abercrombie. La hipótesis que se plantea es que, para definir la nueva metodología, se asuma que no se salta de nivel, sino que un estado previo está incluido en el inmediato superior, y por tanto es una evolución gradual. Este planteamiento constituye la hipótesis de partida que se opone a la propuesta por otros autores, que aísla cada nivel cuando se aborda su determinación por vía cuantitativa (lo que representaría la antítesis de lo aquí planteado). De esta manera, y desde un punto de vista teórico acerca de la evolución a lo largo de la escala de TRLs, al TRL9 se llega porque se han alcanzado los TRLs anteriores, pero en este último nivel, tienen más relevancia unos aspectos (por ejemplo, aquellos asociados con el mercado y disponer de un producto) que otros más asociados con la investigación (como es el caso de los artículos). La Figura 30 esquematiza de manera visual esta aproximación, en la que se basa de la metodología propuesta y detallada ampliamente en los siguientes apartados.

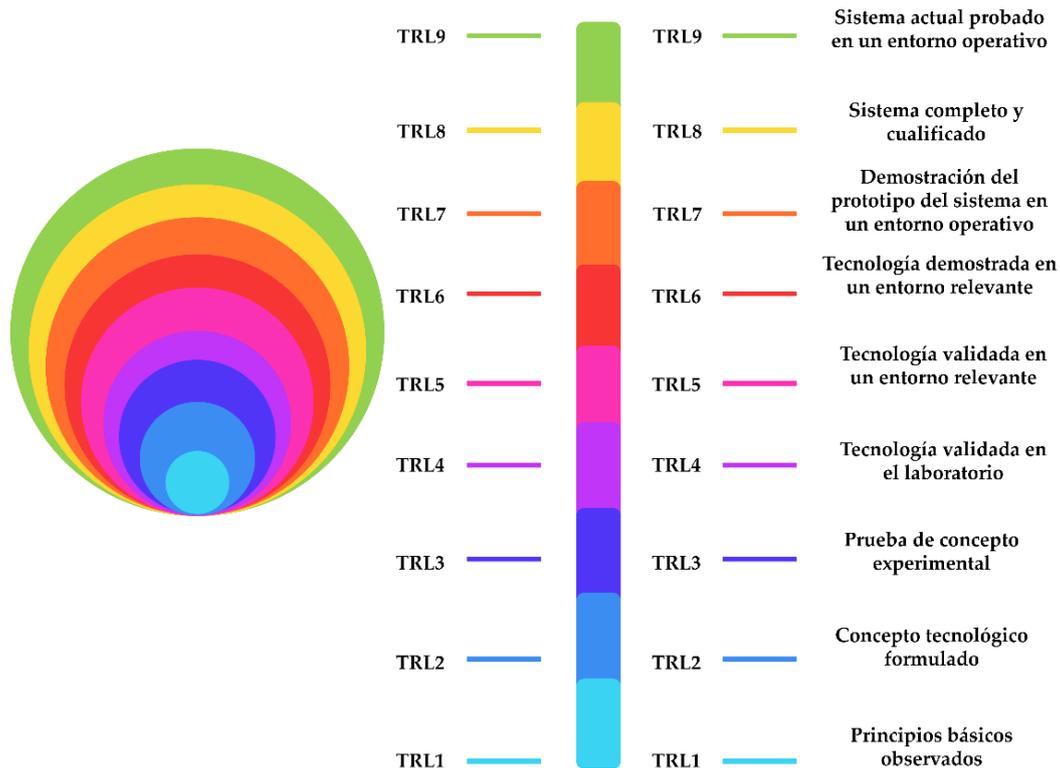


Figura 30. Esquema sobre el cambio de paradigma: escala de “evolución gradual” de TRL - propuesta (izqda.) y escala de “niveles” de TRL – tradicional (dcha.) (Fuente: elaboración propia)

### 7.2.2 Cerebro o núcleo de la metodología

Basándose en las características anteriores y con el propósito de mejorar las metodologías existentes en el estado del arte, se ha desarrollado una metodología para calcular el nivel de TRL asociado a una tecnología en un ámbito de aplicación dado en un determinado momento. Para determinar este nivel de TRL asociado, la metodología asigna el cumplimiento de una serie de criterios para cada uno de estos niveles. Estos criterios, a su vez, vienen determinados en función de los valores que adquieren uno o varios indicadores que son cuantificados en función de los resultados obtenidos tras llevar a cabo diversas búsquedas por medio de palabras clave, en lo que se conoce como cerebro o núcleo de la metodología. Este cerebro consta de diversos módulos en función de las bases de datos que utiliza e información sobre la que realiza las búsquedas (artículos científicos, patentes, proyectos, etc.) tal y como se resume en la Figura 31.

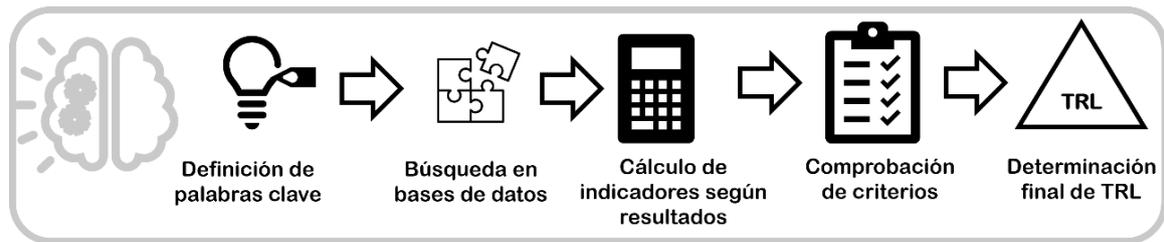


Figura 31. Vista general del cerebro de la metodología (Fuente: elaboración propia)

El cerebro se encuentra estructurado en cinco módulos donde cada uno de ellos, llevará asociados una serie de indicadores. A su vez, cada uno de estos módulos tendrá un mayor o menor peso en función del TRL a determinar o lo que es lo mismo, y si éste se encuentra en la etapa de investigación, desarrollo o innovación. Desde un punto de vista simplificado, la esencia de la metodología es la de permitir relacionar la información de uno o más módulos para calcular cada uno de los TRL de la escala mencionada anteriormente. Es decir, TRLs más bajos se asocian a actividades investigación, TRLs intermedios se asocian a desarrollo y los TRLs más elevados de la escala, se encuentran asociados con innovación e incluso muy próximos ya a mercado (Figura 32). Por lo tanto, el peso e importancia de cada módulo diferirá en función del estado en el que esté.

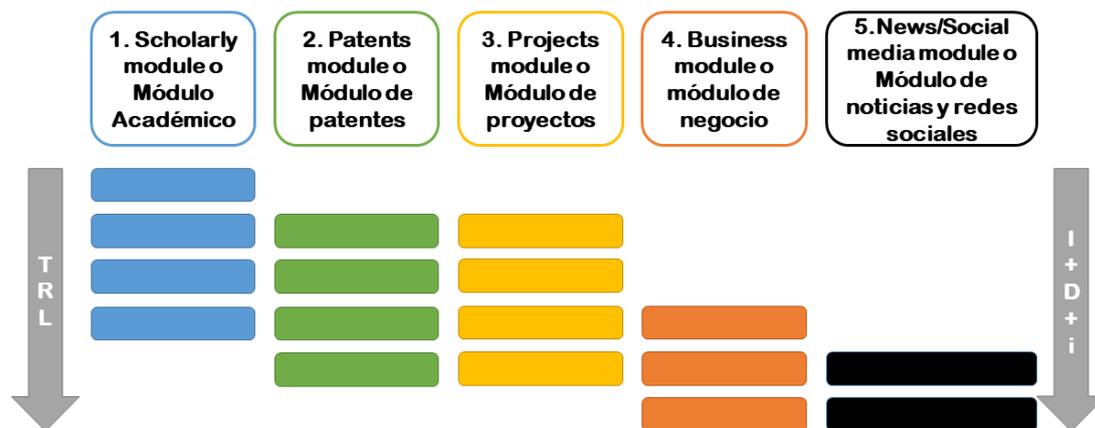


Figura 32. Esquema general de los módulos de la metodología a lo largo de la escala de TRLs y actividades de I+D+i (Fuente: elaboración propia)

Atendiendo al detalle de la metodología desarrollada, la Figura 33 muestra de manera visual y simplificada de los módulos que intervienen para calcular los diferentes rangos de TRL, atendiendo a la clasificación a nivel nacional (de Aldecoa Quintana, 2021)(de Aldecoa Quintana, 2021): 1. Investigación (TRL1-4), 2. Desarrollo (TRL5-6) y 3. Innovación (TRL7-9). Para cada uno de estos TRLs se indica el módulo o módulos que participan y su relevancia a la hora de realizar el cálculo final.

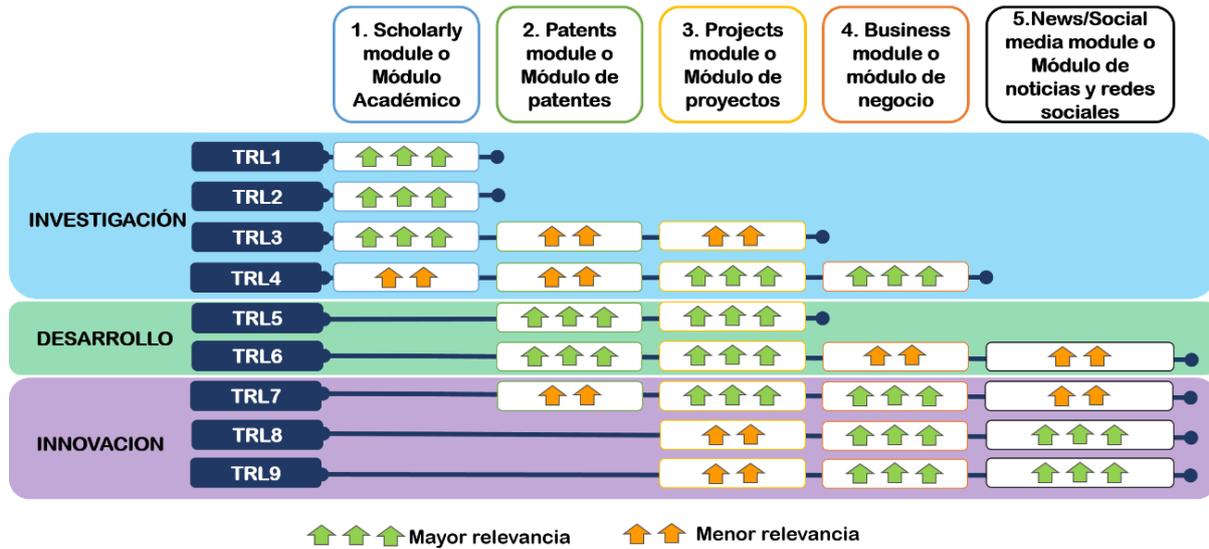


Figura 33. Esquema simplificado sobre la relación de los módulos de la metodología a lo largo de la escala de TRLs y actividades de I+D+i (Fuente: elaboración propia)

Es importante comprender la finalidad e información a extraer de cada uno de los módulos que integran la metodología propuesta. Como ya se ha adelantado, la metodología cuenta con cinco módulos denominados como sigue:

1. **Scholarly module o Módulo académico:** este módulo identifica aquella información sobre la tecnología objeto de estudio que se puede encontrar en artículos científicos. Esta información puede ir desde los propios artículos científicos, los autores, el número de citas e incluso, en los más recientes, el origen de la financiación (Programa) y/o nombre del proyecto asociado. El origen de la financiación, especialmente si es de carácter público, es obligatorio y en ciertos casos puede incluso ayudar a ir aguas arriba para poder indagar más sobre el TRL de partida y llegada asociado indicado en el programa. Esto sucede de manera clara en Programas Europeos de financiación pública de I+D+i como son Horizonte 2020 y Horizonte Europa.
2. **Patents module o Módulo de patentes:** este módulo identifica las solicitudes de patentes y/o patentes aprobadas sobre una tecnología objeto de estudio. La información asociada que se puede obtener es la patente y su estado (solicitud o aprobada) e incluso el IPC o *International Patent Classification*. Este IPC (World Intellectual Property Organization, 2023) se estableció en el Acuerdo de Estrasburgo de 1971 y proporciona un sistema de clasificación de patentes y modelos de utilidad para que puedan clasificarse según diversos tipos de tecnología. Estos códigos se renuevan el 1 de enero de cada año. La principal limitación del concepto de IPC para esta metodología es que se requiere ser un experto en la materia para conocerlos en detalle.
3. **Projects module o Módulo de proyectos:** este módulo se encarga de identificar los proyectos de I+D+i desarrollados en torno a la tecnología objeto de estudio. Como resultado, la información que se busca se corresponde con los proyectos de I+D+i asociados a dicha

tecnología, la clasificación o rango de TRLs de los que se parte y a los que previsiblemente se llega o se llegará, además del nivel de madurez de las innovaciones (resultados) que serán desarrollados dentro de dicho proyecto, tal y como lo establece la metodología propia de la Comisión Europea *Innovation Radar* (descrita en el capítulo 2). Esta metodología define estos cuatro niveles de madurez de las innovaciones (usando su propia terminología en inglés):

- a. ***Market Ready***: Son tecnológicamente maduras y muestran un alto compromiso del consorcio del proyecto para llevarlas al mercado. Se indica que se consideran "listas para el mercado". Por tanto, a partir de esta redacción, la autora considera que se encuentra en un rango TRL8-9.
  - b. ***Tech Ready***: Progresan dentro del desarrollo tecnológico (es decir, pilotos, prototipos, demostración) y para capitalizar el potencial de estas innovaciones, el equipo gestor del proyecto debe centrar sus esfuerzos en transformar esta nueva tecnología o desarrollos de investigación en un producto o servicio que se pueda llevar a mercado y preparar así, su comercialización. Por tanto, la autora considera que se encuentra en un rango TRL5-6-7
  - c. ***Business ready***: Ya se han llevado a cabo trabajos orientadas a llevarlos a mercado, tales como estudios de mercado, planes de negocio a implicación de los usuarios finales. Se consideran avanzadas desde el punto de vista de su preparación para entrar en mercado, pero dependen del progreso tecnológico. Por tanto, la autora considera que se encuentra en un rango TRL7-8.
  - d. ***Exploring***: Se encuentran explorando de forma activa oportunidades para crear valor. Estas están en fases tempranas de madurez tecnológica pero las organizaciones que los desarrollan tienen un gran nivel de compromiso. Alternativamente, esta categoría incluye ideas orientadas a mercado muy concretas donde aún hay mucho camino por recorrer desde el punto de vista del proceso de desarrollo tecnológico. Por tanto, la autora, en base a su experiencia y tras consulta con expertos, considera que se sitúa en un rango TRL 1-4 (e incluso a veces pudiera solaparse con TRL5).
4. ***Business module o Módulo de negocio***: identifica información relevante asociada con los negocios asociados a estas tecnologías. Atendiendo además, a las características especiales de empresas tecnológicas (*start-ups* o *spin-offs*) y/o tecnologías especialmente emergentes, se ha decidido incorporar información que de manera apreciable determina si estas tecnologías se encuentran en la zona de TRLs elevados. Es decir, surgen grupos de trabajo de los organismos de estandarización sobre estas tecnologías o bien ya existen los estándares o reglamentos asociados (especialmente para tecnologías maduras); pueden surgir *start-ups* o *spin-offs* de este tipo que busquen financiación (por ejemplo, capital semilla) o bien que incluso, si tienen cierto

tamaño y relevancia (por ejemplo, *mid-caps*) coticen en bolsa por medio del Mercado Alternativo (por ejemplo, en España *BME Growth* (BME, 2023) .

5. **“News/Social medial module” o Módulo de noticias y redes sociales:** busca publicaciones asociadas con la tecnología objetivo en redes sociales y/o noticias en diversos medios de comunicación.

Atendiendo a la información que se puede extraer de los módulos, se han definido una serie de indicadores asociados a cada uno de los módulos según su utilidad para el cálculo de TRL posterior. Dichos indicadores se detallan a continuación:

1. **Scholarly module o Módulo académico:** tiene los siguientes indicadores asociados,
  - **I1.1. Número de artículos:** número de artículos científicos encontrados sobre la tecnología objeto de estudio en la búsqueda realizada.
  - **I1.2. Número de citas:** número de citas de aquellos artículos científicos encontrados sobre la tecnología objeto de estudio en la búsqueda realizada.
  - **I1.3. Existencia de información sobre el origen de la financiación y que está asociada a un proyecto de investigación:** el artículo científico indica el origen de la financiación y este está asociado a un proyecto de investigación, por el tipo de programa o convocatoria que lo financia.
2. **Patents module o Módulo de patentes:** tiene los siguientes indicadores asociados,
  - **I2.1. Número de patentes / solicitudes de patentes:** número de patentes o solicitudes de patente encontradas sobre la tecnología objeto de estudio en la búsqueda realizada.
3. **Projects module o Módulo de proyectos:** tiene los siguientes indicadores asociados,
  - **I3.1. Número de proyectos:** número de proyectos de I+D+i sobre la tecnología objeto de estudio encontrados en la búsqueda realizada.
  - **I3.2. Rango TRL asociado:** pertenencia (o ausencia de ella) de los proyectos de I+D+i identificados, al rango de TRLs objeto de estudio.
  - **I3.3. Número de iniciativas bajo clasificación de “Market ready”:** número de innovaciones que son resultado de proyectos de I+D+i sobre la tecnología objeto de estudio, que se han encontrado en la búsqueda realizada y se encuentran clasificados bajo la modalidad “Market ready”.
  - **I3.4. Número de iniciativas bajo clasificación de “Tech ready”:** número de innovaciones que son resultado de proyectos de I+D+i sobre la tecnología objeto de estudio, que se han encontrado en la búsqueda realizada y se encuentran clasificados bajo la modalidad “Tech ready”.

- **I3.5. Número de iniciativas bajo definición “*Business ready*”:** número de innovaciones que son resultado de proyectos de I+D+i sobre la tecnología objeto de estudio, que se han encontrado en la búsqueda realizada y se encuentran clasificados bajo la modalidad “*Business ready*”.
  - **I3.6. Número de iniciativas bajo definición “*Exploring*”:** número de innovaciones que son resultado de proyectos de I+D+i sobre la tecnología objeto de estudio, que se han encontrado en la búsqueda realizada y se encuentran clasificados bajo la modalidad “*Exploring*”.
4. ***Business module* o Módulo de negocio:** tiene los siguientes indicadores asociados,
- **I4.1. Número reglamentos/estándares asociados o grupos de trabajo:** número de reglamentos/estándares asociados o grupos de trabajo de estandarización sobre la tecnología objeto de estudio, que se han encontrado en la búsqueda realizada.
  - **I4.2 Número de empresas tecnológicas cotizadas en bolsa (mercado alternativo):** número de empresas tecnológicas cotizadas en bolsa (mercado alternativo) sobre la tecnología objeto de estudio, que se han encontrado en la búsqueda realizada.
5. ***News/Social media module* o Módulo de noticias y redes sociales:** tiene el siguiente indicador asociado,
- **I5.1. Número de publicaciones y/o noticias:** número de publicaciones y/o noticias sobre la tecnología objeto de estudio, encontradas en la búsqueda realizada.

Estos indicadores facilitan el modo en que se realizará el cálculo posterior de los TRLs asociados a cada tecnología tal y como se ilustra en la Tabla 30. Es decir, si se desea saber el número de artículos científicos asociados a la tecnología objeto de estudio, la pregunta a hacerse es “¿Cuál es el número de artículos científicos (parámetro) asociado con la tecnología objeto de estudio y encontrados en la búsqueda del módulo correspondiente?” y la respuesta puede ser “ninguno” (o cero) o bien “1 o más de 1” (1, 2, 3...). Por lo tanto, esto significa que el indicador asociado I1.1 es igual a 0 –en caso de que no se haya encontrado ningún artículo en la búsqueda – o bien  $I1.1 = 1$  - en caso de que se haya encontrado 1 o más artículos. Adicionalmente hay otros dos tipos de pregunta cuya respuesta (simplificada) es No/Sí siendo 0/1 respectivamente el valor que adquieren los indicadores asociados a dichas preguntas.

Tabla 30. Interpretación de los indicadores y sus valores según las preguntas realizadas en la búsqueda (Fuente: elaboración propia)

Pregunta	Respuesta	Indicador	Valor
¿Cuál es el número de [parámetro] asociado con la tecnología objeto de estudio y encontrados en la búsqueda del módulo correspondiente? Por ejemplo: parámetro = artículos.	Hay X unidades del [parámetro] asociado con la tecnología objeto de estudio y encontrados en la búsqueda del módulo correspondiente. Por ejemplo: X = 2 unidades; parámetro = artículos.	I1.i si i=1,2. I2.j si j=1. I3.k si k=1, 3, 4, 5, 6. I4.l si l = 1, 2. I5.m si m=1, 2.	= 0 (no hay). = 1 (si hay 1 unidad). > 1 (si hay más de 1 unidad). ≤ 1 (si hay 1 o menos)
¿Se cumple la pertenencia del/los proyecto/s de I+D+i asociado a la tecnología objeto de estudio al rango de TRL asociados seleccionado?	Sí se cumple porque está dentro de ese rango. / No se cumple porque está fuera de dicho rango.	I3.n si n=2.	0 (no cumple) 1 (sí cumple)
¿Existe información sobre el origen de la financiación que sea un proyecto de investigación en el artículo académico?	Sí porque hay información / No porque no la hay.	I1.n si n=3.	0 (no hay información) 1 (hay información).

La Tabla 31 muestra la información o parámetros asociados a cada uno de los cinco módulos de la metodología desarrollada, así como los indicadores asociados a cada uno de ellos que serán la referencia para el cálculo posterior del TRL asociado a la tecnología objeto de estudio.

A continuación, se deben determinar cuáles son las bases de datos gratuitas que se utilizarán para hacer la búsqueda de información en cada uno de los cinco módulos de la metodología desarrollada. En la Tabla 193 (Anexo 12.3) se recoge un listado detallado de diversas fuentes de datos abiertas o gratuitas para encontrar dicha información tanto a nivel nacional, europeo e internacional. De manera general, las fuentes seleccionadas para cada módulo son las siguientes:

- **1. Scholarly module o Módulo Académico:** se identifican motores de búsqueda como *Google Scholar*, que indexa artículos científicos-académicos y publicaciones relacionadas. Incluye también diversos ejemplos de repositorios de acceso abierto regionales (RIA en Asturias), de universidades (UNIOVI), centros de I+D especializados en tecnologías industriales (Fraunhofer), entre otras. En estos entornos, es la academia la que sirve de barómetro sobre nuevas tecnologías.
- **2. Patents module o Módulo de patentes:** se identifican diversos servicios que, o bien indexan patentes de las bases de datos de 17 oficinas patentes, como es el caso de *Google Patents*, o bien son ejemplos de servicios online de búsquedas de patentes y/o solicitudes de patentes de iniciativas mundiales (WIPO), europeas y países del tratado PTO (EPO), americanas (USPTO) o ya oficinas concretas de países (como China, Corea del Sur, etc.). En este caso, las patentes

miden varios puntos por su propia definición: debe ser nueva, por lo tanto, no puede estar en el estado del arte; debe tener actividad inventiva, es decir, no ser una conclusión técnica evidente; debe tener aplicación industrial, y, por lo tanto, puede ser fabricado en cualquier tipo de industria, incluida la agrícola.

- **3. *Projects module* o Módulo de proyectos:** se identifican diversas fuentes que dan diversa información sobre proyectos y resultados de proyectos que han sido financiados en Europa por programas de I+D+i. De este modo, para primeros estadios de proyectos recientemente aprobados, se puede contar con el *Horizon Dashboard*. Posteriormente, para análisis retrospectivos o estudio del avance de ciertos proyectos y/o tecnologías, se puede usar CORDIS. Y finalmente, la iniciativa de la Comisión Europea *Innovation Radar* permite determinar el estado de madurez innovadora de los resultados de proyectos de I+D+i además de las empresas o entidades relacionadas.
- **4. *Business module* o módulo de negocio:** la aparición de estándares o de grupos de trabajo sobre estándares, es un buen termómetro de la madurez de una tecnología y su cercanía al mercado. Por ello, se han incluido los organismos de estandarización reconocidos en Europa (CEN, CENELEC y ETSI). Igualmente, fuentes especializadas en negocios y finanzas (Estrategias de inversión, Expansión o similar) pueden ser buenas alternativas, especialmente en entidades del Mercado Alternativo como *BME Growth* en España. Además, la opción de *Innovation Radar* también puede dar pistas sobre esto.
- **5. *News/Social media module* o Módulo de noticias y redes sociales:** se trata de medir cuánto habla la sociedad / los ciudadanos o bien, un determinado grupo de profesionales de una tecnología. Por lo tanto, redes sociales profesionales como LinkedIn son esenciales, pero también otras que ya se han venido utilizando para medir pulsos sociales, puntos calientes o determinadas tendencias como puede ser X/Twitter. Podría ser extensible a TikTok, Instagram, etc. Otras soluciones como Google News como agregador de noticias pueden ser buenas alternativas también.

Posteriormente, una vez determinados dichos indicadores, se procederá al cálculo del TRL conforme a la estructura operativa que se describe en el siguiente apartado.

Tabla 31. Módulos de la metodología desarrollada con la información disponible e indicadores asociados (Fuente: elaboración propia)

	<b>1. Scholarly module o Módulo Académico</b>	<b>2. Patents module o Módulo de patentes</b>	<b>3. Projects module o Módulo de proyectos</b>	<b>4. Business module o módulo de negocio</b>	<b>5. News/Social media module o Módulo de noticias y redes sociales</b>
<b>Tipo de información asociada</b>	Artículos científicos Autores Número de citas Origen de la financiación (proyecto o programa)	Patentes Solicitud de patentes (IPC-necesidad de expertos)	Proyectos y Origen de la financiación (Programa) Clasificación o rango de TRL asociado (si aplica) Información sobre 2 niveles de madurez de las innovaciones (“ <i>Market ready</i> ”, “ <i>Tech ready</i> ”, “ <i>Business ready</i> ” y “ <i>Exploring</i> ”).	Reglamentos Estándares Nuevos negocios Inversores y movimientos en tecnologías	Publicaciones con mención a la tecnología Noticias
<b>Indicadores asociados</b>	<b>I1.1.</b> Número de artículos <b>I1.2.</b> Número de citas <b>I1.3.</b> Existencia de información sobre el origen de la financiación y que está asociado a un proyecto de investigación	<b>I2.1.</b> Número de patentes / solicitudes de patentes	<b>I3.1.</b> Número de proyectos <b>I3.2.</b> Rango TRL asociado <b>I3.3.</b> Número de iniciativas bajo clasificación de “ <i>Market ready</i> ” <b>I3.4.</b> Número de iniciativas bajo clasificación de “ <i>Tech ready</i> ” <b>I3.5.</b> Número de iniciativas bajo definición “ <i>Business ready</i> ” <b>I3.6.</b> Número de iniciativas bajo definición “ <i>Exploring</i> ”	<b>I4.1.</b> Número reglamentos/estándares asociados o grupos de trabajo <b>I4.2.</b> Número de empresas tecnológicas cotizadas en bolsa (mercado alternativo)	<b>I5.1.</b> Número de publicaciones <b>I5.2.</b> Número de noticias

### 7.2.3 Estructura operativa de la metodología

La metodología propuesta se aplica a través de tres pasos, que son (Figura 34):

- **PASO 1. Definición de *keywords* o palabras clave:** en función de la tecnología y/o ámbito de aplicación, se deberán definir una serie de palabras clave asociadas para ciertas tecnologías de aplicación industrial que es el objeto de la metodología. La aproximación de esta metodología reside en poder generar ese listado desde cero sin necesidad de recurrir a expertos y que, posteriormente, pudiera llegar a optimizarse.
- **PASO 2. Búsqueda en las Bases de Datos (BBDD) según *keywords*:** la metodología incorpora cinco módulos (1. *Scholarly module* o Módulo Académico; 2. *Patents module* o Módulo de patentes; 3. *Projects module* o Módulo de proyectos; 4. *Business module* o Módulo de negocio; 5. *News/Social Media module* o Módulo de Noticias/Redes sociales), que tienen una serie de indicadores asociados cuya información asociada se encontrarán en las bases de datos más adecuadas para dicho fin, tal y como se adelantó en el apartado 7.2.2.
- **PASO 3. Cálculo del TRL:** a partir de los datos e información recopilada en los pasos anteriores, y poniendo en marcha el “cerebro” de la metodología (descrito en el apartado 3.4.2.1), se dispondrá de un dato de TRL.

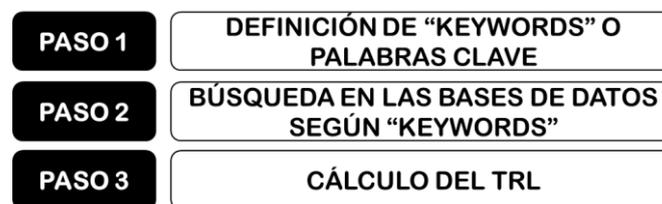


Figura 34. Estructura operativa de la metodología desarrollada

Cada uno de estos pasos, se detalla ampliamente en el apartado 7.3.

### 7.2.4 Cumplimiento de los requisitos

La metodología desarrollada ha sido planteada para cumplir con los requisitos establecidos anteriormente. A continuación, se detallan los motivos que aseguran el cumplimiento de cada criterio, siendo los siguientes:

- **R1. Capacidad de clasificación de los TRL para una tecnología dada:** se propone una aproximación metodológica que puede determinar el TRL para cualquier tecnología que se le indique. De hecho, inicialmente en el proyecto se indicaron una serie de KETs definidas por la Comisión Europea hace ocho años pero que han sido actualizados en la actualidad, y con las que también se ha comprobado que la metodología funciona.
- **R2. Univocidad de TRL o asignación inequívoca de TRL:** la metodología devuelve un único valor de TRL para cada caso de estudio, incluyendo una serie de medidas (llamados criterios de

desbloqueo) que permiten garantizar que es capaz de discernir entre valores próximos de TRLs (también llamado valores frontera).

- R3. Operatividad aplicando fuentes de datos gratuitas para la búsqueda: la solución presentada se basa en el uso de fuentes de datos gratuitas o de bajo coste, así como herramientas de acceso abierto. Todo ello se puede ver en la descripción del PASO 2 de la metodología y el listado de fuentes de datos utilizados en cada uno de los módulos que la definen (apartado 7.3.2).
- R4. Usabilidad en un amplio rango de aplicaciones relacionadas con tecnologías industriales: la metodología ha sido probada en seis casos de validación con varias casuísticas de tecnologías (robótica, *blockchain* o técnicas de calentamiento por microondas) y ámbitos de aplicación (entornos nucleares, intercambio energético entre pares o reciclaje de materiales compuestos).
- R5. Procedimiento cuantitativo y no dependiente del conocimiento de expertos: la propuesta desarrollada ofrece una solución basada en datos objetivos con los que calcular el valor de una serie de indicadores por medio de la búsqueda de palabras clave en una serie de módulos (bases de datos). Según el valor asociado a cada indicador, se comprobará si se cumplen o no, los criterios asociados para cada TRL. Para realizar este procedimiento, no es necesario conocer la tecnología o entorno de aplicación, en contraposición con las soluciones habituales basadas en preguntas que debían responder expertos en la materia.
- R6. Procedimiento semiautomático: se ha definido un procedimiento estandarizado cuyos pasos definidos y secuenciados. De modo que siguiendo la lógica indicada de cada uno de los pasos 1. Definición de *keywords*, 2. Búsqueda en bases de datos y 3. Cálculo del TRL, es fácilmente reproducible.

### 7.3 Descripción de los pasos incluidos en la metodología

En este apartado se explica en qué consiste cada uno de los pasos de la metodología y el modo de implementarlo para el cálculo del TRL en casos concretos. El cálculo del TRL en casos de aplicación específicos para la validación de la metodología se desarrolla en el capítulo 8.

#### 7.3.1 PASO 1. Definición de *keywords* o palabras clave

En este paso se definen las palabras clave o *keywords* asociadas al caso de aplicación objeto de estudio. Así, de cara a la implementación de este PASO 1. Definición de *keywords* o palabras clave de la metodología, los pasos a seguir se esquematizan en la Figura 35 y son los siguientes:

- Búsqueda de *keywords* tecnológicas: se trata de encontrar las palabras clave tecnológicas más adecuadas para la tecnología objeto de estudio. El detalle de este proceso se encuentra en el apartado 7.3.1.1.

- Búsqueda de *keywords* no tecnológicas o de aplicabilidad: se trata de encontrar aquellas palabras clave que, sin estar directamente relacionadas con la tecnología a estudiar, pueden ayudar en la búsqueda para identificar el TRL. El detalle de este proceso se encuentra en el apartado 7.3.1.2.

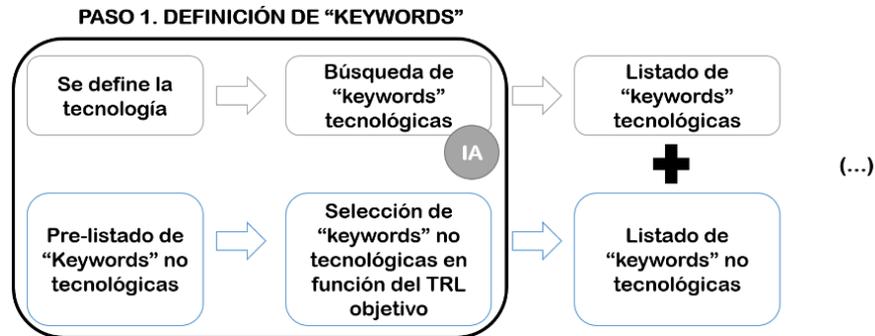


Figura 35. Metodología para aplicación del PASO 1 de la metodología de desarrollo propio

### 7.3.1.1 Búsqueda de *keywords* tecnológicas

Teniendo en cuenta que esta metodología se centra en ofrecer soluciones asequibles para organizaciones de pequeño y mediano tamaño, se ha realizado una revisión de las principales herramientas (tanto gratuitas como de pago) de Inteligencia Artificial Generativa y analizado su potencial de aplicación para definir las palabras clave o *keywords* asociadas a una metodología determinada. Los resultados de esta revisión se recogen en el anexo de la sección 12.1.1.

En base a los resultados de validación de la metodología se ha visto que no se requiere un esfuerzo notable en la definición de las *keywords* tecnológicas y que no es necesario más que una aplicación directa de la tecnología y el ámbito de aplicación como esas palabras clave tecnológicas. No obstante, los autores han realizado una lista preliminar de posibles herramientas de aplicación de cara a encontrar sinónimos de la tecnología, en caso de que fuera necesario, tal y como se recogen en la Tabla 192 (Anexo 12.1.1).

Así, entre todas las herramientas estudiadas, se propone que una alternativa razonable— en caso de que fuera necesario su uso — sería el empleo de Perplexity.ai de cara a identificar palabras clave asociadas a una determinada tecnología (tecnología objeto de estudio). Su aplicación en este ámbito es relevante y adecuado por estar pensada para entornos de trabajo relativos con investigación y/o tecnología, ser transparente y permitir un uso más intuitivo, además de poder utilizarse de manera gratuita — una de las premisas de la metodología. De este modo, el usuario que se encarga de realizar la búsqueda puede decidir si incluir o no ciertas palabras en base al origen o referencia de esa información. A modo de ejemplo, se ha realizado una búsqueda de sinónimos para la tecnología de fabricación aditiva o *additive manufacturing* en dicha herramienta indicando “synonyms of additive manufacturing” y en la Figura 36 se ven los resultados que esta devuelve.

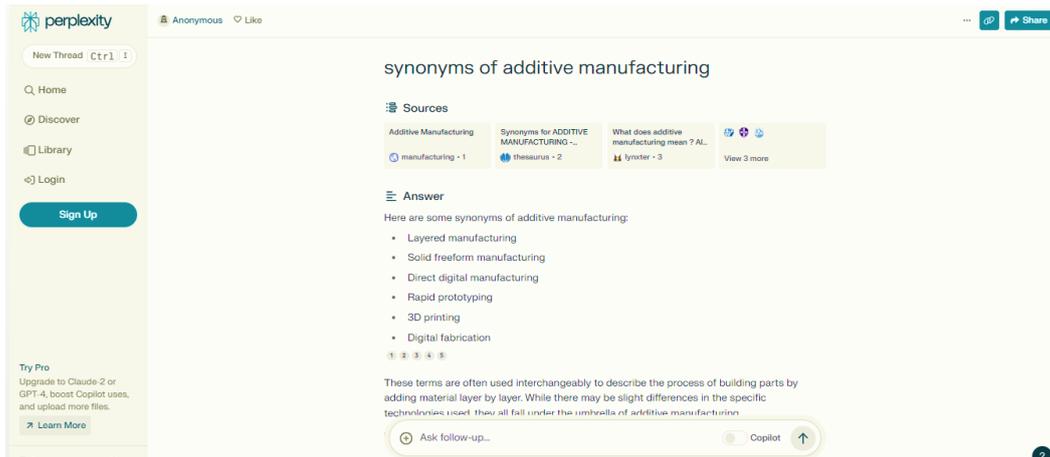


Figura 36. Búsqueda de sinónimos sobre “additive manufacturing” usando la herramienta Perplexity.ai

Como resultado de la búsqueda, la Tabla 32 muestra el listado potencial de palabras clave que podría generarse para esta tecnología. Esta enumeración de *keywords* para esta tecnología, coincide con las conclusiones a las que se llegó durante la validación de las metodologías cuantitativas existentes.

Tabla 32. Listado de keywords para la tecnología additive manufacturing

Tecnología	Listado de keywords o palabras clave
Additive manufacturing	<i>Layered manufacturing</i> <i>Solid freeform manufacturing</i> <i>Direct digital manufacturing</i> <i>Rapid prototyping</i> <i>3D printing</i> <i>Digital fabrication</i>

### 7.3.1.2 Búsqueda de keywords no tecnológicas o de aplicabilidad

Para que sirva de referencia en las búsquedas en las bases de datos, (pero no como una restricción obligatoria), y agilizar la identificación del nivel de TRL, se ha elaborado un *dataset* de palabras relevantes adaptado a los diversos niveles de TRL a buscar y que también serán útiles en el PASO 3 en el que se realiza el cálculo del TRL. En ningún caso, estas *keywords* deben ser consideradas como un conjunto estricto, sino que se podrán ampliar con otras en función del campo de actividad en el que se realice la búsqueda y de la experiencia de búsquedas anteriores. Para elaborar esta referencia se ha tenido en cuenta la experiencia de la autora y las consultas previas a investigadores con gran experiencia en búsqueda bibliográfica. Las Tabla 33 muestra para cada TRL objetivo cuales son las *keywords* no tecnológicas o de aplicabilidad propuestas.

Tabla 33. Listado de keywords no tecnológicas o de aplicabilidad

TRL objetivo	Keywords no tecnológica
TRL3 – TRL4	proof of concept; prototype
TRL5	validate; relevant environment
TRL6	demonstrate; relevant environment
TRL7	system prototype; demonstrate; operational environment
TRL9	product; operational environment

Cabe destacar que estas palabras clave se utilizarán únicamente en el caso de que sean necesarias para avanzar en las búsquedas y poder discriminar cual es el TRL de esa tecnología, especialmente en aquellos casos en que la diferencia sea más complicada de establecer más limitantes. Esta información se complementa con lo indicado en la Tabla 34.

### 7.3.2 PASO 2. Búsqueda en las bases de datos según las *keywords*

En el Anexo 2 del apartado 12.3, se detallan las diversas fuentes de datos existentes y gratuitas, disponibles donde se puede obtener la información referida anteriormente en cada uno de los módulos de la metodología. Como ya se adelantó, estos datos serán los que permitan posteriormente calcular el TRL asociado de una tecnología dada en los diversos casos de aplicación indicados en el apartado 8 y utilizando las metodologías de cálculo detallada en el apartado 7.3.3. En particular la información necesaria asociada para cada uno de los siguientes módulos:

- Módulo Académico o *Scholarly Module*: la información que se podría extraer en este caso para poder calcular los indicadores asociados y, por tanto, determinar el nivel de TRL en el PASO 3 son número de artículos científicos en la temática, autores de los mismos, número de citas de cada uno de ellos u origen de la financiación (proyecto o programa, si aplica). Se ofrece mayor detalle del funcionamiento del módulo en el apartado 7.3.2.1.
- Módulo de Patentes o *Patents Module*: proporciona información acerca de las patentes y/o solicitudes de patentes asociadas en la temática. Podría extraerse información de IPC o *International Patent Code* que codifica las patentes por su tecnología, pero no se aplica en este caso por dos motivos. Por un lado, porque para tecnologías emergentes puede ocurrir que no haya un código asociado (como ha sido el caso de la fabricación aditiva explicado anteriormente) y, por otro lado, porque requiere de un conocimiento experto muy elevado en la temática, y ese no es el objeto de esta metodología. Se describe con mayor detalle en el apartado 7.3.2.2.
- Módulo de Proyectos o *Projects module*: proporciona información acerca de proyectos de I+D+i, principalmente europeos, asociados en dicha temática y en aquellos casos disponibles, el rango de TRL o TRL en de inicio y fin a lo largo del mismo. Por otro lado, también se hará uso de otras metodologías promovidas por la Unión Europea basadas en la clasificación de las innovaciones tecnológicas resultantes de esos proyectos de I+D+i, en función de lo cerca o lejos que se encuentren de mercado. Se muestra mayor detalle en el apartado 7.3.2.3.
- Modelo de Negocio o *Business module*: proporciona información sobre reglamentos o estándares (grupos de trabajo de entidades de estandarización) asociados con las tecnologías que se estudien en el caso particular, así como la aparición de nuevos negocios tecnológicos y

la aparición o movimientos de inversores en torno a estas empresas asociadas con las tecnologías objeto de estudio. Se describe con más detalle en el apartado 7.3.2.4.

- Módulo de Noticias/Redes Sociales o News/Social media Module: información sobre publicaciones con mención a la tecnología asociada al caso de estudio, pudiendo ser su origen procedente de redes sociales y/o noticias. Se puede acceder a una descripción completa en el apartado 7.3.2.5.

Tabla 34. Aplicación de las distintas keywords en cada módulo

Módulos	Keywords	
	Tecnológicas	No tecnológicas
1/Módulo Académico	✓	✓
2/Módulo de Patentes	✓	✓
3/Módulo de Proyectos	✓	✓
4/Modelo de Negocio	✓	✗
5/Módulo de Noticias/Redes Sociales	✓	✓

Leyenda: ✓ = siempre; ✓ = en ciertos casos; ✗ = nunca.

La esencia de la implementación de este PASO 2 es el indicado en la Figura 37. Es decir, las palabras claves tecnológicas y no tecnológicas se aplican (una o ambas, según el caso, detalle en Tabla 34) para buscar dentro de cada módulo la información relativa a cada uno de los indicadores indicados en el mismo. Posteriormente estos indicadores serán usados por los criterios para estimar el TRL.

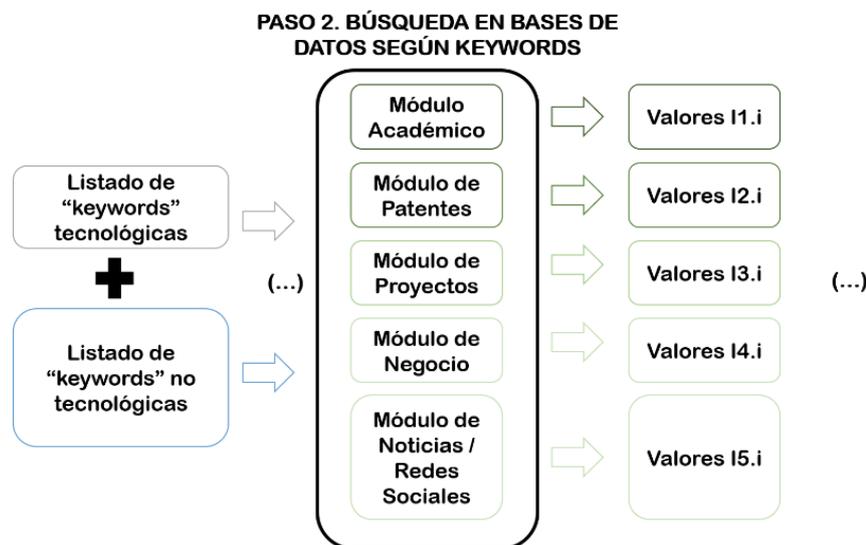


Figura 37. Metodología para aplicación del PASO 2 de la metodología desarrollada

En el apartado 12.3 (anexo) se recoge el listado completo de las potenciales bases de datos aplicable a esta metodología identificadas por la autora. No obstante, en la descripción de los siguientes módulos se indica(n) únicamente aquella(s) que han sido seleccionadas para cada caso y las razones para su elección.

En los siguientes apartados se detalla el funcionamiento de cada uno de los módulos que forman parte de este PASO 2 de la metodología.

### 7.3.2.1 Módulo Académico o Scholarly Module – búsqueda en sus bases de datos

Este módulo busca información sobre los artículos científicos publicados para calcular los indicadores mostrados en la Tabla 31. De todas las bases de datos gratuitas con potencial de aplicación detalladas en el apartado 12.3 del anexo, la herramienta de búsquedas gratuita seleccionada por su simplicidad y posibilidad de selección de múltiples fuentes es “*Publish or Perish*” (Harzing A., 2007) . Esta permite escoger entre bases de datos gratuitas como *Google Scholar*, *Crossref* u *OpenAlex*, bases de datos de pago como PubMed o *Web of Science*, a las que les tienes que asociar una cuenta de pago para hacer la búsqueda de artículos por medio de *keywords*. La autora se ha centrado en las fuentes de datos gratuitas mencionadas por ser la hipótesis de partida de la metodología, siendo estas las siguientes:

- **Google Scholar:** desde esta herramienta se pueden realizar búsquedas en *Google Scholar* y analizar sus resultados. *Publish or Perish* también calcula cierto número de las métricas de citas más comúnmente utilizadas. Los resultados están disponibles en una pantalla y se pueden copiar y pegar en aplicaciones de Windows o guardarlo como archivo de texto para referencias futuras (Harzing A., 2016).
- **Crossref:** esta herramienta permite realizar búsquedas en *Crossref* y analizar sus resultados. Contiene una versión estructurada de los parámetros aceptados por *Crossref*. “*Publish and Perish*” usa estos parámetros para hacer la búsqueda en *Crossref*, que entonces lo analiza y lo traduce en cierto número de estadísticas. Los resultados están disponibles en una pantalla y se pueden copiar y pegar en aplicaciones de Windows o guardarlo como archivo de texto para referencias futuras (Harzing A., 2017).
- **OpenAlex:** en este caso no hay mayor detalle de cómo funciona específicamente la herramienta en este caso, pero al igual que en los casos anteriores, devuelve unos resultados para la búsqueda que se pueden copiar y pegar para su uso, o bien guardarlos para su uso posterior (Harzing A., 2022).

Al seleccionar la herramienta llamada “*Publish or Perish*”, se probó inicialmente como fuentes de datos gratuitas *Google Scholar*, *Crossref* y *OpenAlex* para hacer las primeras búsquedas y ver su potencial de aplicación real. Desafortunadamente, se comprobó que *Google Scholar* era el más adecuado, tal y como avanzaban los autores de la herramienta en su propia web (Harzing A., 2023). En la Tabla 37 se resumen las principales ventajas y desventajas de cada una de dichas fuentes, así como la explicación final y el porqué de la selección de *Google Scholar* como fuente de datos gratuita para aplicar en la búsqueda de esta metodología. Principalmente, *Google Scholar* permite realizar búsquedas con palabras clave (incluyendo combinaciones y/o restricciones) en título o texto completo del artículo mientras que para

las otras opciones resulta inviable en este caso de aplicación. Además, una herramienta del estilo de “*Publish or Perish*” es muy intuitiva para su manejo y no es necesario trabajar con operadores booleanos para realizar la búsqueda.

Así la Tabla 35 muestra cómo a partir de las *keywords* definidas en el PASO 1 (siendo tecnológicas y/o de aplicabilidad en función de la búsqueda, tal y como detalla la Tabla 34), se realiza la búsqueda en la base de datos seleccionada. Dicha investigación, devuelve una serie de datos o información que se asocian con los indicadores de dicho módulo, por ejemplo, los artículos científicos resultantes permitirán calcular el indicador I1.1 sobre el número de artículos. Posteriormente, esta información irá al PASO 3 para realizar el cálculo del TRL asociado a esta búsqueda.

Tabla 35. Módulo académico: información asociada, indicadores y bases de datos seleccionadas

Base de datos aplicada	Tipo de información	Indicador
Herramienta “Publish or Perish”, accediendo a la Base de datos de Google Scholar.	Artículos científicos Número de citas Origen de la financiación para proyectos de investigación.	I1.1. Número de artículos I1.2. Número de citas I1.3. Existencia de información sobre el origen de la financiación y que está asociado a un proyecto de investigación

Por último, siguiendo las indicaciones ya mencionadas en la Tabla 30 sobre los valores e interpretación de los resultados asociados a los indicadores del módulo académico, la Tabla 36 muestra los valores y significados para los indicadores (I1.n) de dicho módulo.

Tabla 36. Módulo académico: resumen de los valores y significado de sus indicadores

Indicador	Explicación	Valor
I1.1. Número de artículos	= 0	No hay.
	= 1	Hay al menos 1 artículo.
	>1	Hay más de 1 artículo.
	≤ 1	Hay 1 artículo o menos.
I1.2. Número de citas	= 0	No hay ninguna cita.
	= 1	Hay citas / Hay al menos una cita
I1.3. Origen de la financiación	= 0	No hay información sobre la financiación.
	= 1	Hay información sobre la financiación.

Tabla 37. Características principales de las búsquedas por fuentes de datos y conclusiones sobre su idoneidad de aplicación (elaboración propia a partir de conclusiones propias y (Harzing A., 2023)

	Sintáxis preferida	Problemas más comunes	Análisis sobre su idoneidad
Google Scholar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede buscar para “todas las palabras” usando AND.</li> <li>• Puede buscar para “cualquiera de las palabras” usando OR.</li> <li>• Puede buscar una frase exacta, entrecomillándolo.</li> <li>• Puede restringir la búsqueda usando NOT.</li> <li>• Puede buscar para las “palabras del título” únicamente o para coincidencias en cualquier parte del artículo, usando keywords. *</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La búsqueda de texto completo puede llevar a resultados muy irrelevantes.</li> <li>• No puede buscar keywords en el título y abstract de manera combinada.</li> <li>• Sólo para búsquedas coincidentes. Por ejemplo, “expatriado” no encuentra “expatriados”. *</li> </ul>	<p>*Es adecuada porque puede buscar en cualquier parte del artículo. En cambio, no lo hace de forma combinada y hay que ser cuidadoso al seleccionar las ke claves keywords ya que sólo hace búsquedas coincidentes (por ejemplo: “manufacture” vs. “manufacturing”)</p>
Crossref	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede buscar para “cualquiera de las palabras” usando OR.</li> <li>• Puede buscar para “palabras de título” aquellas palabras que sólo coincidan con el título.</li> <li>• Puede buscar para una combinación de “palabras de título” y “nombre de la publicación”.</li> <li>• Búsqueda de la coincidencia de las palabras en cualquier orden.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No puede buscar para “todas las palabras” pues cuando se usa AND Crossref lo cambia a OR.</li> <li>• No se puede restringir la búsqueda pues cuando se usa NOT Crossref lo cambia a OR.</li> <li>• No puede hacer una búsqueda de “la frase exacta”.</li> <li>• No puede buscar keywords en el abstract o en el texto completo de los artículos. La búsqueda en el campo de keywords proporciona resultados que son idénticos a las “palabras del título”. **</li> <li>• Sólo para búsquedas coincidentes. Por ejemplo, “expatriado” no encuentra “expatriados”. **</li> <li>• No puede combinar las búsquedas de “temática” con las búsquedas de autor.</li> </ul>	<p>** No resulta válida para esta metodología ya que: (1) no permite usar una combinación de keywords y, además, no las busca ni en el abstract ni en el texto del artículo, sólo en el título ; y (2) sólo sirve para “palabras exactas” y no variaciones de las mismas. El número de resultados es más reducido, sobre todo por (1).</p>
OpenAlex	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede buscar para “todas las palabras” usando AND.</li> <li>• Puede buscar para coincidencias con “palabras del título” únicamente o para coincidencias en título y abstract o usando una combinación de ambos campos.</li> <li>• Puede buscar una frase exacta, entrecomillándolo.</li> <li>• Usa derivaciones, es decir, expatriado también coincide con expatriados, organización con organizacional o global con globalización.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No puede buscar para “cualquiera de las palabras” usando OR.</li> <li>• No puede restringir la búsqueda usando NOT.</li> <li>• No puede restringir la búsqueda usando NOT.</li> <li>• Sólo puede buscar una palabra en el campo de “Título”. ***</li> <li>• No puede buscar por keywords en todo el texto de los artículos. ***</li> <li>• Las derivaciones se aplican de forma (demasiado) agresiva: cuando busca para “globalización”, la mayoría de las búsquedas coinciden con “global”, por ejemplo.</li> </ul>	<p>*** Sus limitaciones hacen que no sea aplicable en esta metodología ya que: (1) en el título sólo puede buscar una palabra y no combinación de varias; y (2) no puede buscar por palabras claves en el texto completo de los artículos.</p>

### 7.3.2.2 Módulo de Patentes o Patents Module – búsqueda en sus bases de datos

Este módulo se aplica para indagar acerca de datos relativos a las patentes o solicitudes de patente. Teniendo en cuenta esta información, se han concretado una serie de indicadores asociados, detallados en la Tabla 31.

De todas las bases de datos gratuitas con potencial de aplicación detalladas en el anexo 12.3, se ha escogido la herramienta en línea de búsqueda de patentes y solicitudes de patentes, desarrollado por la Agencia Europea de Patentes (EPO – *European Patent Office*), que dispone de más de 100 millones de documentos de más de 100 países. Además, con su nuevo buscador avanzado, no es necesario comprender la sintaxis y características de uso de los operadores booleanos (European Patent Office, 2022) y por ello, más intuitivo, ayudando a cumplir, además con una de las hipótesis de partida sobre la falta de requerir expertos para su uso.

Así la Tabla 38 muestra cómo a partir de las *keywords* definidas en el PASO 1 (siendo tecnológicas, tal y como detalla la Tabla 34), se realiza la búsqueda en la base de datos seleccionada. Dicha investigación, devuelve una serie de datos o información que se asocian con los indicadores del módulo de interés, siendo para este caso, las patentes o solicitudes de patente asociadas que permitirán calcular el indicador I2.1. Posteriormente, esta información irá al PASO 3 para realizar el cálculo del TRL asociado a esta búsqueda.

Tabla 38. Módulo de patentes: información asociada, indicadores y bases de datos seleccionadas

Base de datos aplicada	Tipo de información	Indicador
ESPACENET (buscador avanzado) de EPO	Patentes Solicitud de patentes	I2.1. Número de patentes/solicitudes de patentes

Por último, siguiendo las indicaciones ya mencionadas en la Tabla 30 sobre los valores e interpretación de los resultados asociados a los indicadores del módulo de patentes, la Tabla 39 muestra los valores y significados para el indicador (I2.1) de dicho módulo.

Tabla 39. Módulo de patentes: resumen de los valores y significado de sus indicadores

Indicador	Explicación	Valor
I2.1. Número de patentes/solicitudes de patentes	= 0	No hay ninguna.
	= 1	Hay alguna / Hay al menos una unidad.

### 7.3.2.3 Módulo de Proyectos o Projects Module – búsqueda en sus bases de datos

Este módulo encuentra la información mencionada anteriormente asociada con los proyectos (desde temática de los proyectos, rango de TRL asociado a los mismos o metodologías asociadas para evaluar el grado de innovación de sus resultados).

De todas las bases de datos gratuitas con potencial de aplicación detalladas en el anexo 12.3, se han escogido las siguientes en función de la información a buscar:

- **CORDIS** (European Commission., 2024) es la principal base de datos de la Comisión Europea donde se recogen todos aquellos proyectos que han sido aprobados por la misma en sus programas de I+D+i (desde Horizonte Europa, H2020 e incluso anteriores). Cualquier proyecto aprobado, tiene su propia entrada con información de este, incluyendo resultados e informes públicos. Además, está información asociada sobre el programa y/o *topic* de financiación, que en ocasiones exigen los TRL de partida y llegada. Esta base de datos aporta, por tanto, información acerca de los proyectos (I3.1) y la clasificación o rango de TRL asociado (I3.2). Cabe destacar que los datos sobre TRL sólo empezaron a implementarse en el Programa H2020 por lo que esta información, de existir, únicamente sería posible a partir del comienzo de la duración de este programa (2014-20220), y, por tanto, proyectos aprobados por este en dicho periodo temporal. Anteriores a 2014, en Europa no se aplicaba el concepto de TRL ya que se importó de EE. UU. al ser usado por la NASA, como ya se indicó.
- **Innovation Radar** (European Commision, 2024) es una iniciativa de la Unión Europea para identificar innovaciones e innovadores de elevado potencial en los proyectos de I+D+i financiados por la Unión Europea. Permite descubrir los resultados de estos proyectos en forma de innovación. Además, está basada en una metodología propia desarrollada por la propia Comisión Europea (detalles en apartado 2) y que clasifica estas innovaciones tecnológicas en función de su nivel de madurez innovadora, que como ya se había adelantado, son (de mayor a menor cercanía a mercado):
  - **Market ready** son innovaciones basadas en tecnologías ya maduras y con una clara apuesta por el consorcio para llevarlas a mercado. Esto aporta información para el indicador asociado I3.3.
  - **Teach ready** implica que la tecnología asociada a la innovación se encuentra en proceso de desarrollo (es decir, pilotos, prototipos, demostración, etc.) y que se consideran avanzados tecnológicamente pero el equipo debe trabajar en convertirlas en soluciones de mercado. Esto aporta información para el indicador asociado I3.4.

- **Business ready** se refiere a innovaciones que ya han encontrado una necesidad de mercado, pero les queda avanzar en la parte tecnológica asociada, para lograrlo. Esto aporta información para el indicador asociado I3.5.
- **Exploring** son aquellas que se encuentran en las fases más tempranas de su madurez tecnológica. Esto aporta información para el indicador asociado I3.6.

Así la Tabla 40 muestra cómo a partir de las *keywords* definidas en el PASO 1 (siendo tecnológicas, tal y como detalla la Tabla 34), se realiza la búsqueda en las bases de datos seleccionadas ya que cada una aportará información para uno o varios indicadores. Esto permite averiguar, como ya se adelantó, los proyectos asociados a la tecnología objetivo que han sido financiados a nivel europeo en programas de I+D+i y el rango de TRL asociado a los mismos si lo indicaban las condiciones de financiación y determinar los indicadores I3.1 e I3.2 respectivamente. También permite conocer la existencia de iniciativas (o innovaciones) bajo las distintas clasificaciones del Innovation Radar para calcular así los indicadores I3.3, I3.4, I3.5 e I3.6. Posteriormente, esta información irá al PASO 3 para realizar el cálculo del TRL asociado a esta búsqueda.

Tabla 40. Módulo de proyectos: información asociada, indicadores y bases de datos seleccionadas

Base de datos aplicada	Tipo de información	Indicador
<ul style="list-style-type: none"> <li>• CORDIS</li> <li>• Innovation Radar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proyectos</li> <li>• Clasificación o rango de TRL asociado (si aplica)</li> <li>• Información sobre 2 niveles de madurez de las innovaciones (<i>Market ready</i>, <i>Tech ready</i>, <i>Business ready</i> y <i>Exploring</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• I3.1. Número de proyectos</li> <li>• I3.2. Rango TRL asociado</li> <li>• I3.3. Número de iniciativas bajo clasificación de <i>Market ready</i></li> <li>• I3.4. Número de iniciativas bajo clasificación de <i>Tech ready</i></li> <li>• I3.5. Número de iniciativas bajo definición <i>Business ready</i></li> <li>• I3.6. Número de iniciativas bajo definición <i>Exploring</i></li> </ul>

Por último, siguiendo las indicaciones ya mencionadas en la Tabla 30 sobre los valores e interpretación de los resultados asociados a los indicadores del módulo de proyectos, la Tabla 41 muestra los valores y significados para los indicadores (I3.n) de dicho módulo.

Tabla 41. Módulo de proyectos: resumen de los valores y significado de sus indicadores

Indicador	Explicación	Valor
I3.1. Número de proyectos	= 0	No hay ninguno/a.
I3.3. Número de iniciativas bajo clasificación de <i>Market ready</i>	= 1	Hay al menos un proyecto / una iniciativa bajo la clasificación dada.
I3.4. Número de iniciativas bajo clasificación de <i>Tech ready</i>		
I3.5. Número de iniciativas bajo definición <i>Business ready</i>		
I3.6. Número de iniciativas bajo definición <i>Exploring</i>		
I3.2. Rango TRL asociado	= 0	No cumple
	= 1	Sí cumple

#### 7.3.2.4 Módulo de Negocios o Business Module – búsqueda en sus bases de datos

Se busca información asociada con regulaciones, estándares, aparición de nuevos negocios tecnológicos o movimientos de capital privado hacia los mismos.

De todas las bases de datos gratuitas con potencial de aplicación detalladas en el anexo 12.3, se han escogido las siguientes en función de la información a buscar:

- **Regulación y/o estándares:** desde el punto de vista de las bases de datos a las que consultar acerca de los estándares en términos globales, especialmente en Europa, se puede recurrir a ciertos organismos de referencia reconocidos por la Unión Europea y EFTA (*European Free Trade Association*), como responsables del desarrollo y definición de los estándares voluntarios en Europa. Estos son: **CEN** (*European Committee for Standardization*) y **CENELEC** (*European Electrotechnical Committee for Standardization*). Adicionalmente, se considerará **ETSI** (*European Telecommunications Standards Institute*) organización relacionada con los estándares globales aplicable para sistemas, aplicaciones y servicios basados en TIC. Centrados también en tecnologías emergentes y en todos los sectores de la industria y a sociedad. Adicionalmente, se debe considerar que este módulo es cercano al mercado y, por tanto, además de estándares tecnológicos, hay ámbitos de aplicación que requieren su propia normativa específica como es el caso de nuclear, incluyendo a **IAEA** (*International Atomic Energy Agency*) para estándares de seguridad en este ámbito o bien regulaciones o consideraciones específicas promovidas por los **principales fabricantes aeroespaciales** (por ejemplo, Boeing, Airbus...) o agencias asociadas con ciertas temáticas de interés como **EuCIA** (*European Composites Industry Association*).
- **Movilización de inversión privada en torno a negocios basados o relacionados con tecnología:** en este caso, el objetivo se centra en determinar la existencia o no de empresas pequeñas o medianas con potencial de crecimiento, esos posibles unicornios. Para ello, un buen medidor es hacer uso del mercado alternativo bursátil existente en Europa, el llamado mercado de acciones de crecimiento (*Growth stock market*) (European Commission, 2019b). Aquí empresas de determinado tamaño pueden acceder a este mercado alternativo que tiene unos requisitos no tan exigentes como las bolsas centrales y, además, les permite conseguir inversión privada, siendo también este tipo de mercados una buena alternativa para poder realizar inversiones. Una manera simplificada, pero a la vez efectiva, de comprobar la existencia de empresas de este tipo cotizadas en el mercado alternativo, es la de comprobar aquellas que han ganado el premio **European Small and Midcap Awards promovido por la Unión Europea** y apoyado por los principales **mercados bursátiles alternativos de Europa**, como son: *BME, a Six Company* (España) (BME, 2023), Nasdaq Helsinki (Finlandia), Nasdaq Stockholm (Suecia) o Nasdaq

Copenhagen (Dinamarca) (Nasdaq, 2024), Euronext Amsterdam (Países Bajos), Euronext Paris (Francia) (Euronext, 2024), *Deutsche Börse* (Alemania) (Deutsche Börse, 2024), *Prague Stock Exchange* (República Checa) (Prague Stock Exchange, 2024), *Bucharest Stock Exchange* (Rumanía) (Bucharest Stock Exchange, 2024) , entre otras.

Así la Tabla 42 muestra cómo a partir de las *keywords* definidas en el PASO 1 (siendo tecnológicas, tal y como detalla la Tabla 34), se realiza la búsqueda en las bases de datos seleccionadas ya que cada una aportará información para uno o varios indicadores. De este modo se conocerá la existencia de estándares o regulaciones y determinar el indicador I4.1 así como saber si hay empresas asociadas con la tecnología objeto de estudio y que están cotizadas en bolsa, para calcular el indicador I4.2. Posteriormente, esta información irá al PASO 3 para realizar el cálculo del TRL asociado a esta búsqueda.

Tabla 42. Módulo de negocios: información asociada, indicadores y bases de datos seleccionadas

Base de datos aplicada	Tipo de información	Indicador
<ul style="list-style-type: none"> <li>• CEN-CENELEC</li> <li>• ETSI</li> <li>• IAEA (nuclear)</li> <li>• Boeing (aeroespacial)</li> <li>• EuCIA (reciclaje de composites)</li> <li>• Small and Midcap Awards</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reglamentos</li> <li>• Estándares</li> <li>• Nuevos negocios</li> <li>• Inversores y movimientos en tecnologías</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• I4.1. Número reglamentos asociados / grupos de trabajo</li> <li>• I4.2. Número de empresas tecnológicas cotizadas en bolsa (mercado alternativo)</li> </ul>

Por último, siguiendo las indicaciones ya mencionadas en la Tabla 30 sobre los valores e interpretación de los resultados asociados a los indicadores del módulo de negocios, la Tabla 50 muestra los valores y significados para los indicadores (I4.n) de dicho módulo.

Tabla 43. Módulo de proyectos: resumen de los valores y significado de sus indicadores

Indicador	Explicación	Valor
<b>I4.1.</b> Número reglamentos asociados/grupos de trabajo <b>I4.2.</b> Número de empresas tecnológicas cotizadas en bolsa (mercado alternativo)	= 0	No hay ninguno/a.
	= 1	Si hay 1 unidad.
	> 1	Si hay más de 1 unidad.
	≤ 1	Si hay 1 unidad o menos.

### 7.3.2.5 Módulo de Noticias/Redes Sociales o News/Social Media Module – búsqueda en sus bases de datos

Este módulo encuentra la información relativa a noticias y/o publicaciones asociadas a la tecnología objeto de estudio.

De todas las fuentes de información gratuitas con potencial de aplicación detalladas en el anexo 12.3, se ha determinado que la mejor opción a la que recurrir a Google como buscador de

información filtrando por “*Noticias*”, y a su vez aplicando el filtro de fechas personalizadas para buscar aquellas noticias que hayan ocurrido principalmente, en el pasado. Para aquellas más actuales se puede recurrir a esta herramienta o bien a *Google News* pero cabe recordar que, en España durante un periodo de tiempo relativamente largo, la multinacional dejó de ofrecer en España este servicio gratuito durante 8 años, desde 2014 a 2022 (El Mundo, 2022).

Por otro lado, cabe destacar que la autora, tras analizar las principales redes sociales existentes, tanto aquellas de fines más profesionales como LinkedIn e incluso Twitter, así como aquellas para fines más lúdicos como TikTok, ha determinado que son relevantes en el caso de hacer un estudio de tendencias tecnológicas en el presente. En cambio, desde el punto de vista de la metodología desarrollada en esta investigación, lo interesante es poder consultar datos históricos en el pasado de cada una de ellas, y esto no es factible llevarlo a cabo ni de manera sencilla ni de manera gratuita.

Así la Tabla 44 muestra cómo a partir de las *keywords* definidas en el PASO 1 (siendo tecnológicas, tal y como detalla la Tabla 34), se realiza la búsqueda en las bases de datos seleccionadas ya que cada una aportará información para el indicador definido. De este modo se conocerá la existencia de publicaciones y/o noticias asociadas y se podrá determinar el indicador I5.1. Posteriormente, esta información irá al PASO 3 para realizar el cálculo del TRL asociado a esta búsqueda.

Tabla 44. Módulo de noticias: información asociada, indicadores y bases de datos seleccionadas

Base de datos aplicada	Tipo de información	Indicador
<ul style="list-style-type: none"> <li>Google (Filtro: Noticias)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Publicaciones con mención a la tecnología</li> <li>Noticias</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>I5.1. Número de publicaciones y/o noticias</li> </ul>

Por último, siguiendo las indicaciones ya mencionadas en la Tabla 30 sobre los valores e interpretación de los resultados asociados a los indicadores del módulo de negocios, la Tabla 52 muestra los valores y significados para los indicadores (I5.n) de dicho módulo.

Tabla 45. Módulo de proyectos: resumen de los valores y significado de sus indicadores

Indicador	Explicación	Valor
I5.1. Número de publicaciones y/o noticias	= 0	No hay ninguno/a.
	= 1	Si hay 1 unidad.
	> 1	Si hay más de 1 unidad.
	≤ 1	Si hay 1 unidad o menos.

### 7.3.3 PASO 3. Cálculo del TRL

El cálculo del TRL se realiza aplicando una serie de criterios que utilizan los indicadores determinados en el PASO 2, descrito en el apartado anterior. En la Tabla 46 y la Tabla 47 se muestran los criterios propuestos para cada uno de los TRL de la escala (desde TRL1 a TRL9), y su relación con cada uno de los módulos e indicador(es) asociado(s), en su versión simplificada y ampliada, respectivamente. Si bien posteriormente se hará un detalle del cálculo para cada uno de los TRLs mencionados, de manera general la metodología se aplica conforme a los siguientes principios:

- Cada TRL se calcula como combinación de una serie de criterios que usan los indicadores anteriormente calculados.
- Los indicadores pueden pertenecer a uno o más módulos, en función del tipo de actividad en la que nos encontremos (según se adelantó en la Figura 34).
- Los criterios podrán usar, en ocasiones, indicares distintos en función de la disponibilidad de los mismos. Como regla general, los criterios de cálculo (también llamado “cálculo estándar”) se aplican sobre aquellos indicadores que están marcados en verde y/o naranja en las tablas. La diferencia de colores radica en su mayor o menor importancia a la hora de hacer el cálculo, en caso de tener que realizar ponderaciones de los mismos en versiones futuras de la metodología. No ha sido el caso para la versión actual de la metodología y conforme a los resultados de Validación que se mostraran en el capítulo 8, pero se incluyen para dar mayor flexibilidad y capacidad de adaptación a la metodología.
- Se plantean criterios específicos para discriminar entre TRL contiguos. Los criterios de cálculo mostrados en las tablas en rosa/morado, son aquellos propuestos para aquellos casos excepcionales donde se deba hacer un desbloqueo o haya dudas para diferenciar la frontera entre ciertos valores de TRL por cómo ha sido definida la metodología. Si no se requiere discriminar entre dos posibles valores de TRL no se aplicarían. Los casos para los que se han propuesto ese mecanismo adicional para discriminar entre TRL contiguos son: entre el TRL1 y el TRL2; entre el TRL3 y el TRL4; entre el TRL 4 y el TRL5; y, por último, entre el TRL5 y el TRL6.

Lo indicado aquí es una visión general de la metodología, pudiendo encontrarse el detalle del cálculo para cada TRL en los siguientes subapartados. La Tabla 46 y Tabla 47 muestran de una manera más breve y detallada, respectivamente, la relación de cada nivel de TRL con los módulos de la metodología desarrollada. Igualmente, se indican aquellos indicadores (I<sub>ij</sub>) que son relevantes dentro de cada módulo *i* para cada uno de los niveles de TRL. Por último, cabe recordar que el objetivo de esta metodología es determinar el estado de un TRL en un momento dado,

pasado o presente, pero generalmente es un análisis pasado (retrospectivo) ya que se basa en la existencia de datos.

Tabla 46. Metodología de desarrollo propio: Relación de TRLs con módulos e indicadores asociados según su relevancia (versión simplificada)

	Descripción	1. M. académico	2. M. patentes	3. M. proyectos	4. M. negocio	5. M. noticias
TRL1	Se observan principios básicos	I1.1.				
TRL2	Se formula el concepto tecnológico	I1.1.				
		I1.2.				
		I1.3.				
TRL3	Prueba de Concepto (PoC) experimental	I1.1. I1.2.	I2.1.	I3.1.		
				I3.2.		
				I3.6.		
TRL4	Tecnología validada en el laboratorio	I1.1. I1.2.	I2.1.	I3.1. I3.2. I3.6.		I5.1.
TRL5	Tecnología validada en un entorno relevante		I2.1.	I3.1. I3.2. I3.4. I3.6.	I4.1. I4.2.	I5.1.
TRL6	Tecnología demostrada en un entorno relevante		I2.1.	I3.1. I3.2. I3.4.	I4.1. I4.2.	I5.1.
TRL7	Demostración del modelo o prototipo del sistema en un entorno operativo		I2.1.	I3.1. I3.2. I3.3. I3.4. I3.5.	I4.1. I4.2.	I5.1.
TRL8	Sistema completado y cualificado			I3.3. I3.5.	I4.1. I4.2.	I5.1.
TRL9	Sistema actual probado en un entorno operativo			I3.3.	I4.1. I4.2.	I5.1.

Tabla 47. Metodología de desarrollo propio: Relación de TRLs con módulos e indicadores asociados según su relevancia (versión ampliada)

	1. Módulo académico	2. Módulo de patentes	3. Módulo de proyectos	4. Módulo de negocio	5. Módulo de noticias/redes sociales
<b>TRL1</b>	<b>I1.1.</b> Número de artículos				
<b>TRL2</b>	<b>I1.1.</b> Número de artículos <b>I1.2.</b> Número de citas				
	<b>I1.3.</b> Existencia de información sobre el origen de la financiación y que está esté asociado a un proyecto de investigación				
<b>TRL3</b>	<b>I1.1.</b> Número de artículos <b>I1.2.</b> Número de citas	<b>I2.1.</b> Número de patentes / solicitudes de patentes	<b>I3.1.</b> Número de proyectos <b>I3.2.</b> Rango TRL asociado		
			<b>I3.6.</b> Número de iniciativas bajo definición “Exploring”		
<b>TRL4</b>	<b>I1.1.</b> Número de artículos <b>I1.2.</b> Número de citas	<b>I2.1.</b> Número de patentes / solicitudes de patentes	<b>I3.1.</b> Número de proyectos <b>I3.2.</b> Rango TRL asociado <b>I3.6.</b> Número de iniciativas bajo definición “Exploring”		<b>I5.1.</b> Número de publicaciones y/o noticias
<b>TRL5</b>		<b>I2.1.</b> Número de patentes / solicitudes de patentes	<b>I3.1.</b> Número de proyectos <b>I3.2.</b> Rango TRL asociado <b>I3.4.</b> Número de iniciativas bajo clasificación de “Tech ready” <b>I3.6.</b> Número de iniciativas bajo definición “Exploring”	<b>I4.1.</b> Número reglamentos asociados / grupos de trabajo <b>I4.2.</b> Número de empresas tecnológicas cotizadas en bolsa (mercado alternativo)	<b>I5.1.</b> Número de publicaciones y/o noticias

	1. Módulo académico	2. Módulo de patentes	3. Módulo de proyectos	4. Módulo de negocio	5. Módulo de noticias/redes sociales
TRL6		I2.1. Número de patentes / solicitudes de patentes	I3.1. Número de proyectos I3.2. Rango TRL asociado I3.4. Número de iniciativas bajo clasificación de “Tech ready”	I4.1. Número reglamentos asociados / grupos de trabajo I4.2. Número de empresas tecnológicas cotizadas en bolsa (mercado alternativo)	I5.1. Número de publicaciones y/o noticias
TRL7		I2.1. Número de patentes/solicitudes de patentes	I3.1. Número de proyectos I3.2. Rango TRL asociado I3.3. Número de iniciativas bajo clasificación de “Market ready” I3.4. Número de iniciativas bajo clasificación de “Tech ready” I3.5. Número de iniciativas bajo definición “Business ready”	I4.1. Número reglamentos asociados/grupos de trabajo I4.2. Número de empresas tecnológicas cotizadas en bolsa (mercado alternativo)	I5.1. Número de publicaciones y/o noticias
TRL8			I3.3. Número de iniciativas bajo clasificación de “Market ready” I3.5. Número de iniciativas bajo definición “Business ready”	I4.1. Número reglamentos asociados/grupos de trabajo I4.2. Número de empresas tecnológicas cotizadas en bolsa (mercado alternativo)	I5.1. Número de publicaciones y/o noticias
TRL9			I3.3. Número de iniciativas bajo clasificación de “Market ready”	I4.1. Número reglamentos asociados/grupos de trabajo I4.2. Número de empresas tecnológicas cotizadas en bolsa (mercado alternativo)	I5.1. Número de publicaciones y/o noticias

### 7.3.3.1 Cálculo del TRL1

El **TRL1** se alcanza cuando:

- Realizando en el **1. Módulo académico** una **búsqueda de keywords tecnológicas**, al menos hay un artículo (**I1.1=1**) relacionado con la tecnología de estudio – *cálculo estándar*.

Es decir, el TRL1 se alcanza cuando se cumple lo indicado en Tabla 48.

Tabla 48. Metodología propia - criterios de cumplimiento para TRL1

Cumplimiento de TRL1 (A)		
Criterio	Módulo	Condición
A	1. Módulo académico (cálculo estándar) con keywords tecnológicas	I1.1 = 1

### 7.3.3.2 Cálculo del TRL2

El **TRL2** se alcanza cuando:

- Realizando en el **1. Módulo académico** una **búsqueda de keywords tecnológicas**, al menos hay un artículo o más (**I1.1=1**) relacionado con la tecnología de estudio y además dicho artículo además está referenciado al menos una vez (**I1.2=1**) – *cálculo estándar*.

Adicionalmente, en eso(s) mismo(s) artículos encontrados en la búsqueda anterior, se puede confirmar si en el artículo se indica el origen de la financiación (**I1.3=1**). Si es así, se puede tratar de identificar si el origen de esta financiación procede de algún programa donde en la convocatoria o temática asociada (por ejemplo, H2020, *Horizon Europe...*) determine explícitamente los TRLs de inicio y fin esperados de los proyectos financiados. En dicho caso, se puede determinar si ese rango de TRLs indicado coincide con el TRL objetivo de esta búsqueda y si es así entonces cumple con el indicador asociado (**I1.4=1=I3.2**) – cálculo exclusivamente para desbloqueo.

Es decir, el TRL2 se alcanza cuando se cumple lo indicado en la Tabla 49. Por lo tanto, si no se cumple el criterio A, habría que recurrir al criterio adicional B. Si este se cumple, entonces el TRL2 se alcanza. Si no, se estaría en el TRL anterior (TRL1 en este caso).

Tabla 49. Metodología propia - criterios de cumplimiento para TRL2

Cumplimiento de TRL2 (A; B sólo para desbloqueo)		
Criterio	Módulo(s)	Condición
A	1. Módulo académico (cálculo estándar) con <i>keywords</i> tecnológicas	I1.1=1 y I1.2=1
B	1. Módulo académico (cálculo exclusivamente para desbloqueo) con <i>keywords</i> tecnológicas	I1.3=1

### 7.3.3.3 Cálculo del TRL3

El TRL3 se alcanza cuando, se cumple al menos una de estas dos premisas:

- Realizando en el **1. Módulo académico** una **búsqueda de keywords tecnológicas y keywords de aplicabilidad** (como “*proof of concept*” o “*prototype*”, es decir las indicadas para este TRL en la Tabla 33), hay más de un artículo publicado en el tema (**I1.1>1**) y además está referenciado por al menos un autor (**I1.2=1**) – *cálculo estándar*.
- Realizando en el **1. Módulo académico** una **búsqueda de keywords tecnológicas y keywords de aplicabilidad** (como “*proof of concept*” o “*prototype*”, es decir las indicadas para este TRL en la Tabla 33), y cuando aun no cumpliéndose una de las dos premisas anteriores, hay más de un artículo publicado en el tema y además está (**I1.1>1**) referenciado por al menos un autor (**I1.2=1**), sí se cumple que:
  - o bien, al realizar en el **3. Módulo de proyectos** una búsqueda de **keywords tecnológicas**, haya un proyecto que según la convocatoria o temática (**I3.1=1**) y además este esté en el mismo rango de TRL de aplicación (**I3.2=1**) – *cálculo estándar*;
  - o bien, al realizar en el **2. Módulo de patentes** una búsqueda de **keywords tecnológicas**, hay una patente o solicitud de patente en la temática (**I2.1=1**) – *cálculo estándar*;
  - o bien, al realizar en el **3. Módulo de proyectos** una búsqueda de **keywords tecnológicas**, haya al menos una iniciativa asociada a proyectos en marcha bajo el rango de *Exploring* sea mayor o igual a 1 (**I3.6 = 1**) – *cálculo estándar*;
  - o todas las anteriores – *cálculo estándar*;

Es decir, el **TRL3** se alcanza cuando se cumple lo indicado en Tabla 50.

Tabla 50. Metodología propia - criterios de cumplimiento para TRL3

Cumplimiento de TRL3 (A y/o B*)		
*B se cumple cuando se da b0 y si se da b1 y/o b2 y/o b3		
Criterio	Módulo(s)	Condición
A	1. Módulo académico ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas y de aplicabilidad.	I1.1>1 y I1.2=1
B(b0)	1. Módulo académico ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas y de aplicabilidad.	I1.1≤1 y/o I1.2≠1
b1	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.1=1 y I3.2=1
b2	2. Módulo de patentes ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I2.1=1
b3	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.6=1

### 7.3.3.4 Cálculo del TRL4

El TRL4 se alcanza cuando, se cumplen al menos dos de estas cuatro premisas:

- Realizando en el **1. Módulo académico** una **búsqueda de keywords tecnológicas y keywords de aplicabilidad** (como “*proof of concept*” o “*prototype*”, es decir las indicadas para este TRL en la Tabla 33), hay más de un artículo publicado en el tema (**I1.1=1'**) y además está referenciado por al menos un autor (**I1.2=1**).
- Realizando en el **2. Módulo de patentes** una **búsqueda de keywords tecnológicas**, hay una patente o solicitud de patente en la temática (**I2.1=1**);
- Realizando en el **3. Módulo de proyectos** una **búsqueda de keywords tecnológicas**, hay un proyecto en la tecnología objeto de estudio (**I3.1=1**) que además está en el mismo rango de TRL de aplicación basándose en la información asociada del mismo o convocatoria/temática en la que se financió (**I3.2=1**);
- Realizando en el **3. Módulo de proyectos** una **búsqueda de keywords tecnológicas**, el número de iniciativas asociadas a proyectos tecnológicos asociados bajo el rango de clasificación de *Exploring* es mayor o igual 1 (**I3.6=1**);

Adicionalmente, realizando en el **5. Módulo de Noticias/Redes sociales** una **búsqueda de keywords tecnológicas**, se puede confirmar si hay publicaciones y/o noticias (**I5.1=1**) asociadas con la tecnología haciendo uso de las *keywords tecnológicas* – cálculo exclusivamente para desbloqueo.

Es decir, el **TRL4** se alcanza cuando se cumple lo indicado en la Tabla 51. Por lo tanto, si se verifica que menos de dos de los cuatro criterios (A, B, C o D) se cumplen (es decir que no se cumplen dos o más de los cuatro criterios iniciales), habría que recurrir al criterio adicional E. Si este se cumple, entonces el TRL4 se alcanza. Si no, se estaría en el TRL anterior (TRL3).

Tabla 51. Metodología propia - criterios de cumplimiento para TRL4

Cumplimiento de TRL4 (al menos dos de A, B, C o D; E sólo para desbloqueo)		
Criterio	Módulo(s)	Condición
A	1. Módulo académico ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords tecnológicas</i> y de aplicabilidad.	I1.1>1 y I1.2=1
B	2. Módulo de patentes ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords tecnológicas</i>	I2.1=1
C	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords tecnológicas</i>	I3.1=1 y I3.2=1
D	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords tecnológicas</i>	I3.6=1
E	5. Módulo de Noticias/Redes Sociales ( <i>cálculo exclusivamente para desbloqueo</i> )	I5.1=1

### 7.3.3.5 Cálculo del TRL5

El TRL5 se alcanza cuando, se cumplen al menos dos de estas cuatro premisas:

- Realizando en el **2. Módulo de patentes** una **búsqueda de keywords tecnológicas**, hay una patente o solicitud de patente en la temática (**I2.1=1**);
- Realizando en el **3. Módulo de proyectos** una **búsqueda de keywords tecnológicas**, hay un proyecto en la tecnología objeto de estudio (**I3.1=1**) que además está en el mismo rango de TRL de aplicación basándose en la información asociada del mismo o convocatoria/temática en la que se financió (**I3.2=1**);
- Realizando en el **3. Módulo de proyectos** una **búsqueda de keywords tecnológicas**, el número de iniciativas asociadas a proyectos tecnológicos asociados bajo el rango de clasificación de *Tech ready* es mayor o igual 1 (**I3.4=1**);
- Realizando en el **3. Módulo de proyectos** una **búsqueda de keywords tecnológicas**, el número de iniciativas asociadas a proyectos tecnológicos asociados bajo el rango de clasificación de *Exploring* es mayor o igual 1 (**I3.6=1**);
- Adicionalmente, **en caso de necesitar realizar un desbloqueo**, se añade este criterio que se debe cumplir. Este criterio adicional requiere que **se cumplan una o varias de las siguientes premisas** para confirmar que se cumple el TRL5:
  - Realizando en el **4. Módulo de Negocios** una **búsqueda de keywords tecnológicas**, existen reglamentos asociados con la tecnología o grupos de trabajo asociados (**I4.1=1**) y/o hay empresas cotizadas en bolsa en esta tecnología en el mercado alternativo (**I4.2=1**).
  - Realizando en el **5. Módulo de Noticias/Redes Sociales** una **búsqueda de keywords tecnológicas**, hay publicaciones y/o noticias asociadas con la tecnología (**I5.1=1**).

Es decir, el **TRL5** se alcanza cuando se cumple lo indicado en la Tabla 52. Por lo tanto, si se verifica que menos de dos de los cinco criterios (A, B, C o D) se cumplen (es decir que no se cumplen dos o más de los cinco criterios iniciales), habría que recurrir al criterio adicional E. Si este se cumple, entonces el TRL5 se alcanza. Si no, se estaría en el TRL anterior (TRL4 en este caso).

Tabla 52. Metodología propia - criterios de cumplimiento para TRL5

Cumplimiento de TRL5 (al menos dos de A, B, C o D; E sólo para desbloqueo)		
*E se cumple cuando se da e1 y/o e2		
Criterio	Módulo(s)	Condición
A	2. Módulo de patentes (cálculo estándar) con <i>keywords</i> tecnológicas	I2.1=1
B	3. Módulo de proyectos (cálculo estándar) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.1=1 y I3.2=1
C	3. Módulo de proyectos (cálculo estándar) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.4=1
D	3. Módulo de proyectos (cálculo estándar) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.6=1
E	Criterio adicional (cálculo exclusivamente para desbloqueo) con <i>keywords</i> tecnológicas	E=e1 y/ oe2
e1	4. Módulo de Negocios (cálculo exclusivamente para desbloqueo)	I4.1=1 y/o I4.2=1
e2	5. Módulo de Noticias/Redes Sociales cálculo exclusivamente para desbloqueo)	I5.1=1

### 7.3.3.6 Cálculo del TRL6

El TRL6 se alcanza cuando, se cumplen al menos tres de estas cinco premisas:

- Realizando en el **2. Módulo de patentes** una **búsqueda de *keywords* tecnológicas**, hay una patente o solicitud de patente en la temática (**I2.1=1**);
- Realizando en el **3. Módulo de proyectos** una **búsqueda de *keywords* tecnológicas**, hay un proyecto en la tecnología objeto de estudio (**I3.1=1**) que además está en el mismo rango de TRL de aplicación basándose en la información asociada del mismo o convocatoria/temática en la que se financió (**I3.2=1**);
- Realizando en el **3. Módulo de proyectos** una **búsqueda de *keywords* tecnológicas**, el número de iniciativas asociadas a proyectos tecnológicos asociados bajo el rango de clasificación de *Tech ready* es mayor o igual 1 (**I3.4=1**);
- Realizando en el **4. Módulo de Negocios** una **búsqueda de *keywords* tecnológicas**, existen reglamentos asociados con la tecnología o grupos de trabajo asociados (**I4.1=1**) y/o hay empresas cotizadas en bolsa en esta tecnología en el mercado alternativo (**I4.2=1**).
- Realizando en el **5. Módulo de Noticias/Redes Sociales** una **búsqueda de *keywords* tecnológicas**, hay publicaciones y/o noticias asociadas con la tecnología (**I5.1=1**).

Es decir, el **TRL6** se alcanza cuando se cumple lo indicado en la Tabla 53.

Tabla 53. Metodología propia - criterios de cumplimiento para TRL6

Cumplimiento de TRL6 (al menos dos de A, B, C, D o E)		
Criterio	Módulo(s)	Condición
A	2. Módulo de patentes ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I2.1=1
B	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.1=1 y I3.2=1
C	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.4=1
D	4. Módulo de Negocios ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I4.1=1 y/o I4.2=1
E	5. Módulo de Noticias/Redes Sociales cálculo exclusivamente para desbloqueo)	I5.1=1

### 7.3.3.7 Cálculo del TRL7

El TRL7 se alcanza cuando, se cumplen, al menos, cuatro de las siguientes siete premisas:

- Realizando en el **2. Módulo de patentes** una **búsqueda de *keywords* tecnológicas**, hay una patente o solicitud de patente en la temática (**I2.1=1**);
- Realizando en el **3. Módulo de proyectos** una **búsqueda de *keywords* tecnológicas**, hay un proyecto en la tecnología objeto de estudio (**I3.1=1**) que, además, está en el mismo rango de TRL de aplicación basándose en la información asociada del mismo o convocatoria/temática en la que se financió (**I3.2=1**);
- Realizando en el **3. Módulo de proyectos** una **búsqueda de *keywords* tecnológicas**, el número de iniciativas asociadas a proyectos tecnológicos asociados bajo el rango de clasificación de *Market ready* es mayor o igual 1 (**I3.3=1**);
- Realizando en el **3. Módulo de proyectos** una **búsqueda de *keywords* tecnológicas**, el número de iniciativas asociadas a proyectos tecnológicos asociados bajo el rango de clasificación de *Tech ready* es mayor o igual 1 (**I3.4=1**);
- Realizando en el **3. Módulo de proyectos** una **búsqueda de *keywords* tecnológicas**, el número de iniciativas asociadas a proyectos tecnológicos asociados bajo el rango de clasificación de *Business ready* es mayor o igual 1 (**I3.5=1**);
- Realizando en el **4. Módulo de Negocios** una **búsqueda de *keywords* tecnológicas**, existen reglamentos asociados con la tecnología o grupos de trabajo asociados (**I4.1=1**) y/o hay empresas cotizadas en bolsa en esta tecnología en el mercado alternativo (**I4.2=1**).
- Realizando en el **5. Módulo de Noticias/Redes Sociales** una **búsqueda de *keywords* tecnológicas**, hay publicaciones y/o noticias asociadas con la tecnología (**I5.1=1**).

Es decir, el **TRL7** se alcanza cuando se cumple lo indicado en la Tabla 54.

Tabla 54. Metodología propia - criterios de cumplimiento para TRL7

Cumplimiento de TRL7 (al menos cuatro de A, B, C, D, E, F o G)		
Criterio	Módulo(s)	Condición
A	2. Módulo de patentes (cálculo estándar) con <i>keywords</i> tecnológicas	I2.1=1
B	3. Módulo de proyectos (cálculo estándar) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.1=1 y I3.2=1
C	3. Módulo de proyectos (cálculo estándar) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.3=1
D	3. Módulo de proyectos (cálculo estándar) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.4=1
E	3. Módulo de proyectos (cálculo estándar) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.5=1
F	4. Módulo de Negocios (cálculo estándar) con <i>keywords</i> tecnológicas	I4.1=1 y/o I4.2=1
G	5. Módulo de Noticias/Redes Sociales (cálculo estándar) con <i>keywords</i> tecnológicas	I5.1=1

### 7.3.3.8 Cálculo del TRL8

El TRL8 se alcanza cuando, se cumplen al menos dos de estas cuatro premisas:

- Realizando en el **3. Módulo de proyectos** una **búsqueda de *keywords* tecnológicas**, el número de iniciativas asociadas a proyectos tecnológicos asociados bajo el rango de clasificación de *Market ready* es mayor o igual 1 (**I3.3=1**);
- Realizando en el **3. Módulo de proyectos** una **búsqueda de *keywords* tecnológicas**, el número de iniciativas asociadas a proyectos tecnológicos asociados bajo el rango de clasificación de *Business ready* es mayor o igual 1 (**I3.5=1**);
- Realizando en el **4. Módulo de Negocios** una **búsqueda de *keywords* tecnológicas**, existen reglamentos asociados con la tecnología o grupos de trabajo asociados (**I4.1=1**) y/o hay empresas cotizadas en bolsa en esta tecnología en el mercado alternativo (**I4.2=1**).
- Realizando en el **5. Módulo de Noticias/Redes Sociales** una **búsqueda de *keywords* tecnológicas**, hay publicaciones y/o noticias asociadas con la tecnología (**I5.1=1**).

Es decir, el **TRL8** se alcanza cuando se cumple lo indicado en la Tabla 55.

Tabla 55. Metodología propia - criterios de cumplimiento para TRL8

Cumplimiento de TRL8 (al menos dos de A, B, C o D)		
Criterio	Módulo(s)	Condición
A	3. Módulo de proyectos (cálculo estándar) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.3=1
B	3. Módulo de proyectos (cálculo estándar) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.5=1
C	4. Módulo de Negocios (cálculo estándar) con <i>keywords</i> tecnológicas	I4.1=1 y/o I4.2=1

Cumplimiento de TRL8 (al menos dos de A, B, C o D)		
Criterio	Módulo(s)	Condición
D	5. Módulo de Noticias/Redes Sociales (cálculo estándar) con <i>keywords</i> tecnológicas	I5.1=1

### 7.3.3.9 Cálculo del TRL9

El TRL9 se alcanza cuando, se cumplen al menos dos de estas tres premisas:

- Realizando en el **3. Módulo de proyectos** una **búsqueda de *keywords* tecnológicas**, el número de iniciativas asociadas a proyectos tecnológicos asociados bajo el rango de clasificación de *Market ready* es mayor o igual 1 (**I3.3=1**);
- Realizando en el **4. Módulo de Negocios** una búsqueda de ***keywords* tecnológicas y *keywords* de aplicabilidad** (por ejemplo, *product* según detalle de la Tabla 33), existen reglamentos asociados con la tecnología o grupos de trabajo asociados (**I4.1=1**) y/o hay empresas cotizadas en bolsa en esta tecnología en el mercado alternativo (**I4.2=1**).
- Realizando en el **5. Módulo de Noticias/Redes Sociales** una búsqueda de ***keywords* tecnológicas**, aparecen publicaciones y/o noticias asociadas con la tecnología (**I5.1=1**).

Es decir, el **TRL8** se alcanza cuando se cumple lo indicado en la Tabla 56.

Tabla 56. Metodología propia - criterios de cumplimiento para TRL9

Cumplimiento de TRL9 (al menos dos de A, B o C)		
Criterio	Módulo(s)	Condición
A	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.3=1
B	4. Módulo de Negocios ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas y <i>keywords</i> de aplicabilidad	I4.1=1 y/o I4.2=1
C	5. Módulo de Noticias/Redes Sociales ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I5.1=1

## 8 VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA DESARROLLADA

### 8.1 Selección de casos para la validación

#### 8.1.1 Estructura de la validación

Tras haber desarrollado una metodología propia, descrita en el capítulo 7, a continuación, se llevará a cabo la validación de esta, por medio de una serie de tests o pruebas de validación. Para ello, se han identificado ciertos casos de aplicación de tecnologías objetivo donde se detalla el TRL asociado y la fecha en la que se hace tal afirmación, así como la referencia asociada.

Tal y como se ha indicado anteriormente, la situación tecnológica actual ha variado ligeramente con respecto a lo que había propuesto inicialmente en el Plan de Investigación, y por ello se ha tenido que actualizar el rango de tecnologías de aplicación industrial a considerar durante esta fase de validación de la metodología propia. En este punto, se han seleccionado seis pruebas de validación que permiten validar toda la escala de TRLs para diversas tecnologías y casos de aplicación, tal y como muestra la Figura 38. A partir del cambio de paradigma que propone esta metodología y que se ha esquematizado en la Figura 38, las pruebas de validación permitirán comprobar:

- **Rango de TRL1-TRL3:** los tests a) y b) permitirán comprobar no sólo que la tecnología está en el TRL3 en el año indicado en su campo de aplicación, sino también que para llegar a TRL3 se deben cumplir previamente el TRL1 y el TRL 2. Además, hay una prueba de contorno adicional, mediante la que se comprueba que inequívocamente la metodología asigna TRL3 y no tiene dudas con que pudiera ser TRL4, es decir, para descartar que TRL4 se cumple.
- **Rango de TRL4-TRL6:** los tests c) y d) permitirán, no sólo comprobar que la tecnología se encuentra en el TRL6 en el año indicado en su campo de aplicación, sino también que para llegar a TRL6 ha debido cumplir previamente con las condiciones de los TRLs anteriores, es decir, desde TRL1 a TRL6. Igualmente, se ha hecho una prueba adicional, la prueba de contorno, para descartar que TRL7 se cumpla.

- Rango de TRL7-TRL9:** los tests e) y f) permitirán, no sólo comprobar que la tecnología se encuentra en el TRL8-9 en el año indicado en su campo de aplicación, sino también que para llegar a TRL8-9 ha debido cumplir previamente con las condiciones de los TRLs anteriores, es decir, desde TRL1 a TRL7-8. En este caso, se ha hecho una prueba de contorno para comprobar si en el caso del Test e), en el que se llega a TRL8, se puede discernir entre TRL8 y TRL9 de cara a identificar posibles limitaciones de la metodología.

TRL1	TRL2	TRL3	TRL4	TRL5	TRL6	TRL7	TRL8	TRL9
Test a)								
Test b)								
Test c)								
Test d)								
Test e)								
Test f)								

Figura 38. Vista general del planteamiento de las pruebas de validación de la metodología desarrollada

A continuación, se presentan en detalle los casos de aplicación (Test a), b), c), d), e) y f)) según los rangos de TRL mencionados anteriormente, antes de mostrar las pruebas de validación en sí mismas.

Dado que la validación, descrita con detalle en aras de su reproductibilidad, es extensa, se ha decidido mostrar en este capítulo solo el detalle de los cálculos de un test representativo por cada rango de TRL, es decir, el Test a) para el rango TRL1-3, Test d) para el rango TRL4-6 y Test e) para el rango TRL7-8. Se han elegido de esta forma para mostrar la mayor diversidad posible. El resto de los casos de validación son descritos con detalle en el Anexo I.

A continuación, se describirán los casos elegidos agrupados por el rango de TRLs.

### 8.1.2 Rango de TRL1-3

Las pruebas de validación definidas para este rango de TRL1-TRL3 son:

**Test a) :** según el artículo sobre los sistemas autónomos y robotizados (Stedman et al., 2023), el proyecto “Robótica para entornos nucleares” o RNE por sus siglas en inglés (“*Robots and Autonomous Systems for Nuclear Environments*”) está orientado a una investigación fundamental sobre una tecnología clave habilitadora como es la robótica y por tanto afirman que se encuentra en un rango TRL1-3. También mencionan que tiene tres áreas temáticas de investigación, como son: 1. Diseño de un sistema de bajo nivel para una operación robusta, 2. Colaboración y cooperación y 3. Autonomía avanzada para una percepción, navegación y manipulación robótica. Las características de esta prueba se muestran de manera resumida en la

Tabla 57.

**Test b)** : en la bibliografía se ha encontrado un artículo que evalúa el TRL de las distintas técnicas existentes de reciclaje de composites (Rybicka et al., 2016), publicado en 2016. La Figura 39 muestra las distintas técnicas asociadas en función de su TRL y dentro de ellas, se escoge entonces, la que se encuentra en TRL, como es “*Microwave heating*” o calentamiento por microondas. Las características de esta prueba se muestran de manera resumida en la

Tabla 57. Los resultados de la validación de este caso se encuentran descritos en el Anexo 1.

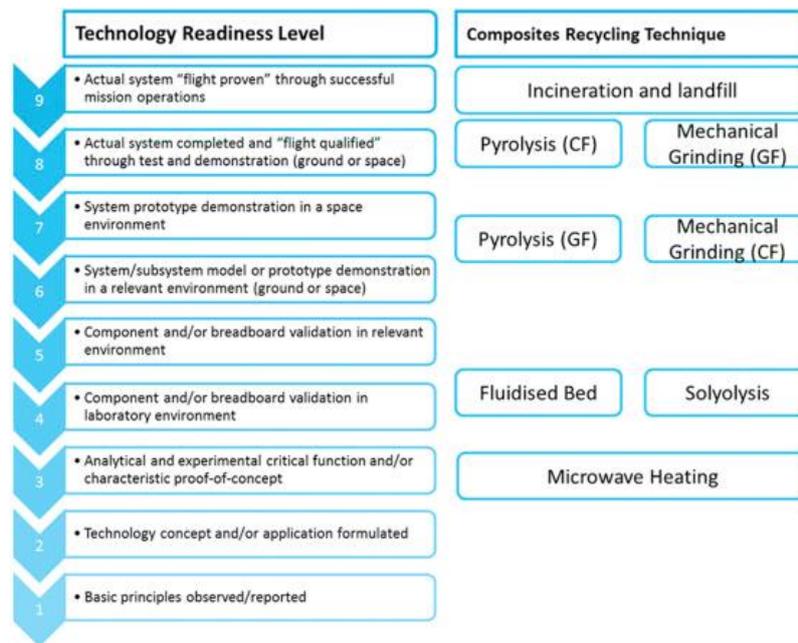


Figura 39. Asignación de técnicas de reciclaje de composites en la escala TRL (Rybicka et al., 2016)

Tabla 57. Principales características de las pruebas de validación del rango TRL1-3 (a) y b))

	Test a)	Test b)
<b>Año</b>	2017	2016
<b>Rango de TRL</b>	TRL1-3	TRL1-3 (TRL3)
<b>Tecnología/aplicación</b>	Colaboración y cooperación robótica en ambientes nucleares.	Tecnología de calentamiento por microondas para reciclaje de composites.

### 8.1.3 Rango de TRL4-7

Las pruebas de validación definidas para este rango de TRL4-TRL7 son:

**Test c):** según el artículo sobre los sistemas autónomos y robotizados (Watson S. et al., 2019), el proyecto RAINHub por sus siglas del inglés “*Robotics and Artificial Intelligence in Nuclear Hub*”, fundado por UKRI fue un partenariado entre las universidades de Manchester, Bristol, Lancaster, Liverpool, Nottingham y Oxford junto con la Agencia de la Energía Atómica de Reino Unido (*UK Atomic Energy Agency*) para hacer frente al reto de realizar colaboraciones en este

tipo de entornos complejos por medio de aplicaciones remotas, incluyendo un desarrollo activo en entornos reales (TRL4-TRL6). El proyecto abarca tres temas clave sobre los que realizar los casos de estudio: 1) Inspección remota; 2) Procesamiento en remoto; 3) Seguridad. La duración de este proyecto fue de octubre de 2017 a marzo de 2022 y el tema de investigación más tratado en el mismo, en porcentaje, ha sido Robótica y Autonomía (40%). Según esto, en términos absolutos se diría que los resultados asociados con la robótica en los temas 1), 2) y 3) se lograrían en 2022 y por tanto el TRL4-6 (TRL6) no se obtendría hasta el 2022. Sin embargo, se encontró un artículo publicado en 2018 (Aitken et al., 2018) sobre la gestión de residuos nucleares de manera autónoma donde en sus *keywords* ya menciona robot y de hecho indica que: “este artículo se centra en el diseño, desarrollo y demostración de un sistema robótico basado en un agente reconfigurable racional que pretende automatizar de manera notable estos procesos, eliminando la necesidad de supervisión humana. El sistema propuesto se demuestra por medio de una instalación basada en un laboratorio y de pequeño tamaño, que incorpora un brazo robótico a pequeña escala, una cámara de tiempo de vuelo, entre otros”. Esto quiere decir que se puede afirmar que entre 2017 esta tecnología se encuentra en TRL7-8 en el ámbito nuclear. Así, las características de esta prueba se muestran de manera resumida en la Tabla 58. La validación para este caso se encuentra descrita en el Anexo 1

**Test d) :** En la bibliografía se había encontrado un artículo que evalúa los TRL de casos de uso de *blockchain* actuales (Holm & Goduscheit, 2020). En particular, tras una revisión de artículos, identifica que la comercialización de energía entre pares para mercados locales (“*Peer to peer energy trading for local markets*”), basando este intercambio en *blockchain*, se encuentra en TRL6 en 2019. El artículo original donde se encontraba esta información es (Siano et al., 2019). Las características de esta prueba se muestran de manera resumida en la Tabla 58.

Tabla 58. Principales características de las pruebas de validación del rango TRL4-6 (c) y d))

	Test c)	Test d)
<b>Año</b>	2017	2019
<b>Rango de TRL</b>	TRL4-6	TRL4-6 (TRL6)
<b>Tecnología/aplicación</b>	Robótica para inspección remota, procesamiento remoto y casos de estudio de seguridad en entornos industriales colaborativos para aplicaciones en remoto. Desarrollo activo en entornos reales.	Comercialización de energía entre pares para mercados locales ( <i>Peer to peer energy trading for local markets</i> )

#### 8.1.4 Rango de TRL7-9

Las pruebas de validación definidas para este rango de TRL7-TRL9 son:

**Test e):** en la bibliografía se ha encontrado un artículo que evalúa los TRL de casos de uso de *blockchain* actuales (Holm & Goduscheit, 2020). En particular, tras una revisión de artículos, identifica que el *blockchain* para hacer un seguimiento de la proveniencia de productos (“*Blockchain for tracking the provenance of products*”) se encuentra en TRL8 en 2019. El artículo original donde se encontraba esta información es (Scuderi & Timpanaro, 2019). Las características de esta prueba se muestran de manera resumida en la Tabla 59. Esta prueba se encuentra detallada en el Anexo 1-

**Test f) :** en la bibliografía se ha encontrado un artículo que evalúa el TRL de las distintas técnicas existentes de reciclaje de composites (Rybicka et al., 2016), publicado en 2016. La Figura 39 muestra las distintas técnicas asociadas en función de su TRL y dentro de ellas, se escoge entonces, la que se encuentra en el TRL de interés. En este caso se selecciona la incineración y enterramiento para reciclaje de composite o materiales compuestos (“*Incineration and landfill for composite recycling technology*”) como TRL9 in 2016. Las características de esta prueba se muestran de manera resumida en la Tabla 59.

Tabla 59. Principales características de las pruebas de validación del rango TRL7-9 (e) y f))

	<b>Test e)</b>	<b>Test f)</b>
<b>Año</b>	2019	2016
<b>Rango de TRL</b>	TRL7-9 (TRL8)	TRL7-9 (TRL9)
<b>Tecnología/aplicación</b>	<i>Blokchain</i> para hacer un seguimiento de la proveniencia de productos.	Incineración y enterramiento para reciclaje de composite o materiales compuestos

## 8.2 Validación Test a) (Prueba 1.1) - rango TRL1-3

Se aplica la metodología desarrollada por medio de su aproximación en tres pasos: PASO 1. Definición de palabras clave o *keywords*, PASO 2. Búsqueda en las bases de datos del módulo o módulos de aplicación para cada caso a partir de las palabras definidas en el paso anterior y PASO 3. Cálculo de los TRLs según los valores obtenidos para cada indicador según la información resultante de paso previo. En este caso, se aplica el caso de aplicación llamado “Test a)” correspondiente a la Colaboración y cooperación robótica en ambientes nucleares (más detalles en la

Tabla 57).

### 8.2.1 PASO 1. *Keywords*

A partir de las características de esta prueba y de la tecnología y ámbito de aplicación asociado, las palabras clave definidas han sido: colaborativo, cooperativo, robot, robótica, colaboración y nuclear. Para su aplicación en la metodología, se usarán sus equivalentes en inglés detallados en la Tabla 60.



Tabla 60. Características de la Test a) y keywords asociadas.

Características - Test a)	
<b>Año</b>	2017
<b>Rango TRL/TRL</b>	TRL 1-3
<b>Tecnología</b>	Colaboración y cooperación robótica en ambientes nucleares
<b>Keywords – Test a)</b>	
<b>Keywords tecnológicas</b>	<i>Collaborative; Cooperative; Robot; Robotics; Collaboration; Nuclear;</i>

Con estas palabras clave definidas, se procede a realizar la búsqueda en las distintas bases de datos de cada módulo.

### 8.2.2 PASO 2.a. Búsqueda en BBDD de Módulo Académico

A partir de las palabras clave definidas en el PASO 1, se procede a realizar la búsqueda en el mismo, atendiendo al tipo de TRL para el que se realiza la búsqueda.

- **Búsqueda para TRL 1 y TRL2:** en esta búsqueda únicamente se utilizan las palabras clave tecnológicas mencionadas en la Tabla 60 y son las que se introducen en la herramienta de búsqueda seleccionada “*Publish or Perish*” detallada en la sección 7.3.2.1.

Tabla 61. Búsqueda en Módulo académico para TRL1-2 en Test a)

<b>Año</b>	2016-2017
<b>Sintaxis de búsqueda</b>	Collaborative OR Cooperative AND Robot AND Nuclear
<b>Fuente</b>	<i>Google Scholar</i>

La Figura 40 muestra los resultados obtenidos tras esta búsqueda en la herramienta “*Publish or Perish*” y como resultado de dicha prueba se analizan los artículos resultantes para comprobar que están relacionados con la tecnología objeto de estudio y el ámbito de aplicación de interés.

Figura 40. Resultados de búsqueda del Test a) en Módulo académico para TRL1-TRL2 (Harzing A., 2007)

Tras un análisis de los resultados obtenidos (exportados a un documento Excel), se comprueba que en 2017 hay al menos dos artículos/publicaciones científicas relacionados con la tecnología y aplicación objeto de estudio que se detallan a continuación.

- El primer artículo (Mallion A. et al., 2017) trata sobre aproximaciones innovadoras acerca del desmantelado de instalaciones nucleares y de hecho el texto en el que se encuentra la clave por las que identifica esta publicación científica, es “*12 Management of radioactive wastes, and non-radioactive wastes from nuclear facilities; comminution; containers; cutting; decommissioning; decontamination; fuel reprocessing plants; lasers; remote handling; robots; stainless steels*”. Cuenta con 1 cita, pero es de 2021, así que a efectos del periodo de estudio (2016-2017), significaría 0 citas.
- La segunda publicación científica (Laraia M. (Ed.), 2017) es un libro recapitulativo donde se habla de **tecnologías robóticas y operación remota en proyectos de desmantelado nuclear** (capítulo 14, páginas 346-374). En particular en su resumen presenta un estado del arte de la situación existente sobre robótica y equipos de solución remota para caracterización radiológica, desmantelado, demolición u otras actividades relacionadas con la puesta fuera de servicio de instalaciones nucleares. Cuenta con unas 17 citas y en 2018, cerca del periodo de estudio, con al menos una cita.

Cabe destacar que se ha tratado de replicar esta misma búsqueda atendiendo a la fuente de datos *Crossref*, para comprobar las limitaciones de ésta indicadas en la Tabla 37 y comprobó que la estrategia de búsqueda a seguir con *Crossref* debía ser, o bien realizar dos búsquedas en paralelo con la sintaxis de búsqueda “*Collaborative AND Robot AND Nuclear*” y “*Cooperative AND Robot AND Nuclear*” al no poder usarse el operador booleano “OR”. Con esta búsqueda no se encontraron resultados tan certeros como los resultantes de la búsqueda con *Google Scholar*. No obstante, se hizo uso de la opción del entrecomillado con la sintaxis de búsqueda “*Nuclear Collaborative Robot*” siendo la conclusión la misma que para la búsqueda en paralelo anterior, y es en base a esto que se decide utilizar para la búsqueda la fuente de datos de *Google Scholar* únicamente.

- **Búsqueda para TRL3-4:** en esta búsqueda se utilizan las palabras clave tecnológicas mencionadas en la Tabla 60 y algunas de las de aplicabilidad asociadas al TRL3-4 e indicadas en la Tabla 33. Todas ellas son las que se introducen en la herramienta de búsqueda seleccionada “*Publish or Perish*” detallada en la sección 7.3.2.1.

Tabla 62. Búsqueda en Módulo académico para TRL1-2 en Test a)

<b>Año</b>	2016-2017
------------	-----------

<b>Sintaxis de búsqueda</b>	<i>Collaborative OR Cooperative AND Robot AND Nuclear AND prototype</i>
<b>Fuente</b>	<i>Google Scholar</i>

En este caso, si bien la búsqueda devuelve resultados, realmente ninguno de ellos cumple con el hecho de que se trate de la tecnología robótica cooperativa o colaborativa en el ámbito nuclear y se mencione un prototipo o similar.

Ahora toda la información de las búsquedas anteriores se traduce en forma de indicadores del Módulo 1 y su valor asociado (Tabla 36) en función de los criterios de cada TRL (apartado 7.3.3). En primer lugar, la Tabla 63 muestra los resultados de la búsqueda del Módulo 1 aplicando *keywords* tecnológicas y cómo dichos resultados se traducen en un valor para cada indicador.

Tabla 63. Búsqueda del Módulo 1 para TRL1-2 - Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test a)

<b>Indicador y valor</b>	<b>Descripción</b>	<b>Explicación</b>
I1.1=1 (TRL1-2)	Número de artículos	Hay un artículo (o más-TRL2) sobre la temática- TRL1.
I1.2=1 (TRL1-2)	Número de citas	Pues hay 2 artículos (al menos 1) sobre la temática y uno de ellos ha sido publicado al menos una vez al año siguiente de su publicación (2018) – TRL2.

La Tabla 65 muestra los resultados de la búsqueda del Módulo 1 aplicando *keywords* tecnológicas y de aplicabilidad. Igualmente se muestran dichos resultados y cómo estos se traducen en un valor para cada indicador.

Tabla 64. Búsqueda del Módulo 1 para TRL3-4 - Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test a)

<b>Indicador y valor</b>	<b>Descripción</b>	<b>Explicación</b>
I1.1=0 (TRL3)	Número de artículos	No hay artículos sobre la temática tecnológica ni ámbito de aplicación utilizando <i>keywords</i> tecnológicas y de aplicación.
I1.2=0 (TRL3)	Número de citas	No hay citas porque no se han encontrado artículos.

### 8.2.3 PASO 2.b. Búsqueda en BBDD de Módulo de Patentes

A partir de las palabras clave definidas en el PASO 1, se procede a realizar la búsqueda en este módulo de patentes. En esta búsqueda únicamente se utilizan palabras clave tecnológicas con la sintaxis de búsqueda de la Tabla 65 y para años menores o iguales que 2018 dentro de la herramienta de búsqueda de patentes Espacenet detallada en el apartado 7.3.2.2.

Tabla 65. Búsqueda en Módulo de patentes en Test a) (I)

<b>Sintaxis de búsqueda</b>	(ta all "collaborative AND robots AND nuclear" OR ta all "cooperative AND robots AND nuclear") AND pd <= "2018"
<b>Fuente</b>	Espacenet: <a href="https://worldwide.espacenet.com/patent/search">https://worldwide.espacenet.com/patent/search</a>
<b>Resultados</b>	-

Como no se devuelve ningún resultado, se refina la búsqueda tal y como se muestra en la Tabla 66. En este caso, devuelve 282 resultados que se pueden exportar a un documento Excel, opción ofrecida por la herramienta, así como en otros formatos. Sin embargo, una vez analizadas las patentes en detalle, no hay ninguna cuya implantación realmente esté orientada al sector nuclear y por ello, no responde a lo que se busca desde la metodología desarrollada.

Tabla 66. Búsqueda en Módulo de patentes en Test a) (II)

<b>Sintaxis de búsqueda</b>	ta all "collaborative AND robots" OR ta all "cooperative AND robots") AND pd <= "2018"
<b>Fuente</b>	Espacenet: <a href="https://worldwide.espacenet.com/patent/search">https://worldwide.espacenet.com/patent/search</a>
<b>Resultados</b>	282 (válidos 0)

La información de las búsquedas anteriores se traduce en forma de indicadores del Módulo 2 y su valor asociado (Tabla 39) en función de los criterios de cada TRL (apartado 7.3.3). La Tabla 67 muestra los resultados de la búsqueda del Módulo 2 aplicando *keywords* tecnológicas y cómo dichos resultados se traducen en un valor para el indicador.

Tabla 67. Búsqueda del Módulo 2 para TRL3-4- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test a)

Indicador y valor	Descripción	Explicación
I2.1=0 (TR3-4)	Número de patentes/solicitudes de patentes	No hay patentes ni solicitudes de patentes asociadas.

#### 8.2.4 PASO 2.c. Búsqueda en BBDD de Módulo de proyectos

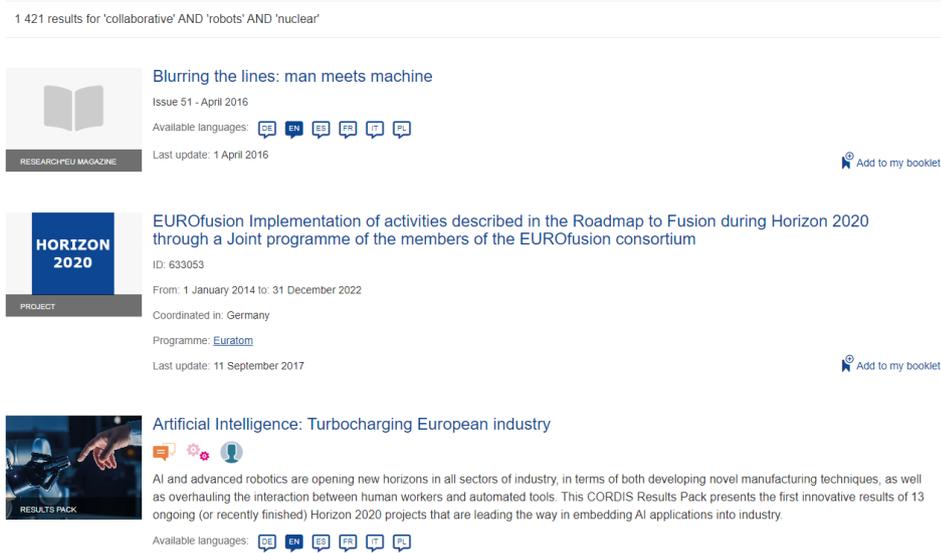
A partir de las palabras clave definidas en el PASO 1, se procede a realizar la búsqueda en este módulo de proyectos. En esta búsqueda únicamente se utilizan palabras clave tecnológicas y para ello se adaptará, si fuera necesario, a cada una de las dos fuentes de datos a aplicar.

- **Búsqueda en CORDIS:** para poder identificar proyectos en la temática. Para ello, se parte de la premisa de realizar la búsqueda usando las palabras clave, y en este sentido, el filtro por fechas se hace para cada uno de los resultados individualmente en función de si tecnológicamente y el campo de aplicación coincide con los que son objetivo en la prueba. Se aplica así en CORDIS la sintaxis de búsqueda de la Tabla 68, detallada en el apartado 7.3.2.3.

Tabla 68. Búsqueda en Módulo de proyectos en Test a) (CORDIS)

<b>Sintaxis de búsqueda</b>	collaborative robots nuclear
<b>Fuente</b>	CORDIS: <a href="https://cordis.europa.eu/search?q=%27collaborative%27%20AND%20%27robots%27%20AND%20%27nuclear%27&amp;p=1&amp;num=10&amp;srt=Relevance:decreasing">https://cordis.europa.eu/search?q=%27collaborative%27%20AND%20%27robots%27%20AND%20%27nuclear%27&amp;p=1&amp;num=10&amp;srt=Relevance:decreasing</a>
<b>Resultados</b>	1 proyecto (Eurofusion)

Los resultados de esta búsqueda se pueden encontrar siguiendo el enlace de la tabla anterior, y se muestra cómo se en la Figura 41. Analizando los resultados, el proyecto de interés para esta tecnología y caso de aplicación es EUROfusion, financiado dentro del programa Euratom y con una duración que va de 2014 a 2022. Por un lado, hay que destacar que el proyecto está financiado dentro del Programa Euratom y las características particulares, son: 1. Programa: H2020-Euratom - Euratom MAIN PROGRAMME, 2. Temática: EURATOM – EURATOM y 3. Convocatoria: EURATOM-Adhoc-2014-20. Para comprender el contexto del programa, se consulta el documento oficial del Tratado Euratom (*Euratom treaty*) donde se indica que uno de los objetivos de este es el de promover la investigación y asegurar la difusión de la información técnica (European Economic Community & European Atomic Energy Community, 1957) (European Union, 2012). Por lo tanto, se puede afirmar que es un programa de financiación de la I+D en el ámbito nuclear.



1 421 results for 'collaborative' AND 'robots' AND 'nuclear'

**Blurring the lines: man meets machine**  
Issue 51 - April 2016  
Available languages:   
Last update: 1 April 2016 

**EUROfusion Implementation of activities described in the Roadmap to Fusion during Horizon 2020 through a Joint programme of the members of the EUROfusion consortium**  
ID: 633053  
From: 1 January 2014 to: 31 December 2022  
Coordinated in: Germany  
Programme: [Euratom](#)  
Last update: 11 September 2017 

**Artificial Intelligence: Turbocharging European industry**  
AI and advanced robotics are opening new horizons in all sectors of industry, in terms of both developing novel manufacturing techniques, as well as overhauling the interaction between human workers and automated tools. This CORDIS Results Pack presents the first innovative results of 13 ongoing (or recently finished) Horizon 2020 projects that are leading the way in embedding AI applications into industry.  
Available languages: 

Figura 41. Resultados devueltos por CORDIS para la búsqueda en Test a)

Por otro lado, cabe destacar que en la página asociada de resultados del proyecto (European Commission, 2024j), se presenta un informe titulado originalmente en inglés “*Modelling, procurement, installation and commissioning work in 2018*” donde en cuyo apartado “2.6. Metodología” se habla acerca de que existe un equipo de manejo en remoto que usa un brazo robotizado (llamado MASCOT) que se puede mover alrededor dentro de tokamak (“tokamak” viene de un acrónimo ruso y es una máquina experimental para

aprovechar la energía de fusión (Foro Nuclear, 2024). El equipo de operaciones a su cargo lo opera remotamente, es decir, en sus resultados ya mencionan que habrá un robot colaborativo para operaciones en remoto tal y como se trataba de buscar.

Resumiendo, se ha encontrado un proyecto de investigación en el periodo objeto de análisis y para la tecnología objeto de estudio y aplicación.

- **Búsqueda en el *Innovation Radar*:** para poder identificar aquellas innovaciones tecnológicas asociadas al caso de ejemplo que se analiza y que se encuentren bajo la categoría de “Exploring”. Para ello, se parte de la premisa de realizar la búsqueda usando las palabras clave, y filtrando los resultados para que únicamente se muestren aquellas innovaciones bajo la categoría de interés. Se aplica así en *Innovation Radar* la sintaxis de búsqueda de la Tabla 77, detallada en el apartado 7.3.2.3.

Tabla 69. Búsqueda en Módulo de proyectos en Test a) (*Innovation Radar*) (I)

<b>Sintaxis de búsqueda</b>	collaborative robot nuclear / collaborative robot nuclear
<b>Fuente</b>	Innovation Radar: <a href="https://innovation-radar.ec.europa.eu/">https://innovation-radar.ec.europa.eu/</a> (“search bar” o barra de búsqueda)
<b>Resultados</b>	-

En la Figura 42 observa cómo la búsqueda no devuelve resultados y por eso se refina la búsqueda.

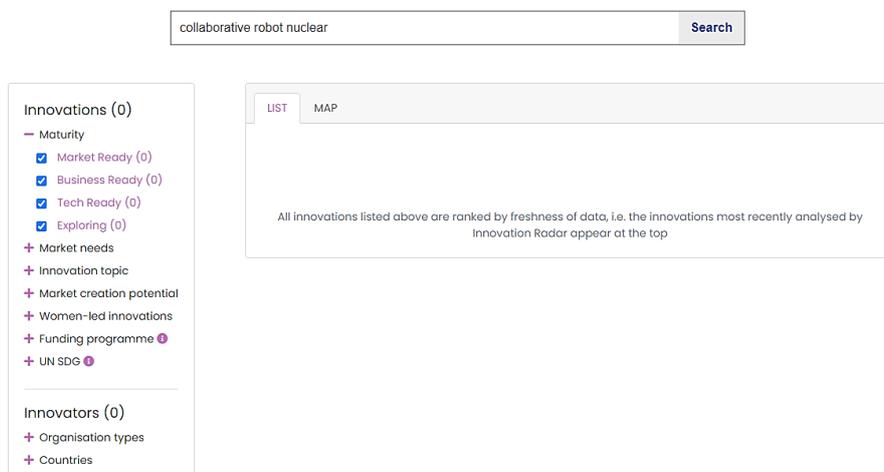


Figura 42. Resultados devueltos por *Innovation Radar* para la búsqueda en Test a) (I)

La nueva sintaxis de la nueva búsqueda se muestra en la Tabla 70 y en la Figura 43 se ven los resultados. Si bien es cierto que para la categoría de “Exploring” se devuelven hasta 70 resultados, al analizar los resultados, se ve que las innovaciones no son relevantes para este caso. Abajo, a modo de muestra, se presenta una selección de algunas de las innovaciones encontradas, pudiendo afirmar que no hay innovaciones bajo la categoría de “Exploring” asociadas a esta tecnología y ámbito de aplicación.

Tabla 70. Búsqueda en Módulo de proyectos en Test a) (Innovation Radar) (II)

<b>Sintaxis de búsqueda</b>	<i>collaborative robot</i>
<b>Fuente</b>	<i>Innovation Radar</i> : <a href="https://innovation-radar.ec.europa.eu/">https://innovation-radar.ec.europa.eu/</a> (“search bar” o barra de búsqueda)
<b>Resultados</b>	-

Algunos de los resultados indicados abajo muestran innovaciones del proyecto CANOPIES (European Commission, 2024d) sobre robots colaborativos con aplicación en agricultura y además el periodo del proyecto (2021-2024) no es el del rango de búsqueda. Otra de las innovaciones está asociada al proyecto CoLLaboratE (European Commission, 2024f) que si bien por duración podría encajar (2018-2022), está relacionado con aplicaciones en industria.

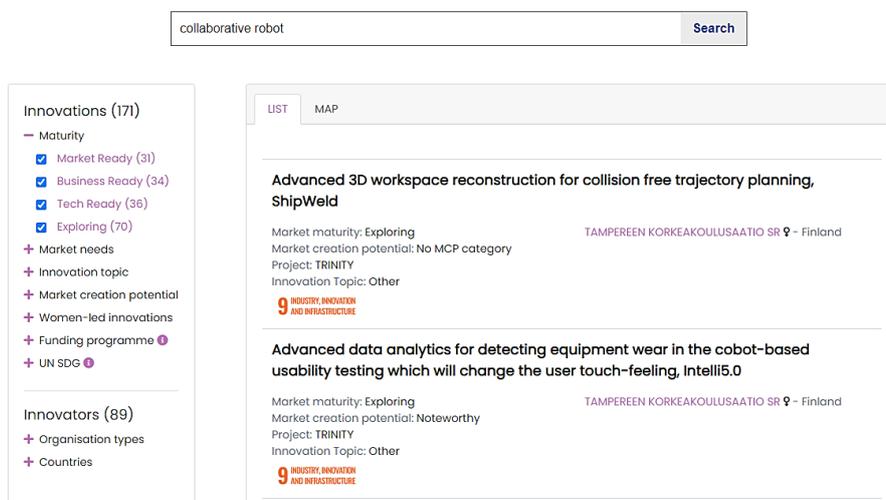


Figura 43. Resultados devueltos por Innovation Radar para la búsqueda en Test a) (II)

Ahora toda la información de las búsquedas anteriores se traduce en forma de indicadores del Módulo 3 y su valor asociado (Tabla 41) en función de los criterios de cada TRL (apartado 7.3.3). La Tabla 71 muestra los resultados de la búsqueda del Módulo 3 aplicando *keywords* tecnológicas y cómo dichos resultados se traducen en un valor para el indicador.

Tabla 71. Búsqueda del Módulo 3 para TRL3-4- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test a)

Indicador y valor	Descripción	Explicación
I3.1=1 (TRL3-4)	Número de proyectos	Hay un proyecto asociado con la tecnología y ámbito de aplicación.
I3.2=1 (TRL3-4)	Rango TRL asociado	Hay un proyecto asociado a la tecnología y ámbito de aplicación objeto de estudio que se encuentra dentro del TRL objeto de estudio.
I3.6=0 (TRL3-4)	Número de iniciativas bajo definición “Exploring”	No hay iniciativas bajo este rango de clasificación asociadas a esta tecnología y ámbito de aplicación.

## 8.2.5 PASO 2.e. Búsqueda en BBDD de Módulo de Noticias/Redes Sociales

A partir de las palabras clave definidas en el PASO 1, se procede a realizar la búsqueda en este módulo de noticias/redes sociales. En esta búsqueda únicamente se utilizan palabras clave tecnológicas con la sintaxis de búsqueda de la Tabla 72 y para el periodo de duración que comprende desde los 2017 a 2018 dentro de la herramienta de búsqueda Google y filtrando por “Noticias”, detallado en el apartado 7.3.2.5.

Tabla 72. Búsqueda en Módulo de noticias en Test a)

<b>Sintaxis de búsqueda</b>	<i>collaborative robots nuclear</i>
<b>Fuente</b>	Google: <a href="https://www.google.es/">https://www.google.es/</a> y filtrando por “Noticias”
<b>Resultados</b>	9 entradas, pero ninguna de ellas asociadas con robots colaborativos en entornos nucleares.

La Figura 44 muestra los resultados devueltos para la tecnología (robots colaborativos) en el ámbito seleccionado (nuclear) en el periodo de estudio. Tal y como se indicaba anteriormente, si bien hay noticias, ninguna de ellas trata sobre robots colaborativos en el sector nuclear y por tanto se puede afirmar que no hay noticias asociadas.

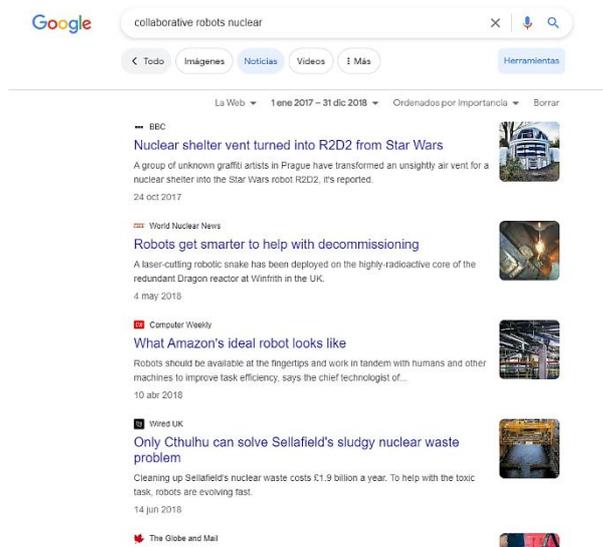


Figura 44. Resultados devueltos por Google (filtro de Noticias) para la búsqueda en Test a)

Ahora toda la información de las búsquedas anteriores se traduce en forma de indicadores del Módulo 5 y su valor asociado (Tabla 45) en función de los criterios de cada TRL (apartado 7.3.3). La Tabla 73 muestra los resultados de la búsqueda del Módulo 5 aplicando *keywords* tecnológicas y cómo dichos resultados se traducen en un valor para el indicador.

Tabla 73. Búsqueda del Módulo 5 para TRL4- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test a)

Indicador y valor	Descripción	Explicación
I5.1=0 (TRL4)	Número de publicaciones y/o noticias	No hay noticias o publicaciones asociadas al proyecto para esta tecnología y aplicación en el periodo de estudio.

### 8.2.6 PASO 3. Cálculo del TRL

En este último paso de la metodología, se procede a realizar el cálculo del TRL y comprobar si la metodología devuelve el mismo TRL que en el caso de estudio, es decir, se valida la precisión y robustez de la metodología seleccionada. Posteriormente, se realiza un análisis de los resultados.

#### Test a). Validación de la metodología para TRL1-TRL3

A continuación, se calculan los distintos TRL para validar si la metodología es capaz de determinar el TRL de este caso de aplicación a partir de los datos anteriores. Por lo tanto, las preguntas a realizarse son:

- **¿Cumple los criterios de TRL1?** Sí porque se cumple el único criterio establecido (A) en el Módulo académico. Por lo tanto, se considera que la tecnología ha alcanzado, al menos, el TRL1. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 74, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 63.

Tabla 74. Resultados del Test a) para el cálculo de TRL1

Cumplimiento de TRL1 (A)			Resultado Test a) (TRL1)	
Criterio	Módulo	Condición	Resultado	
A	1. Módulo académico (cálculo estándar) con keywords tecnológicas	I1.1 = 1	I1.1=1 ✓	Sí, pues hay más de un artículo sobre la temática.
<b>Conclusión:</b> A se cumple y por tanto se cumplen los criterios de TRL1.				

- **¿Cumple los criterios de TRL2?** Sí porque se cumple el único criterio establecido (A) en el Módulo académico. Por lo tanto, se considera que la tecnología ha alcanzado, al menos, el TRL2. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 76, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 63.

Tabla 75. Resultados del Test a) para el cálculo de TRL2

Cumplimiento de TRL2 (A)			Resultado Test a) (TRL2)	
Criterio	Módulo	Condición	Resultado	
A	1. Módulo académico (cálculo estándar) con keywords tecnológicas	I1.1=1 y I1.2=1	I1.1=1 y I1.2=1 ✓	Sí, pues hay 2 artículos (al menos 1) sobre la temática y uno de ellos ha sido citado al menos una vez al

Cumplimiento de TRL2 (A)			Resultado Test a) (TRL2)	
Criterio	Módulo	Condición	Resultado	
				año siguiente de su publicación (2018).
<b>Conclusión:</b> A se cumple y por tanto se cumplen los criterios de TRL2.				

- **¿Cumple los criterios de TRL3?** Sí porque, aunque A (asociado a Módulo 1) no se cumple, B (asociado a Módulos 1, 2 y 3) sí se cumple y, por lo tanto, se cumplen los criterios de TRL3. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 77, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 64, Tabla 67 y Tabla 71. Se puede afirmar por tanto que la metodología devuelve el mismo resultado que el indicado en la bibliografía.

Tabla 76. Resultados del Test a) para el cálculo de TRL3

Cumplimiento de TRL3 (A y/o B*)			Resultado Test a) (TRL3)	
*B se cumple cuando se da b0 y si se da b1 y/o b2 y/o b3				
Criterio	Módulo	Condición	Resultado	
<b>A</b>	1. Módulo académico ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas y de aplicabilidad.	I1.1>1 y I1.2=1	I1.1=0 y I1.2=0 ✘	No porque no se encuentran artículos que cumplan con los criterios de <i>keywordstecnológicas</i> y no tecnológicas al realizar la búsqueda.
<b>B (b0)</b>	1. Módulo académico ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords tecnológicas</i> y de aplicabilidad.	I1.1≤1 y/o I1.2≠1	I1.1≤1 y/o I1.2≠1 ✓	Sí se cumple ya que no se encuentran ni artículos ni referencias sobre ello según la búsqueda realizada en A.
<b>b1</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords tecnológicas</i>	I3.1=1 y I3.2=1	I3.1=1 y I3.2=1 ✓	Sí porque hay un proyecto sobre la tecnología objeto de estudio en el mismo rango de TRLs (investigación).
<b>b2</b>	2. Módulo de patentes ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords tecnológicas</i>	I2.1=1	I2.1=0 ✘	No porque no hay patentes asociadas con esta tecnología y ámbito de aplicación.
<b>b3</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords tecnológicas</i>	I3.6=1	I3.6=0 ✘	No porque no hay iniciativas asociadas a esta temática y ni aplicación (es decir, nuclear, sólo para sólo agroalimentaria o industria) en el periodo de estudio.
<b>Conclusión:</b> A no se cumple, pero B sí se cumple y, por lo tanto, se cumplen los criterios de TRL3. B se cumple porque b0 y b1 se cumplen, es decir, (b0) aunque no se encuentran ni artículos ni referencias sobre esta tecnología y ámbito de aplicación (b0 se cumple), sí que				

<b>Cumplimiento de TRL3 (A y/o B*)</b> <b>*B se cumple cuando se da b0 y si se da b1 y/o b2 y/o b3</b>			<b>Resultado Test a) (TRL3)</b>
<b>Criterio</b>	<b>Módulo</b>	<b>Condición</b>	<b>Resultado</b>
(b1) hay un proyecto en el mismo rango de TRLs (investigación) en el periodo objeto de estudio.			

### 8.2.7 Análisis de la robustez de la metodología más allá de TRL1-TRL3

En este apartado el objetivo es comprobar que se cumplen las condiciones de contorno. Es decir, que la metodología, si bien es capaz de calcular que la tecnología para el ámbito de aplicación es TRL3 tal y como se indica en la bibliografía, también es capaz de detectar que no se encuentra en TRL4, identificando inequívocamente el rango de TRL objeto de estudio.

- **¿Cumple los criterios de TRL4?** No porque únicamente se cumple C de las cuatro premisas principales (A, B, C o D). Aplicando el criterio de desbloqueo E, éste tampoco se cumple por lo que se puede concluir que esta tecnología no cumple con los criterios de TRL4. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 77, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 64, Tabla 67, Tabla 71 y Tabla 73. Por tanto, se puede afirmar que la metodología es robusta ya que confirma que la tecnología de estudio del Test a) en su ámbito de aplicación no es superior a la indicada en la bibliografía.

Tabla 77. Resultados del Test a) para el cálculo de TRL4

<b>Cumplimiento de TRL4 (al menos dos de A, B, C o D; E sólo para desbloqueo)</b>			<b>Resultado Test a) (TRL4)</b>	
<b>Criterio</b>	<b>Módulo</b>	<b>Condición</b>	<b>Resultado</b>	
<b>A</b>	1. Módulo académico ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas y de aplicabilidad.	I1.1>1 y I1.2=1	I1.1=0 y I1.2=0 ✘	No la cumplen, ya que como se indicó para el caso del TRL3, al incluir las <i>keywords</i> de aplicabilidad no aparecen resultados en la búsqueda.
<b>B</b>	2. Módulo de patentes ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I2.1=1	I2.1=0 ✘	No la cumple ya que no hay patentes asociadas con esa tecnología y ámbito de aplicación.
<b>C</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.1=1 y I3.2=1	I3.1=1 y I3.2=1 ✓	Sí por lo indicado para TRL3, al haber un proyecto tecnológico asociado en el mismo rango de TRL.
<b>D</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con	I3.6=1	I3.6=0 ✘	No porque no hay ninguna innovación asociada bajo

Cumplimiento de TRL4 (al menos dos de A, B, C o D; E sólo para desbloqueo)			Resultado Test a) (TRL4)	
Criterio	Módulo	Condición	Resultado	
	<i>keywords</i> tecnológicas			la clasificación de “ <i>Exploring</i> ”.
<b>E</b>	5. Módulo de Noticias/Redes Sociales (cálculo exclusivamente para desbloqueo)	I5.1=1	I5.1=0 *	No porque no hay noticias o publicaciones asociadas al proyecto para esta tecnología y aplicación en el periodo de estudio.
<b>Conclusión:</b> únicamente se cumple C de las cuatro premisas principales (A, B, C o D). Aplicando el criterio de desbloqueo E, este tampoco se cumple por lo que se puede concluir que esta tecnología no cumple con los criterios de TRL4. Por tanto, la tecnología no se encuentra en TRL4 en 2017. Además, se prueba que la metodología es robusta al confirmar que la tecnología objetivo está en el rango TRL1-TRL3 como indicaba la bibliografía y además no tiene problemas para diferenciar el TRL en la frontera entre algunos muy cercanos (en este caso, entre TRL3 y TRL4).				

### 8.2.8 Conclusiones sobre los resultados de la validación en test a

Tras haber realizado la prueba de validación del Test a), y tal y como se deduce de las conclusiones detalladas en la Tabla 78, se puede afirmar que la metodología no sólo ha demostrado que puede calcular el TRL para la tecnología y campo de aplicación seleccionado para un año dado, sino que además lo hace de manera precisa y robusta, no habiendo dudas en la frontera entre TRL3 y TRL4.

Tabla 78. Test a) Conclusiones de los resultados de validación de la metodología

	Test a) -bibliografía	Test a) -metodología	Conclusión
<b>Año</b>	2017	2017	✓ Cumple.
<b>Rango de TRL</b>	TRL1-3	TRL1-3 y no TRL4	
<b>Tecnología / aplicación</b>	Colaboración y cooperación robótica en ambientes nucleares.	Colaboración y cooperación robótica en ambientes nucleares.	

### 8.3 Validación rango TRL4-6 (Test d)

Se aplica la metodología desarrollada por medio de su aproximación en tres pasos: PASO 1. Definición de palabras clave o *keywords*, PASO 2. Búsqueda en las bases del(los) módulo(s) de aplicación para cada caso a partir de las palabras definidas en el paso anterior y PASO 3. Cálculo de los TRLs según los valores obtenidos para cada indicador según la información resultante de paso previo. En este caso, se aplica el caso de aplicación llamado “Test d)” Comercialización de energía entre pares para mercados locales (más detalles en Tabla 58.)

### 8.3.1 PASO 1. *Keywords*

A partir de las características de esta prueba y de la tecnología y ámbito de aplicación asociado, las palabras clave definidas han sido: *blockchain*, *peer to peer* (entre pares); P2P; comercialización de energía. Para su aplicación en la metodología, se usarán sus equivalentes en inglés detallados en la Tabla 79

Tabla 79. Características de la Test d) y keywords asociadas.

<b>Características - Test d)</b>	
<b>Año</b>	2019
<b>Rango TRL/TRL</b>	TRL6 (TRL6-7)
<b>Tecnología</b>	Comercialización de energía entre pares para mercados locales ( <i>Peer to peer energy trading for local markets</i> )
<b>Keywords – Test d)</b>	
<b>Keywords tecnológicas</b>	<i>Blockchain; peer to peer; P2P; energy trading;</i>

Por lo tanto, con estos datos, se procede a buscar los diferentes datos de cada módulo:

### 8.3.2 PASO 2.a. Búsqueda en BBDD de Módulo Académico

A partir de las palabras clave definidas en el PASO 1, se procede a realizar la búsqueda en el mismo, atendiendo al tipo de TRL para el que se realiza la misma.

- **Búsqueda para TRL 1 y TRL2:** en esta búsqueda únicamente se utilizan las palabras clave tecnológicas mencionadas en la Tabla 80 y son las que se introducen en la herramienta de búsqueda seleccionada “*Publish or Perish*” detallada en la sección 7.3.2.1.

Tabla 80. Búsqueda en Módulo académico para TRL1-2 en Test d)

<b>Año</b>	2018-2019
<b>Sintaxis de búsqueda</b>	Blockchain AND Energy trading AND P2P
<b>Fuente</b>	Google Scholar

Esta búsqueda en la herramienta “*Publish or Perish*” devuelve una serie de artículos de interés (exportados a una hoja Excel) y que han sido analizados. Algunos de los artículos resultantes que están relacionados con la tecnología objeto de estudio y el ámbito de aplicación de interés, son los siguientes, pudiendo decir que hay más de un artículo en la tecnología y al menos uno de ellos ha sido citado una vez por otros autores:

- El primero (S. Wang et al., 2019) publicado a principio de 2019 habla sobre la colaboración abierta distribuida de energía y la comercialización de energía entre pares en unas *Smart grids* facilitadas por *blockchain*. Ha sido citado en 338 ocasiones, siendo tres de ellas en 2019, es decir, el mismo año de publicación.
- El segundo (Abdella & Shuaib, 2019) trata sobre una arquitectura *blockchain* hecha para la comercialización de energía entre pares. Publicado en 2019, cuenta con 21 citas, siendo al menos dos de ellas en 2020.

- Hay un tercero (Johanning & Bruckner, 2019) sobre comercialización de energía entre pares y una revisión crítica de su potencial disruptivo, publicado en 2019 con 22 citas, de las cuales al menos tres son de 2020.
- El cuarto (Jogunola et al., 2019) es una demostración de la cómo *blockchain* permite comerciar y compartir energía entre pares, publicado en 2019, cuenta con 31 citas. En 2020 cuenta con 3 de autores diferentes y 4 si tenemos en cuenta que dos comparten autor.
- El último de los identificados y asociados con este caso (Pee et al., 2019), trata de una plataforma de comercialización de energía inteligente basada en *blockchain* y que usa *Smart contracts*. Publicada en 2019, cuenta en 2020 con al menos 8 citas.
- **Búsqueda para TRL3 y TRL4:** en esta búsqueda se utilizan las palabras clave tecnológicas mencionadas en la Tabla 81 y algunas de las de aplicabilidad asociadas al TRL3-4 e indicadas en la Tabla 33. Todas ellas son las que se introducen en la herramienta de búsqueda seleccionada “*Publish or Perish*” detallada en la sección 7.3.2.1.

Tabla 81. Búsqueda en Módulo académico para TRL3-4 en Test d)

<b>Año</b>	2018-2019
<b>Sintaxis de búsqueda</b>	<i>Blockchain AND Energy trading AND P2PAND prototype</i>
<b>Fuente</b>	Google Scholar

Esta búsqueda en la herramienta “*Publish or Perish*” devuelve una serie de artículos de interés (exportados a una hoja Excel) y que han sido analizados. Así uno de ellos que es relevante (Scuri et al., 2019) habla de un prototipo dentro de lo que llaman las tecnologías DLT para comercialización de energía entre pares (o *Peer to Peer*). Ha sido publicado en 2019 y cuenta con al menos una cita en 2020.

Ahora toda la información de las búsquedas anteriores se traduce en forma de indicadores del Módulo 1 y su valor asociado (Tabla 36) en función de los criterios de cada TRL (apartado 7.3.3). En primer lugar, la Tabla 82 muestra los resultados de la búsqueda del Módulo 1 aplicando *keywords* tecnológicas y cómo dichos resultados se traducen en un valor para cada indicador.

Tabla 82. Búsqueda del Módulo 1 para TRL1-2- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test d)

<b>Indicador y valor</b>	<b>Descripción</b>	<b>Explicación</b>
I1.1=1 (TRL1-2)	Número de artículos	Hay un artículo (o más-TRL2) sobre la temática- TRL1.
I1.2=1 (TRL1-2)	Número de citas	Pues hay 5 artículos (al menos 1) sobre la temática y uno de ellos ha sido publicado al menos una vez al año siguiente de su publicación (2018) – TRL2.

Igualmente, la Tabla 83 muestra los resultados de la búsqueda del Módulo 1 aplicando *keywords* tecnológicas y de aplicabilidad. Igualmente se muestran dichos resultados y cómo estos se traducen en un valor para cada indicador.

Tabla 83. Búsqueda del Módulo 1 para TRL3-4- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test d)

Indicador y valor	Descripción	Explicación
I1.1=1 (TRL3-4)	Número de artículos	Hay un artículo que cumplan con los criterios de <i>keywords</i> tecnológicas y no tecnológicas al realizar la búsqueda.
I1.2=1 (TRL3-4)	Número de citas	Hay un artículo que cumple con los criterios de <i>keywords</i> tecnológicas y no tecnológicas al realizar la búsqueda y además ha sido citado al menos por un autor en el siguiente año a su publicación.

### 8.3.3 PASO 2.b. Búsqueda en BBDD en Módulo de patentes

A partir de las palabras clave definidas en el PASO 1, se procede a realizar la búsqueda en este módulo de patentes. En esta búsqueda únicamente se utilizan palabras clave tecnológicas con la sintaxis de búsqueda de la Tabla 84 y para años menores o iguales que 2020 dentro de la herramienta de búsqueda de patentes Espacenet detallada en el apartado 7.3.2.2.

Tabla 84. Búsqueda en Módulo de patentes en Test b)

<b>Sintaxis de búsqueda</b>	ta all "Blockchain AND Energy trading AND P2P" AND pd <= "2020"
<b>Fuente</b>	Espacenet: <a href="https://worldwide.espacenet.com/patent/search">https://worldwide.espacenet.com/patent/search</a>
<b>Resultados</b>	3

El resultado que devuelve son dos patentes (exportadas a un documento Excel), se ordenan desde 2020 y se analizan a continuación:

- **KR20200065655A Microgrid energy transaction based on cloud** (Lim Chang Gyoon & Jang Jee Won, 2018), con fecha de prioridad 30 de noviembre de 2018, presenta una invención relacionada con transacciones pequeñas de energía basadas en la nube para permitir transacciones óptimas entre pares (P2P) encajando un prosumidor con un consumidor en tiempo real por medio de una plataforma de comercialización de energía basada en *blockchain*.
- **KR101942543B1 P2P energy storage system based on distributed energy resources P2Penergy trading system using blockchain technology and method thereof** (Kim Soo Jung, 2018), con fecha de prioridad 7 de agosto de 2018. Esta invención trata sobre

un sistema de transacción de energía entre pares de recursos distribuidos basado en almacenamiento de energía por medio de uso de tecnología *blockchain*, entre otras.

Ahora toda la información de las búsquedas anteriores se traduce en forma de indicadores del Módulo 2 y su valor asociado (Tabla 39) en función de los criterios de cada TRL (apartado 7.3.3). La Tabla 85 muestra los resultados de la búsqueda del Módulo 2 aplicando *keywords* tecnológicas y cómo dichos resultados se traducen en un valor para el indicador.

Tabla 85. Búsqueda del Módulo 2 para TRL3-6 - Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test d)

Indicador y valor	Descripción	Explicación
I2.1=1 (TRL3-6)	Número de patentes/solicitudes de patentes	Hay al menos una patente/solicitud de patente en la tecnología y ámbito de aplicación en el periodo objeto de estudio.

#### 8.3.4 PASO 2.c. Búsqueda en BBDD de Módulo de proyectos

A partir de las palabras clave definidas en el PASO 1, se procede a realizar la búsqueda en este módulo de proyectos. En esta búsqueda únicamente se utilizan palabras clave tecnológicas y para ello se adaptará, si fuera necesario, a cada una de las dos fuentes de datos a aplicar.

- **Búsqueda en CORDIS:** para poder identificar proyectos en la temática. Para ello, se parte de la premisa de realizar la búsqueda usando las palabras clave, y en este sentido, el filtro por fechas se hace para cada uno de los resultados individualmente en función de si tecnológicamente y el campo de aplicación coincide con los que son objetivo en la prueba. Se aplica así en CORDIS la sintaxis de búsqueda de la Tabla 86, detallada en el apartado 7.3.2.3.

Tabla 86. Búsqueda en Módulo de proyectos en Test d) (CORDIS)

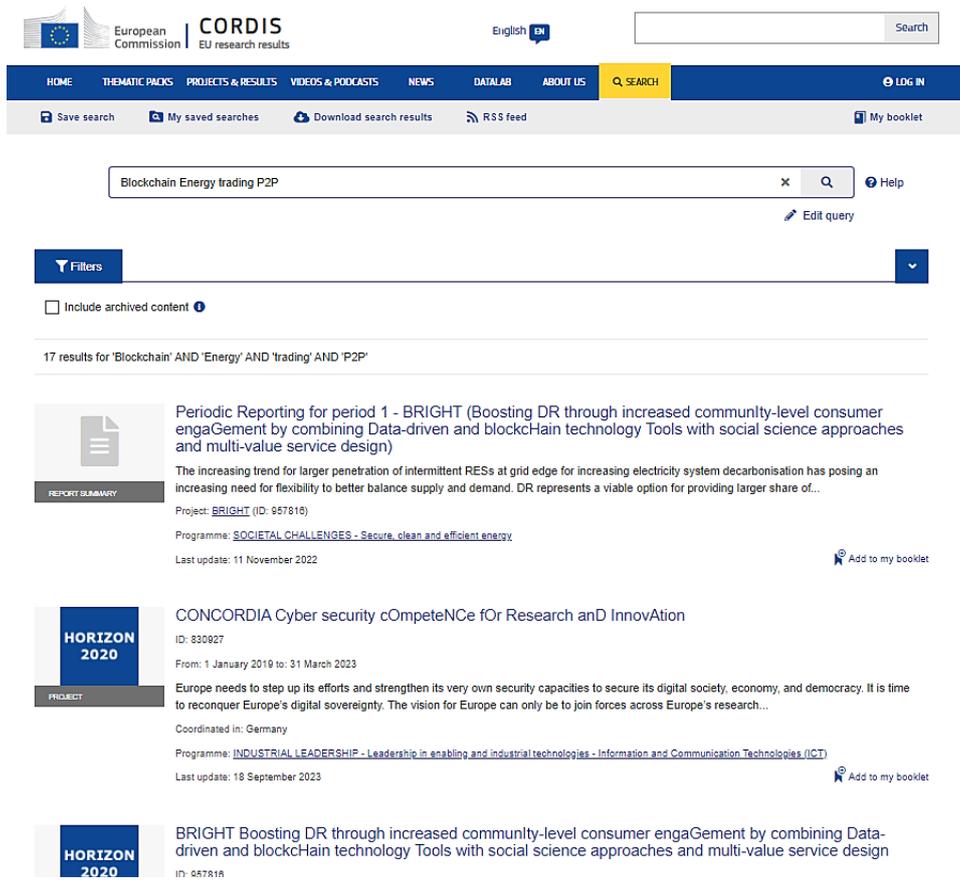
<b>Sintaxis de búsqueda</b>	<i>Blockchain Energy trading P2P</i>
<b>Fuente</b>	CORDIS: <a href="https://cordis.europa.eu/search?q=%27Blockchain%27%20AND%20%27Energy%27%20AND%20%27trading%27%20AND%20%27P2P%27&amp;p=1&amp;num=10&amp;srt=Relevance:decreasing">https://cordis.europa.eu/search?q=%27Blockchain%27%20AND%20%27Energy%27%20AND%20%27trading%27%20AND%20%27P2P%27&amp;p=1&amp;num=10&amp;srt=Relevance:decreasing</a>
<b>Resultados</b>	- (ningún proyecto válido).

Los resultados de esta búsqueda se pueden encontrar siguiendo el enlace de la tabla anterior, que devuelve los resultados mostrados en la Figura 45. Analizando dichos resultados se identifican ciertos proyectos que pueden ser relevantes en el periodo de estudio (2019):

- El proyecto PARITY (European Commission, 2024q) y con duración de 2019 a 2023, promueve Una plataforma de mercado flexible basada en *blockchain* e IoT

allana el camino para las redes energéticas inteligentes o *Smart grids*. La energía transactiva es un nuevo tipo de mercado energético, operado por los consumidores, que cambiará la forma en que se genera y se consume la energía. La tecnología **Blockchain serviría como una plataforma ideal para el mercado transactivo de la electricidad**, ayudando a garantizar que diversos activos en la red funcionen juntos. También permite que IoT comparta información de manera eficiente, confiable y segura. El proyecto PARITY, financiado con fondos europeos, está trabajando en una **plataforma de mercado local de flexibilidad que integra perfectamente las tecnologías IoT y blockchain**.

- El proyecto DOMINOES se centra en descubrir y desarrollar nuevas respuestas a la demanda, agregación, gestión de red, así como servicios de comercialización entre partes (P2P) por medio del diseño, desarrollo y validación de una solución de mercado local transparente y escalable. Además, tiene una duración de 2017 a 2021, en sus resultados menciona que utiliza *blockchain* (European Commission, 2024h) y más en particular en su artículo asociado (F. Li et al., 2020). Cabe destacar que está financiado dentro del programa H2020 referido (European Commission, 2024o) que indica que el proyecto empezará en un TRL3, llegando a un TRL6. Por lo tanto, confirma que se encuentra en el rango objeto de estudio.



The screenshot shows the CORDIS search results page. At the top, there is a search bar with the query 'Blockchain Energy trading P2P'. Below the search bar, there are filters and a list of results. The first result is 'Periodic Reporting for period 1 - BRIGHT (Boosting DR through increased community-level consumer engaGement by combining Data-driven and blockcHain technology Tools with social science approaches and multi-value service design)'. The second result is 'CONCORDIA Cyber security cOMpeteNce fOr Research anD InnovAtion'. The third result is 'BRIGHT Boosting DR through increased community-level consumer engaGement by combining Data-driven and blockcHain technology Tools with social science approaches and multi-value service design'.

Figura 45. Resultados devueltos por CORDIS para la búsqueda en Test d)

- Búsqueda en el Innovation Radar:** para poder identificar aquellas innovaciones tecnológicas asociadas al caso de estudio y que se encuentre bajo la categoría de “Exploring”, “Tech ready”, “Market ready” y “Business ready”. Para ello, se parte de la premisa de realizar la búsqueda usando las palabras clave, y filtrando en los resultados para que únicamente se muestren aquellas innovaciones bajo la categoría de interés. Se aplica así en Innovation Radar la sintaxis de búsqueda de la Tabla 87, detallada en el apartado 7.3.2.3.

Tabla 87. Búsqueda en Módulo de proyectos en Test d) (Innovation Radar)

<b>Sintaxis de búsqueda</b>	<i>Blockchain Energy trading P2P</i>
<b>Fuente</b>	<i>Innovation Radar: <a href="https://innovation-radar.ec.europa.eu/">https://innovation-radar.ec.europa.eu/</a> (“search bar” o barra de búsqueda)</i>
<b>Resultados</b>	<i>Varios resultados válidos para “Exploring” y “Tech ready”. Para “Market ready” no hay y para “Business ready”.</i>

Los resultados devueltos por la búsqueda se ven en la Figura 46 y se observa que salen resultados tanto para las clasificaciones de “Exploring” como de “Tech ready”. En particular, la Figura 47 muestra el detalle de los resultados exactos para “Exploring”, haciendo un análisis en detalle de estos, se pueden identificar al menos uno especialmente relevantes en este caso, tales como:

- Esta innovación **“Distribution Ledger Technology for Energy Trading”** clasificada como **“Exploring”** pertenece al **proyecto BD4OPEM** (European Commission, 2024c), firmado en 2019, pero con fecha de comienzo en enero de 2020. El proyecto parte de la premisa de que la tecnología ofrece una enorme gama de oportunidades para el mercado energético. Al combinar los antiguos dispositivos de medición, operación y control con sistemas inteligentes, hay una enorme cantidad de datos disponibles que no se utilizan o están infrautilizados. Estos datos ofrecen una gama de posibilidades para mejorar los servicios energéticos existentes y crear otros nuevos. El proyecto BD4OPEM, al extraer más valor de los datos disponibles, se creará una gama de servicios innovadores en los campos de monitoreo, operación y mantenimiento de redes, planificación de redes, detección de fraude, gestión inteligente de energía para casas/edificios/industrias, transacciones *blockchain* y agregación de flexibilidad para la demanda. -respuesta en redes inteligentes.

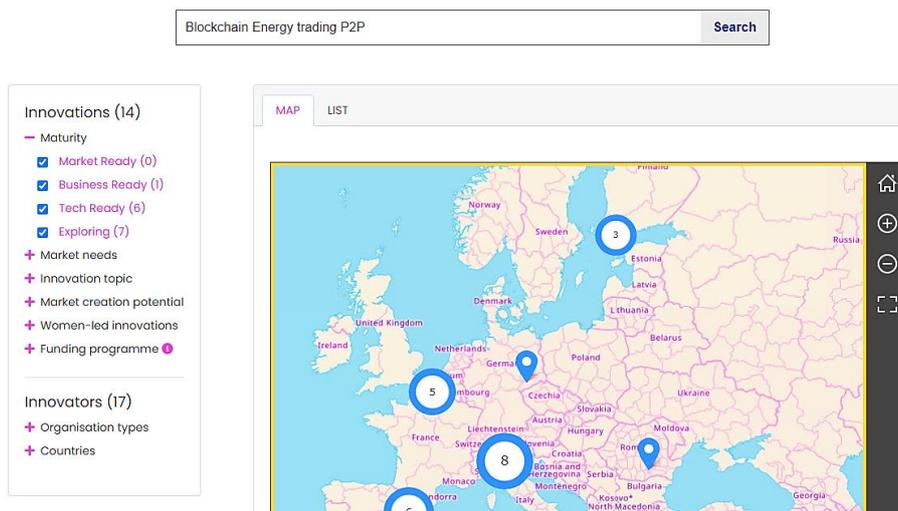


Figura 46. Resultados devueltos por Innovation Radar para la búsqueda en Test d) (I)

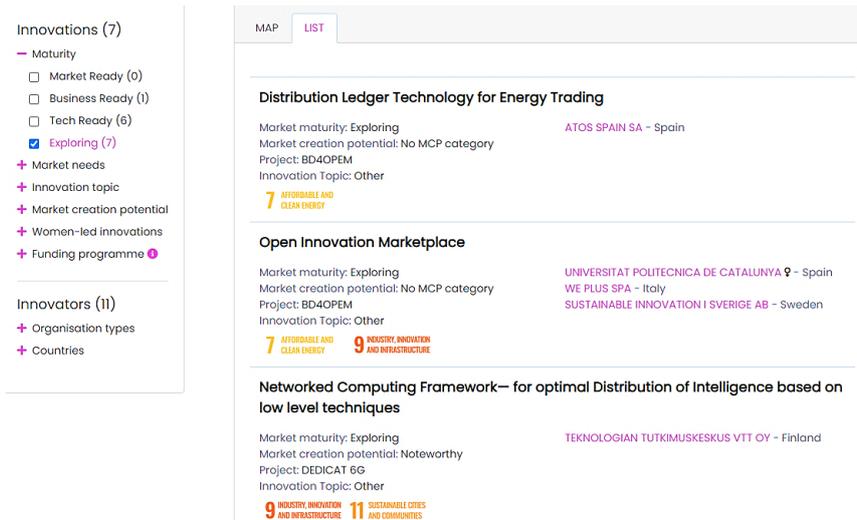


Figura 47. Resultados devueltos por Innovation Radar para la búsqueda en Test d) (II)

Para el caso de la clasificación de “Tech ready”, se devuelven una serie de resultados que también podrían ser de interés y que forman parte el proyecto anterior llamado **BD4OPEM**. Éstas son: “Improved Flexibility management for DSO, BRPs, EV and end-users” y “Optimal asset and investment planning for Distribution networks and Microgrids”. Para la clasificación de “Market ready” se ve que no hay ninguna innovación asociada y para “Business ready” hay una innovación asociada pero no es relevante para este caso (un procesador más rápido).

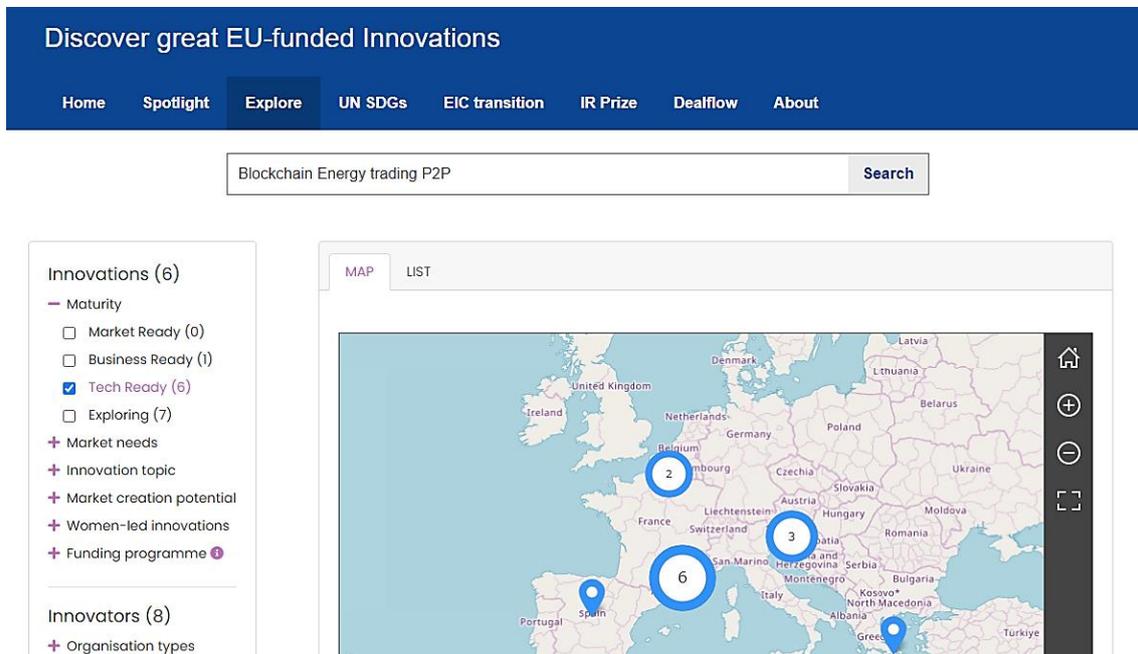


Figura 48. Resultados devueltos por Innovation Radar para la búsqueda en Test d) (III)

Ahora toda la información de las búsquedas anteriores se traduce en forma de indicadores del Módulo 3 y su valor asociado (Tabla 41) en función de los criterios de cada TRL (apartado 7.3.3).

La Tabla 88 muestra los resultados de la búsqueda del Módulo 3 aplicando *keywords* tecnológicas y cómo dichos resultados se traducen en un valor para el indicador.

Tabla 88. Búsqueda del Módulo 3 para TRL3-TRL6- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test d)

Indicador y valor	Descripción	Explicación
I3.1=1 (TRL3-4)	Número de proyectos	Hay proyectos asociados con la tecnología y ámbito de aplicación.
I3.2=1 (TRL3-4)	Rango TRL asociado	Hay ningún proyecto asociado a la tecnología y ámbito de aplicación objeto de estudio que se encuentre dentro del TRL objeto de estudio.
I3.3 = 0 (TRL7)	Número de iniciativas bajo definición “ <i>Market ready</i> ”	No hay iniciativas bajo este rango de clasificación asociadas a esta tecnología y ámbito de aplicación.
I3.4 = 1 (TRL5-7)	Número de iniciativas bajo definición “ <i>Tech ready</i> ”	Hay al menos una iniciativa bajo este rango de clasificación asociadas a esta tecnología y ámbito de aplicación.
I3.5=0 (TRL7)	Número de iniciativas bajo definición “ <i>Business ready</i> ”	No hay iniciativas bajo este rango de clasificación asociadas a esta tecnología y ámbito de aplicación.
I3.6=1 (TRL3-5)	Número de iniciativas bajo definición “ <i>Exploring</i> ”	Hay al menos dos iniciativas bajo este rango de clasificación asociadas a esta tecnología y ámbito de aplicación.

### 8.3.5 PASO 2.d. Búsqueda en BBDD de Módulo de Negocios

A partir de las palabras clave definidas en el PASO 1, se procede a realizar la búsqueda en este módulo de negocios. En esta búsqueda únicamente se utilizan palabras clave tecnológicas y para ello se adaptará, si fuera necesario, a las fuentes de datos a aplicar.

- **Búsqueda de Regulación y/o estándares:** como ya se indicaba en la descripción de la operativa del módulo (apartado 7.3.2.4), se busca en los organismos habituales de estandarización, empezando por CEN-CENELEC tal y como se detalla en la Tabla 89.

Tabla 89. Búsqueda en Módulo de negocios (CEN-CENELEC) en Test d)

<b>Tecnología</b>	<i>Blockchain</i>
<b>Fuente</b>	<a href="https://www.cenelec.eu/areas-of-work/cenelec-sectors/digital-society-cenelec/emerging-technologies/">https://www.cenelec.eu/areas-of-work/cenelec-sectors/digital-society-cenelec/emerging-technologies/</a>
<b>Resultados</b>	1 grupo de trabajo y 1 comité

Los resultados que da la búsqueda se pueden ver en la Figura 49 y Figura 50. Por un lado se ve que hay un área de trabajo/comité en tecnologías emergentes, principalmente en la primera imagen y para el caso que aplica es “*CEN/CLC/JTC 19- Blockchain and Distributed Ledger Technologies*” (CEN-CENELEC, 2024) y se creó en 2019. En la segunda se ve que se ha creado un grupo de trabajo dentro de este llamado CEN/CLC/JTC

19/WG 01 sobre Gestión de la identidad descentralizada o “*Decentralized identity management*”.

Figura 49. Resultados devueltos por CEN-CENELEC para la búsqueda en Test d) (I)

Working group	Title
CEN/CLC/JTC 19/WG 01	Decentralised identity management
CEN/CLC/JTC 19/WG 2	Environmental sustainability

Figura 50. Resultados devueltos por CEN-CENELEC para la búsqueda en Test d) (II)

- Búsqueda sobre movilización de inversión privada en torno a negocios basados o relacionados con tecnología:** en este caso, siguiendo las indicaciones de la descripción del funcionamiento de este módulo detalladas en el apartado 7.3.2.4, se realiza la búsqueda con la sintaxis e indicaciones detalladas en la Tabla 90. Comprobando los premios de las ediciones 2019 y 2020 atendiendo al criterio de búsqueda, no se encuentra ninguna empresa cotizada en el mercado alternativo para esta tecnología y ámbito de aplicación. Las que aparecen no mencionan dedicarse a dicha tecnología.

Tabla 90. Búsqueda en Módulo de negocios (Empresas cotizadas en bolsa) en Test d)

<b>Sintaxis de búsqueda</b>	<i>Blockchain</i>
<b>Fuente</b>	“European Small and mid-cap awards”: <a href="https://europeansmallandmidcapawards.eu/">https://europeansmallandmidcapawards.eu/</a>
<b>Resultados</b>	-

Ahora toda la información de las búsquedas anteriores se traduce en forma de indicadores del Módulo 3 y su valor asociado (Tabla 41) en función de los criterios de cada TRL (apartado 7.3.3). La Tabla 91 muestra los resultados de la búsqueda del Módulo 4 aplicando *keywords* tecnológicas y cómo dichos resultados se traducen en un valor para el indicador.

Tabla 91. Búsqueda del Módulo 4 para TRL5-7- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test d)

Indicador y valor	Descripción	Explicación
I4.1=1 (TRL5-7)	Número de reglamentos asociados / grupos de trabajo	Sí hay reglamentos y/o grupos de trabajo asociados.
I4.2=0 (TRL5-7)	Número de empresas tecnológicas cotizadas en bolsa (mercado alternativo)	No hay empresas asociadas a la tecnología y ámbito de aplicación objeto de estudio cotizadas en bolsa.

### 8.3.6 PASO 2.e. Búsqueda en BBDD de Módulo de Noticias/Redes Sociales

A partir de las palabras clave definidas en el PASO 1, se procede a realizar la búsqueda en este módulo de noticias/redes sociales. En esta búsqueda únicamente se utilizan palabras clave tecnológicas con la sintaxis de búsqueda de la Tabla 92 y para el periodo de duración que comprende desde los 2019 a 2020 dentro de la herramienta de búsqueda Google y filtrando por “Noticias”, detallado en el apartado 7.3.2.5.

Tabla 92. Búsqueda en Módulo de noticias en Test d)

<b>Sintaxis de búsqueda</b>	<i>Blockchain Energy trading P2P</i>
<b>Fuente</b>	Google: <a href="https://www.google.es/">https://www.google.es/</a> y filtrando por “Noticias”
<b>Resultados</b>	Amplio resultado de noticias relevantes

La Figura 51 muestra los resultados devueltos para la tecnología (comercialización de la energía entre pares por medio de *blockchain*) en el ámbito seleccionado en el periodo de estudio (2019-2020). Hay varias noticias relevantes como por ejemplo la titulada “*Blockchain P2P solar energy trading proves feasible...*” de 2020.

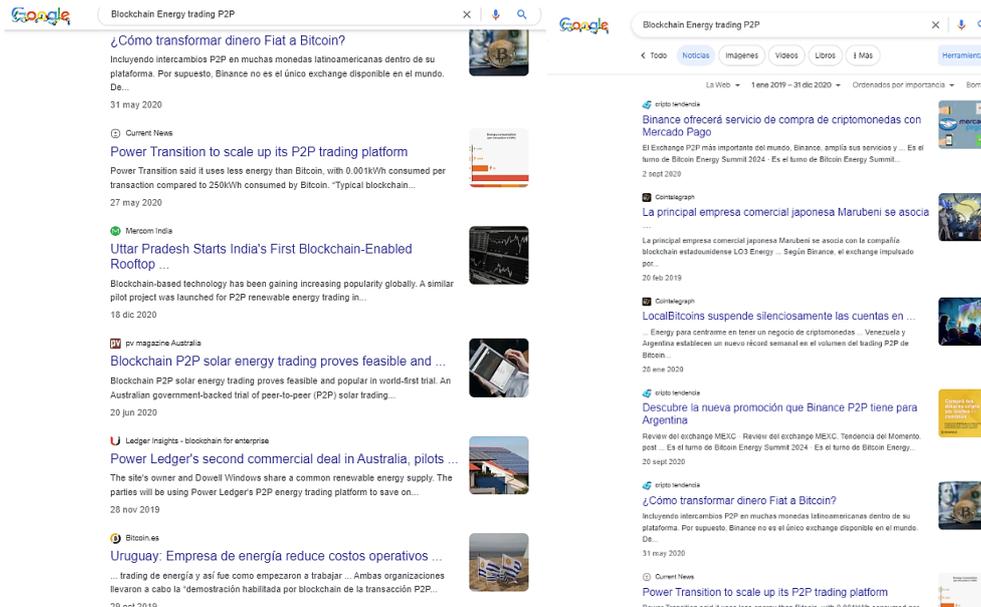


Figura 51. Resultados devueltos por Google (filtro de Noticias) para la búsqueda en Test d)

Ahora toda la información de las búsquedas anteriores se traduce en forma de indicadores del Módulo 5 y su valor asociado (Tabla 45) en función de los criterios de cada TRL (apartado 7.3.3). La Tabla 93 muestra los resultados de la búsqueda del Módulo 5 aplicando *keywords* tecnológicas y cómo dichos resultados se traducen en un valor para el indicador.

Tabla 93. Búsqueda del Módulo 5 para TRL4-6 Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test d)

Indicador y valor	Descripción	Explicación
I5.1=1 (TRL4-6)	Número de publicaciones y/o noticias	Hay noticias y/o publicaciones asociadas al proyecto para esta tecnología y aplicación en el periodo de estudio.

### 8.3.7 PASO 3. Cálculo del TRL

En este último paso de la metodología, se procede a realizar el cálculo del TRL y comprobar si la metodología devuelve el mismo TRL que en el caso de estudio, es decir, se valida la precisión y robustez de la metodología seleccionada. Posteriormente, se realiza un análisis de los resultados.

#### Test d). Validación de le metodología para TRL4-TRL6

A continuación, se calculan los distintos TRL para validar si la metodología es capaz de determinar el TRL de este caso de aplicación a partir de los datos anteriores. Por lo tanto, las preguntas a realizarse son:

- **¿Cumple los criterios de TRL1?** Sí porque se cumple el único criterio establecido (A) en el Módulo académico. Por lo tanto, se considera que la tecnología ha alcanzado, al

menos, el TRL1. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 192, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 82.

Tabla 94. Resultados del Test d) para el cálculo de TRL1

Cumplimiento de TRL1 (A)			Resultado Test d) (TRL1)	
Criterio	Módulo	Condición	Resultado	
A	1. Módulo académico ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I1.1 = 1	I1.1=1 ✓	Sí, pues hay más de un artículo sobre la temática.
<b>Conclusión:</b> A se cumple y por tanto se cumplen los criterios de TRL1.				

- **¿Cumple los criterios de TRL2?** Sí porque se cumple el único criterio establecido (A) en el Módulo académico. Por lo tanto, se considera que la tecnología ha alcanzado, al menos, el TRL2. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 95, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 82.

Tabla 95. Resultados del Test d) para el cálculo de TRL2

Cumplimiento de TRL2 (A)			Resultado Test d) (TRL2)	
Criterio	Módulo	Condición	Resultado	
A	1. Módulo académico ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I1.1=1 y I1.2=1	I1.1=1 y I1.2=1 ✓	Sí, pues hay 5 artículos (al menos 1) sobre la temática y uno de ellos ha sido citado al menos una vez al año siguiente de su publicación (2019).
<b>Conclusión:</b> A se cumple y por tanto se cumplen los criterios de TRL2.				

- **¿Cumple los criterios de TRL3?** Sí porque A (asociado a Módulo 1) se cumple, y con eso es suficiente para afirmar que se cumplen los criterios de TRL3. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 96, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 130. Y, por tanto, se puede afirmar que la metodología devuelve el mismo resultado que el indicado en la bibliografía.

Tabla 96. Resultados del Test d) para el cálculo de TRL3

Cumplimiento de TRL3 (A y/o B*) *B se cumple cuando se da b0 y si se da b1 y/o b2 y/o b3			Resultado Test d) (TRL3)	
Criterio	Módulo	Condición	Resultado	
A	1. Módulo académico ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas y de aplicabilidad.	I1.1>1 y I1.2=1	I1.1>1 y I1.2=1 ✓	Sí porque hay al menos un artículo que cumple con los criterios de <i>keywords</i> tecnológicas y no tecnológicas al realizar la búsqueda. Además, al menos uno de ellos ha sido

Cumplimiento de TRL3 (A y/o B*) *B se cumple cuando se da b0 y si se da b1 y/o b2 y/o b3			Resultado Test d) (TRL3)	
Criterio	Módulo	Condición	Resultado	
				citado por un autor en los siguientes años.
<b>Conclusión:</b> A se cumple ya que hay más de un artículo en la materia en el año objeto de estudio, aplicando en la búsqueda <i>keywords</i> tecnológicas y no tecnológicas y, además, al menos uno de ellos ha sido citado por un autor en los años siguientes. Por lo tanto, se cumplen los criterios de TRL3.				

- ¿Cumple los criterios de TRL4?** Sí porque se cumplen cuatro (A, B, C y D) de las cuatro premisas principales (A, B, C o D). Por lo que se puede concluir que esta tecnología cumple con los criterios de TRL4. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 97, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 130, Tabla 85 y Tabla 88.

Tabla 97. Resultados del Test d) para el cálculo de TRL4

Cumplimiento de TRL4 (al menos dos de A, B, C o D; E sólo para desbloqueo)			Resultado Test d) (TRL4)	
Criterio	Módulo	Condición	Resultado	
<b>A</b>	1. Módulo académico ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas y de aplicabilidad.	I1.1>1 y I1.2=1	I1.1>1 y I1.2=1 ✓	Sí porque hay al menos un artículo que cumple con los criterios de <i>keywords</i> tecnológicas y no tecnológicas al realizar la búsqueda. Además, al menos uno de ellos ha sido citado por un autor en los siguientes años.
<b>B</b>	2. Módulo de patentes ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I2.1=1	I2.1=1 ✓	Sí la cumple ya que hay al menos una patente/solicitud de patente en la tecnología y ámbito de aplicación en el periodo objeto de estudio.
<b>C</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.1=1 y I3.2=1	I3.1=1 y I3.2=1 ✓	Sí por lo indicado para TRL3, al haber un proyecto tecnológico asociado en el mismo rango de TRL.
<b>D</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.6=1	I3.6=1 ✓	Sí porque no hay al menos una innovación asociada bajo la clasificación de "Exploring".
<b>Conclusión:</b> cumple tres (A, B y C) de las cuatro premisas principales (A, B, C o D), por lo que se puede concluir que esta tecnología cumple con los criterios de TRL4. Por tanto, la tecnología se encuentra en TRL4 en 2018.				

- **¿Cumple los criterios de TRL5?** Sí porque se cumplen cuatro (A, B, C y D) de las 4 premisas o criterios principales (A, B, C y D) y, por tanto, se puede confirmar que se encuentra en TRL5. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 98, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 85 y Tabla 88.

Tabla 98. Resultados del Test d) para el cálculo de TRL5

Cumplimiento de TRL5 (al menos dos de A, B, C o D; E sólo para desbloqueo) *E se cumple cuando se da el y/o e2			Resultado Test d) (TRL5)	
Criterio	Módulo(s)	Condición	Resultados	
<b>A</b>	2. Módulo de patentes ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I2.1=1	I2.1=1 ✓	Sí la cumple ya que hay al menos una patente/solicitud de patente en la tecnología y ámbito de aplicación en el periodo objeto de estudio.
<b>B</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.1=1 y I3.2=1	I3.1=1 y I3.2=1 ✓	Sí por lo indicado para TRL3, al haber un proyecto tecnológico asociado en el mismo rango de TRL.
<b>C</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.4=1	I3.4=1 ✓	Sí porque no hay dos innovaciones asociadas bajo la clasificación de "Tech ready".
<b>D</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.6=1	I3.6=1 ✓	Sí porque no hay al menos una innovación asociada bajo la clasificación de "Exploring".
<b>Conclusión:</b> cumple todas cuatro premisas principales (A, B, C o D), por lo que se puede concluir que esta tecnología cumple con los criterios de TRL5. Por tanto, la tecnología se encuentra en TRL5 en 2018.				

- **¿Cumple los criterios de TRL6?** Sí porque se cumplen cinco (A, B, C, D y E) de las cinco premisas principales (A, B, C, D o E), por lo que se puede confirmar que esta tecnología se encuentra en TRL6 en 2019. Es decir, se puede afirmar que la metodología devuelve el mismo resultado que el indicado en la bibliografía. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 99, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 85, Tabla 88, Tabla 91 y Tabla 93.

Tabla 99. Resultados del Test d) para el cálculo de TRL6

Cumplimiento de TRL6 (al menos dos de A, B, C, D o E)			Resultado Test d) (TRL6)	
Criterio	Resultados	Condición	Resultados	
<b>A</b>	2. Módulo de patentes ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I2.1=1	I2.1=1 ✓	Sí la cumple ya que hay al menos una patente/solicitud de patente en la tecnología y ámbito de aplicación en el periodo objeto de estudio.
<b>B</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.1=1 y I3.2=1	I3.1=1 y I3.2=1 ✓	Sí por lo indicado para TRL3, al haber un proyecto tecnológico asociado en el mismo rango de TRL.
<b>C</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.4=1	I3.4=1 ✓	Sí porque hay dos innovaciones asociadas bajo la clasificación de “Tech ready”.
<b>D</b>	4. Módulo de Negocios ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I4.1=1 y/o I4.2=1	I4.1=1 y/o I4.2=0 ✓	Sí porque hay reglamentos y/o grupos de trabajo asociados aunque no hay empresas asociadas a la tecnología y ámbito de aplicación objeto de estudio cotizadas en bolsa.
<b>E</b>	5. Módulo de Noticias/Redes Sociales <i>cálculo exclusivamente para desbloqueo</i> )	I5.1=1	I5.1=1 ✓	Sí porque hay noticias y/o publicaciones asociadas al proyecto para esta tecnología y aplicación en el periodo de estudio.
<b>Conclusión:</b> cumple cinco de las cinco premisas principales (A, B, C, D o E), por lo que se puede concluir que esta tecnología cumple con los criterios de TRL6. Por tanto, la tecnología se encuentra en TRL6 en 2018.				

### 8.3.8 Análisis de la robustez de la metodología más allá de TRL4-TRL6

En este apartado el objetivo es comprobar que se cumplen las condiciones de contorno. Es decir, que la metodología, si bien es capaz de calcular que la tecnología para el ámbito de aplicación es TRL6 tal y como se indica en la bibliografía, también es capaz de detectar que no se encuentra en TRL7. Es decir, identifica inequívocamente el rango de TRL objeto de estudio.

- **¿Cumple los criterios de TRL7?** Sí porque cumple cinco (A, B, D, E y F) de las siete premisas principales (A, B, C, D, E y F), por lo que, según esto, se debería concluir que esta tecnología cumple con los criterios de TRL7. Por lo tanto, esto implica que la metodología no es lo suficientemente robusta para diferenciar los valores frontera entre

TRL6-TRL7. No obstante, si puede aplicar un criterio de desbloqueo de límites o excepciones que en este caso recae en la información encontrada en el Módulo 3 donde se muestra un proyecto financiado en la temática, con fecha de finalización 2021 y cuyo TRL (máximo) al final de este es TRL6. Por tanto, se puede confirmar que la tecnología está en TRL 6. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 100, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 85, Tabla 88, Tabla 91 y Tabla 93. Y, por tanto, se puede afirmar que la metodología ajustada es robusta pues confirma que la tecnología de estudio del Test d) en su ámbito de aplicación no es superior a la indicada en la bibliografía.

Tabla 100. Resultados del Test d) para el cálculo de TRL7

Cumplimiento de TRL7 (al menos cuatro de A, B, C, D, E, F o G)			Resultado Test c) (TRL7)	
Criterio	Resultados	Condición	Resultados	
<b>A</b>	2. Módulo de patentes ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I2.1=1	I2.1=1 ✓	Sí la cumple ya que hay al menos una patente/solicitud de patente en la tecnología y ámbito de aplicación en el periodo objeto de estudio.
<b>B</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.1=1 y I3.2=1	I3.1=1 y I3.2=1 ✓	Sí por lo indicado para TRL3, al haber un proyecto tecnológico asociado en el mismo rango de TRL.
<b>C</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.3=1	I3.3=0 ✗	No porque no hay ninguna innovación asociada bajo la clasificación de “ <i>Market ready</i> ”.
<b>D</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.4=1	I3.4=1 ✓	Sí porque hay dos innovaciones asociadas bajo la clasificación de “ <i>Tech ready</i> ”.
<b>E</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.5=1	I3.5=0 ✗	No porque no hay ninguna innovación asociada bajo la clasificación de “ <i>Business ready</i> ”.
<b>F</b>	4. Módulo de Negocios ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I4.1=1 y I4.2=1	I4.1=1 y/o I4.2=0 ✓	Sí porque hay reglamentos y/o grupos de trabajo asociados, aunque no hay empresas asociadas a la tecnología y ámbito de aplicación objeto de estudio cotizadas en bolsa.

Cumplimiento de TRL7 (al menos cuatro de A, B, C, D, E, F o G)			Resultado Test c) (TRL7)	
Criterio	Resultados	Condición	Resultados	
G	5. Módulo de Noticias/Redes Sociales ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I5.1=1	I5.1=1 ✓	Sí porque hay noticias o publicaciones asociadas al proyecto para esta tecnología y aplicación en el periodo de estudio.
<b>Conclusión:</b> cumple cinco (A, B, D, E y F) de las siete premisas principales (A, B, C, D, E, F y G), por lo que se puede concluir que esta tecnología cumple con los criterios de TRL7. Es decir, en este caso de validación, la metodología fracasa al determinar valores únicos de TRL porque no consigue identificar los valores frontera. Si bien se ha incluido un criterio de límites o excepciones que confirma que se encuentra en TRL6 en 2018. Es decir, en este caso la metodología muestra ciertas limitaciones.				

### 8.3.9 Conclusiones sobre los resultados de la validación Test d)

Tras haber realizado la prueba de validación de Test d), y tal y como se deduce de las conclusiones detalladas en la Tabla 101, se puede concluir que la metodología no sólo ha demostrado que puede calcular el TRL para la tecnología y campo de aplicación seleccionado para un año dado, sino que además lo hace de manera precisa y robusta, no habiendo dudas en la frontera entre TRL6 y TRL7 tras imponer un nuevo criterio límite o frontera.

Tabla 101. Test a) Conclusiones de los resultados de validación de la metodología

	Test d) -bibliografía	Test d) -metodología	Conclusión
<b>Año</b>	2019	2019	✓
<b>Rango de TRL</b>	TRL 4-6	TRL 4-6 y no TRL7 (con limitaciones)	Cumple con limitaciones para los valores frontera.
<b>Tecnología / aplicación</b>	Comercialización de energía entre pares para mercados locales	Comercialización de energía entre pares para mercados locales	

### 8.4 Validación - rango TRL7-8 Test e)

Se aplica la metodología desarrollada con sus tres pasos: PASO 1. Definición de palabras clave o *keywords*, PASO 2. Búsqueda en las bases del(los) módulo(s) de aplicación para cada caso a partir de las palabras definidas en el paso anterior y PASO 3. Cálculo de los TRLs según los valores obtenidos para cada indicador según la información resultante de paso previo. En este caso, se aplica el caso de aplicación llamado “Test e)” correspondientes al uso de *blockchain* para el seguimiento de la procedencia de productos (más detallas en la Tabla 59).

#### 8.4.1 PASO 1. Elección de *Keywords*

A partir de las características de esta prueba y de la tecnología y ámbito de aplicación asociado, las palabras clave definidas han sido: *blockchain*, seguir, seguimiento y procedencia. Para su aplicación en la metodología, se usarán sus equivalentes en inglés detallados en la Tabla 102.

Tabla 102. Características de la Test e) y keywords asociadas.

Características - Test e)	
<b>Año</b>	2019
<b>Rango TRL/TRL</b>	TRL8 (TRL7-8)
<b>Tecnología</b>	<i>Blockchain</i> para seguimiento de la procedencia de productos ( <i>Blockchain for tracking the provenance of products</i> )
Keywords – Test e)	
<b>Keywords tecnológicas</b>	<i>Blockchain; Track; Tracking; Provenance</i>

Por lo tanto, con estos datos, se procede a buscar los diferentes datos de cada módulo:

#### 8.4.2 PASO 2.a. Búsqueda en BBDD de Módulo Académico

A partir de las palabras clave definidas en el PASO 1, se procede a realizar la búsqueda en el mismo, atendiendo al tipo de TRL para el que se realiza la misma.

- **Búsqueda para TRL 1 y TRL2:** en esta búsqueda únicamente se utilizan las palabras clave tecnológicas mencionadas en la Tabla 103 y son las que se introducen en la herramienta de búsqueda seleccionada “*Publish or Perish*” detallada en la sección 7.3.2.1.

Tabla 103. Búsqueda en Módulo académico para TRL1-2 en Test e)

<b>Año</b>	2018-2019
<b>Sintaxis de búsqueda</b>	<i>Blockchain AND Tracking AND Provenance</i>
<b>Fuente</b>	<i>Google Scholar</i>

Esta búsqueda en la herramienta “*Publish or Perish*” devuelve una serie de artículos de interés (exportados a una hoja Excel) y que han sido analizados. Algunos de los artículos resultantes que están relacionados con la tecnología objeto de estudio y el ámbito de aplicación de interés, son los siguientes, pudiendo decir que hay más de un artículo en la tecnología y al menos uno de ellos ha sido citado una vez por otros autores:

- El primero de ellos (Cui et al., 2019), publicado en 2019, trata de un marco masado en *blockchain* para la procedencia de la cadena de suministro, en particular ayuda a seguir y trazar cada chip que circula a través de la cadena de suministro. Ha sido citado 112 veces y al menos 3 de ellas han sido en 2020.
- El segundo de los identificados (McDaniel & Norberg, 2019), también de 2019, estudia el papel potencial de las tecnologías *blockchain* para el comercio internacional, en particular, cómo estas tecnologías podrían afectar a las finanzas,

procedimientos aduaneros y origen o procedencia de bienes. Ha sido citado 4 veces, y al menos 3 de ellas en 2020.

- El tercero de ellos (Chakraborty et al., 2019) ha sido publicado también en 2019, presenta un mecanismo de seguimiento del valor traído y ganador por los participantes, utilizando un seguimiento de la procedencia, con elevada granularidad, de una manera descentralizada por medio de *blockchain*. Ha sido citado 2 veces y ambas en 2022.
- **Búsqueda para TRL3 y TRL4:** en esta búsqueda se utilizan las palabras clave tecnológicas mencionadas en la Tabla 113 y algunas de las de aplicabilidad asociadas al TRL3-4 e indicadas en la Tabla 33. Todas ellas son las que se introducen en la herramienta de búsqueda seleccionada “*Publish or Perish*” detallada en la sección 7.3.2.1.

Tabla 104. Búsqueda en Módulo académico para TRL3-4 en Test e)

<b>Año</b>	2018-2019
<b>Sintaxis de búsqueda</b>	<i>Blockchain AND Tracking AND Provenance AND prototype</i>
<b>Fuente</b>	<i>Google Scholar</i>

Esta búsqueda en la herramienta *Publish or Perish* devuelve una serie de artículos de interés (exportados a una hoja Excel) y que han sido analizados. A continuación, se listan aquellos más relevantes:

- El primero de ellos (Cui et al., 2019), publicado en 2019, coincide con el primero resultante de la búsqueda anterior, donde además cabe destacar que se indica que se implementa un prototipo del sistema para demostrar la viabilidad de esta aproximación. Como se indicaba anteriormente, ha sido citado 112 veces y al menos 3 de ellas han sido en 2020.
- El segundo de ellos (Tunstad, 2019), de 2019, propone una procedencia de datos basados en *blockchain* donde se menciona un prototipo en el resumen de este, si bien no hay mayor detalle en el texto de la tesis, ha sido citado 2 veces y una de ellas en 2019 (por sí mismo junto a otros autores).
- El tercero (O. Ivan, 2016) también publicado en 2019 trata de una solución para el seguimiento de procedencia de la joyería basada en *blockchain*, donde menciona un prototipo. Ha recibido una cita y esta ha sido en 2020.

Ahora toda la información de las búsquedas anteriores se traduce en forma de indicadores del Módulo 1 y su valor asociado (Tabla 36) en función de los criterios de cada TRL (apartado 7.3.3). En primer lugar, la Tabla 114 muestra los resultados de la búsqueda del Módulo 1 aplicando *keywords* tecnológicas y cómo dichos resultados se traducen en un valor para cada indicador.

Tabla 105. Búsqueda del Módulo 1 para TRL1-2- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test e)

Indicador y valor	Descripción	Explicación
I1.1=1 (TRL1-2)	Número de artículos	Hay un artículo (o más-TRL2) sobre la temática- TRL1.
I1.2=1 (TRL1-2)	Número de citas	Pues hay 3 artículos (al menos 1) sobre la temática y uno de ellos ha sido publicado al menos una vez al año siguiente de su publicación (2020) – TRL2.

Igualmente, la Tabla 106 muestra los resultados de la búsqueda del Módulo 1 aplicando *keywords* tecnológicas y de aplicabilidad. Igualmente se muestran dichos resultados y cómo estos se traducen en un valor para cada indicador.

Tabla 106. Búsqueda del Módulo 1 para TRL3-4- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test e)

Indicador y valor	Descripción	Explicación
I1.1=1 (TRL3-4)	Número de artículos	Hay tres artículos (al menos uno) que cumplen con los criterios de <i>keywords</i> tecnológicas y no tecnológicas al realizar la búsqueda.
I1.2=1 (TRL3-4)	Número de citas	Hay tres artículos que cumplen con los criterios de <i>keywords</i> tecnológicas y no tecnológicas al realizar la búsqueda y además ha sido citado al menos por un autor en el siguiente año a su publicación (2020).

#### 8.4.3 PASO 2.b. Búsqueda en BBDD de Módulo de Patentes

A partir de las palabras clave definidas en el PASO 1, se procede a realizar la búsqueda en este módulo de patentes. En esta búsqueda únicamente se utilizan palabras clave tecnológicas con la sintaxis de búsqueda de la Tabla 107 y para años menores o iguales que 2020 dentro de la herramienta de búsqueda de patentes Espacenet detallada en el apartado 7.3.2.2.

Tabla 107. Búsqueda en Módulo de patentes en Test e)

<b>Sintaxis de búsqueda</b>	ta all "Blockchain AND Tracking AND Provenance" AND pd <= "2020"
<b>Fuente</b>	Espacenet: <a href="https://worldwide.espacenet.com/patent/search">https://worldwide.espacenet.com/patent/search</a>
<b>Resultados</b>	13

El resultado que devuelve son trece patentes (exportadas a un documento Excel), se ordenan desde 2020 y se analizan las más relevantes a continuación:

- **WO2020198333A1 PRODUCT LABELS, TRUST IDENTIFIER SYSTEMS CONTAINING THE SAME, AND METHODS OF USE THEREOF** (Vargas & Kuhno, 2020) y con fecha de prioridad 25 de marzo de 2019. Presenta un sistema

distribuido y los métodos asociados para hacer seguimiento de productos. El método garantiza la autenticidad permitiendo la verificación de la identidad digital de los elementos físicos en cada paso de la cadena de suministro.

- **CA3121506A1 SYSTEM, DEVICE, AND PROCESS FOR TRACKING PRODUCT** (Javaheri, 2019) tiene como fecha de prioridad el 6 de diciembre de 2018. Es un sistema configurado para seguir, trazar y monitorizar un producto [...]. El sistema también incluye un procesador y una base de datos que se configuran además para implementar la tecnología *blockchain* con respecto a la información relacionada con el producto y generar así un “libro de contabilidad” *blockchain* de la información relacionada con el producto.

Ahora toda la información de las búsquedas anteriores se traduce en forma de indicadores del Módulo 2 y su valor asociado (Tabla 39) en función de los criterios de cada TRL (apartado 7.3.3). La Tabla 108 muestra los resultados de la búsqueda del Módulo 2 aplicando *keywords* tecnológicas y cómo dichos resultados se traducen en un valor para el indicador.

Tabla 108. Búsqueda del Módulo 2 para TRL3-6 - Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test e)

Indicador y valor	Descripción	Explicación
I2.1=1 (TRL3-6)	Número de patentes/solicitudes de patentes	Hay al menos una patente/solicitud de patente en la tecnología y ámbito de aplicación en el periodo objeto de estudio.

#### 8.4.4 PASO 2.c. Búsqueda en BBDD de Módulo de proyectos

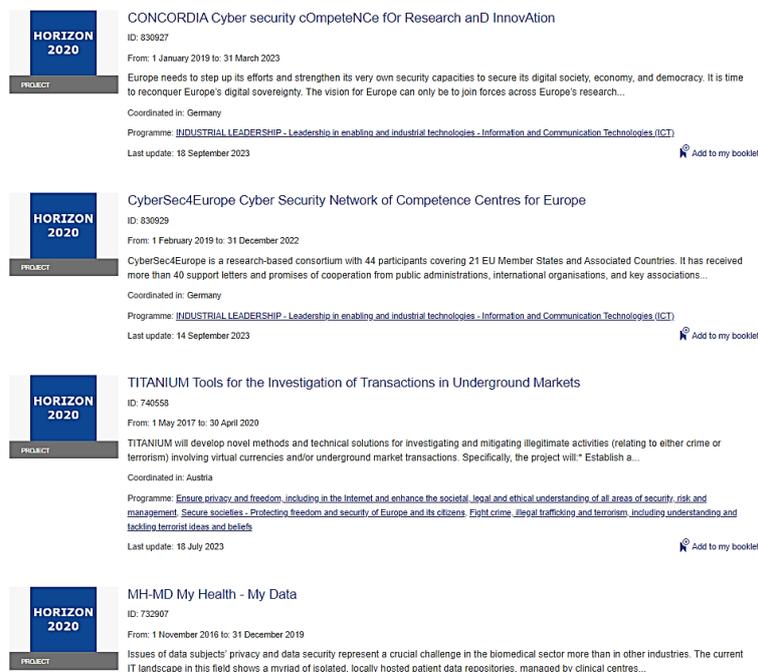
A partir de las palabras clave definidas en el PASO 1, se procede a realizar la búsqueda en este módulo de proyectos. En esta búsqueda únicamente se utilizan palabras clave tecnológicas y para ello se adaptará, si fuera necesario, a cada una de las dos fuentes de datos a aplicar.

- **Búsqueda en CORDIS:** para poder identificar proyectos en la temática. Para ello, se parte de la premisa de realizar la búsqueda usando las palabras clave, y en este sentido, el filtro por fechas se hace para cada uno de los resultados individualmente en función de si tecnológicamente y el campo de aplicación coincide con los que son objetivo en la prueba. Se aplica así en CORDIS la sintaxis de búsqueda de la Tabla 109, detallada en el apartado 7.3.2.3.

Tabla 109. Búsqueda en Módulo de proyectos en Test e) (CORDIS)

<b>Sintaxis de búsqueda</b>	<i>Blockchain Tracking Provenance</i>
<b>Fuente</b>	<a href="https://cordis.europa.eu/search?q=%27Blockchain%27%20AND%20%27Tracking%27%20AND%20%27Provenance%27&amp;p=1&amp;num=10&amp;srt=Relevance:decreasing">CORDIS: https://cordis.europa.eu/search?q=%27Blockchain%27%20AND%20%27Tracking%27%20AND%20%27Provenance%27&amp;p=1&amp;num=10&amp;srt=Relevance:decreasing</a>
<b>Resultados</b>	varios (1 proyecto válido).

Los resultados de esta búsqueda se pueden encontrar siguiendo el enlace de la tabla anterior, que devuelve los resultados mostrados en la Figura 52. Analizando dichos resultados se identifica un proyecto relevante en el periodo de estudio (2019). El proyecto PROVENANCE (European Commission, 2024s) con una duración de 2018 a 2022, trata sobre el uso de *blockchain* para saber el origen de la información (“producto”) y evitar a desinformación. Es una *IA-Innovation Action*, por lo que además se sabe que el TRL será al menos mayor de 3-4.



The screenshot displays four project entries from the CORDIS database:

- CONCORDIA** (ID: 836927): Cyber security cOmpeteNce for Research and InnovAtion. From: 1 January 2019 to: 31 March 2023. Europe needs to step up its efforts and strengthen its very own security capacities to secure its digital society, economy, and democracy. It is time to reconquer Europe's digital sovereignty. The vision for Europe can only be to join forces across Europe's research... Coordinated in: Germany. Programme: INDUSTRIAL LEADERSHIP - Leadership in enabling and industrial technologies - Information and Communication Technologies (ICT). Last update: 18 September 2023.
- CyberSec4Europe** (ID: 836929): Cyber Security Network of Competence Centres for Europe. From: 1 February 2019 to: 31 December 2022. CyberSec4Europe is a research-based consortium with 44 participants covering 21 EU Member States and Associated Countries. It has received more than 40 support letters and promises of cooperation from public administrations, international organisations, and key associations... Coordinated in: Germany. Programme: INDUSTRIAL LEADERSHIP - Leadership in enabling and industrial technologies - Information and Communication Technologies (ICT). Last update: 14 September 2023.
- TITANIUM** (ID: 740558): Tools for the Investigation of Transactions in Underground Markets. From: 1 May 2017 to: 30 April 2020. TITANIUM will develop novel methods and technical solutions for investigating and mitigating illegitimate activities (relating to either crime or terrorism) involving virtual currencies and/or underground market transactions. Specifically, the project will: Establish a... Coordinated in: Austria. Programme: Ensures privacy and freedom, including in the Internet and enhance the societal, legal and ethical understanding of all areas of security, risk and management. Secure societies, protecting freedom and security of Europe and its citizens. Fight crime, illegal trafficking and terrorism including understanding and tackling terrorist ideas and beliefs. Last update: 18 July 2023.
- MI-MD My Health - My Data** (ID: 732807): My Health - My Data. From: 1 November 2016 to: 31 December 2019. Issues of data subjects' privacy and data security represent a crucial challenge in the biomedical sector more than in other industries. The current IT landscape in this field shows a myriad of isolated, locally hosted patient data repositories, managed by clinical centres...

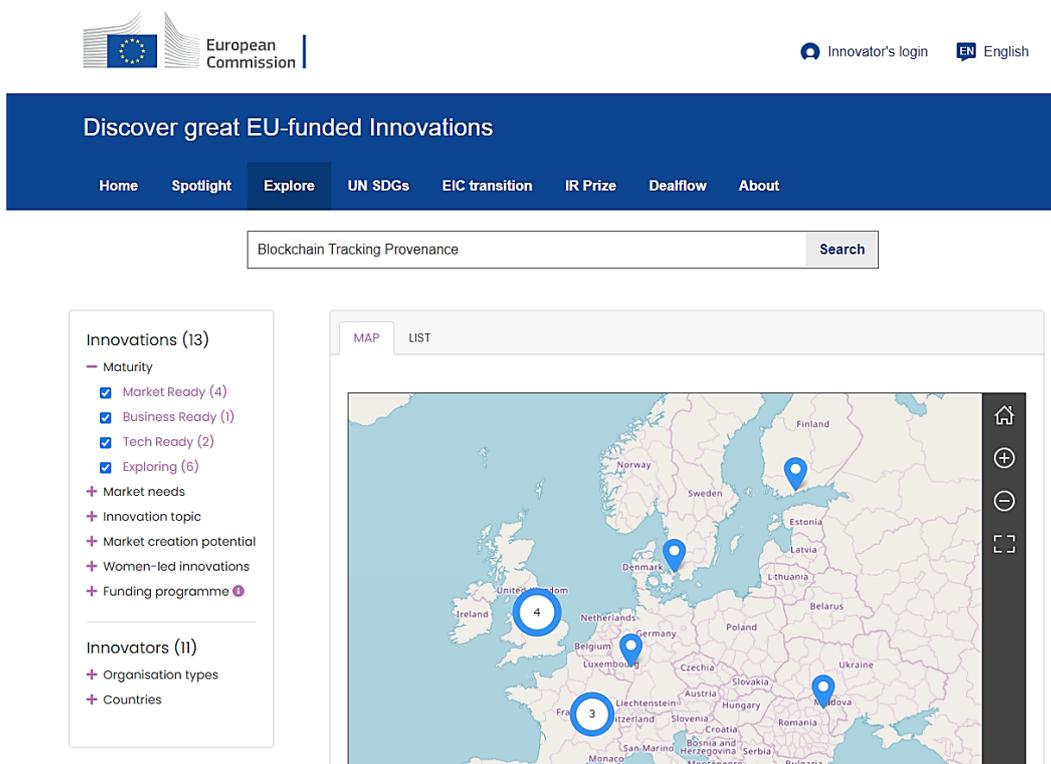
Figura 52. Resultados devueltos por CORDIS para la búsqueda en Test e)

- **Búsqueda en el Innovation Radar:** para poder identificar aquellas innovaciones tecnológicas asociadas al caso de estudio y que se encuentre bajo la categoría de bajo la categoría de “Exploring”, “Tech ready”, “Market ready” y “Business ready”. Para ello, se parte de la premisa de realizar la búsqueda usando las palabras clave, y filtrando en los resultados para que únicamente se muestren aquellas innovaciones bajo la categoría de interés. Se aplica así en Innovation Radar la sintaxis de búsqueda de la Tabla 110, detallada en el apartado 7.3.2.3.

Tabla 110. Búsqueda en Módulo de proyectos en Test e) (Innovation Radar)

<b>Sintaxis de búsqueda</b>	<i>Blockchain Tracking Provenance</i>
<b>Fuente</b>	<i>Innovation Radar: <a href="https://innovation-radar.ec.europa.eu/">https://innovation-radar.ec.europa.eu/</a> (“search bar” o barra de búsqueda)</i>
<b>Resultados</b>	<i>Varios resultados válidos para “Exploring”, “Tech ready”, “Market ready” y “Business ready”.</i>

Los resultados devueltos por la búsqueda se ven en la Figura 46 y se observa que salen resultados tanto para las clasificaciones de “Exploring”, “Tech ready”, “Market ready” y “Business ready”. En particular, la Figura 53 muestra el detalle de los para dichas categorías.



The screenshot shows the Innovation Radar interface. At the top, there are logos for the European Commission and 'Innovator's login' with a language selector set to 'English'. Below this is a navigation bar with 'Discover great EU-funded Innovations' and menu items: Home, Spotlight, Explore (selected), UN SDGs, EIC transition, IR Prize, Dealflow, and About. A search bar contains the text 'Blockchain Tracking Provenance' and a 'Search' button. The results are displayed in a 'MAP' view, showing a map of Europe with several blue location pins. A sidebar on the left lists filters for 'Innovations (13)' and 'Innovators (11)'. Under 'Innovations', the 'Maturity' section is expanded, showing: Market Ready (4) [checked], Business Ready (1) [checked], Tech Ready (2) [checked], and Exploring (6) [checked]. Other filters include Market needs, Innovation topic, Market creation potential, Women-led innovations, and Funding programme. Under 'Innovators', filters for Organisation types and Countries are visible.

Figura 53. Resultados devueltos por Innovation Radar para la búsqueda en Test e)

A continuación, se hace un análisis en detalle de las distintas clasificaciones:

- Para la categoría de “Exploring” se identifican resultados que pertenecen los siguientes proyectos en la temática y que además se encuentran dentro del periodo:
  - La innovación asociada sería “Disinformation Spread Analysis Tools” o “Herramientas para analizar la propagación de la desinformación”, respondiendo a uno de los objetivos de proyecto asociado con el hecho de que “un resultado clave será una plataforma para la verificación, seguimiento y desacreditación de contenido de manera cooperativa y descentralizada. Esta será una herramienta *open-source* para atraer a comunidades, ciudadanos y periodistas que puedan estar en una sala de

- prensa, así como reporteros freelance”. El proyecto asociado es WEVERIFY (European Commission, 2024w) y con una duración de 2018 a 2021.
- La innovación sería “*A blockchain based Digital Trusted Healthcare Ecosystem (DTHE) that supports reliable data sharing for the Healthcare Industry*” o bien “Un Ecosistema de Salud Digital de confianza basado en *blockchain* que apoye el compartir los datos confiables para la industria del cuidado de la salud. La duración del proyecto es de 2020 a 2022 por lo que puede encajar. El proyecto llamado PHARMALEDGER (European Commission, 2024r) tiene por objetivo crear e introducir un marco basado en *blockchain* para digitalizar de forma eficiente la industria de la salud y empoderar a los pacientes. Además, su objetivo es proporcionar una Plataforma ampliamente confiable que apoye el diseño y la adopción de solución del cuidado de la salud basadas en *blockchain* al mismo tiempo que se avanza en lograr innovaciones que beneficien a todo el ecosistema, desde fabricantes a pacientes.
  - Si bien hay una innovación adicional que podría encajar llamada “*Decentralized tracking, acknowledgement, and compensation for public-licensed (e.g., CC) creative content using sNFTs*” o “Seguimiento, recepción y compensación descentralizada por medio de contenido creativo de licencia pública usando NFTs” (NFTs por sus siglas en inglés “Non -Fungible Tokens” o Tokens no fungibles). Es del proyecto ATARCA (European Commission, 2024b) que tiene una duración de 2021 a 2023 y por ello, en principio, siendo estrictos no sería de aplicación.
- Para el caso de “*Tech ready*”, las innovaciones resultantes identificadas como relevantes, son:
    - Innovación sobre “Algorithms for Recognition of Deep Fakes” o “Algoritmos para el reconocimiento de falsificaciones profundas”, del proyecto WEVERIFY (European Commission, 2024w).
    - Innovación sobre “OpenDSU”, una Unidad de Compartición de datos o DSU (Data Sharing Unit) basada en *blockchain* para ecosistemas de salud confiables. Las herramientas de privacidad y confidencialidad para desarrolladores para un ambiente descentralizado, del proyecto PHARMALEDGER (European Commission, 2024q).

- Para el caso de “**Market ready**”, las innovaciones resultantes identificadas como relevantes, son:
  - Innovación del proyecto WEVERIFIER, llamada “*COVID-19 Misinformation Classifier*” o “Clasificador de desinformación sobre COVID-19”.
  - Innovación del mismo proyecto llamada “*Database of Fake Images, Videos and Debunked Claims*” o “Base de datos de falsificaciones de imágenes, vídeos o reclamaciones desacreditadas”.
- Para el caso de “**Business ready**”, la innovación resultante identificadas como relevante, es:
  - La innovación que sale es “*SECURE NETWORKS & COMPUTING INNOVATION Network Analysis and Visualisation Tool*” o “Herramienta de visualización y análisis de la red” del mismo Proyecto WEVERIFIER.

Ahora toda la información de las búsquedas anteriores se traduce en forma de indicadores del Módulo 3 y su valor asociado (Tabla 41) en función de los criterios de cada TRL (apartado 7.3.3). La Tabla 111 muestra los resultados de la búsqueda del Módulo 3 aplicando *keywords* tecnológicas y cómo dichos resultados se traducen en un valor para el indicador.

Tabla 111. Búsqueda del Módulo 3 para TRL3-7- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test e)

Indicador y valor	Descripción	Explicación
I3.1=1 (TRL3-6)	Número de proyectos	Hay un proyecto asociado con la tecnología y ámbito de aplicación.
I3.2=1 (TRL3-6)	Rango TRL asociado	Hay un proyecto asociado a la tecnología y ámbito de aplicación objeto de estudio que se encuentra dentro del TRL objeto de estudio.
I3.3 = 1 (TRL7)	Número de iniciativas bajo definición “ <i>Market ready</i> ”	Hay iniciativas bajo este rango de clasificación asociadas a esta tecnología y ámbito de aplicación.
I3.4 = 1 (TRL5-7)	Número de iniciativas bajo definición “ <i>Tech ready</i> ”	Hay iniciativas bajo este rango de clasificación asociadas a esta tecnología y ámbito de aplicación.
I3.5=1 (TRL7)	Número de iniciativas bajo definición “ <i>Business ready</i> ”	Hay iniciativas bajo este rango de clasificación asociadas a esta tecnología y ámbito de aplicación.
I3.6=1 (TRL3-5)	Número de iniciativas bajo definición “ <i>Exploring</i> ”	Hay iniciativas bajo este rango de clasificación asociadas a esta tecnología y ámbito de aplicación.

#### 8.4.5 PASO 2.d. Búsqueda en BBDD en Módulo de Negocios

En este caso, la búsqueda es la misma que para el caso del Test e), por lo que simplemente se debe consultar el apartado 8.3.5 y los resultados serían los mismos tanto para la parte de regulación y/o grupos de trabajo, como para empresas tecnológicas asociadas que hayan atraído inversión. Ahora bien, traduciendo esta información de las búsquedas anteriores se traduce en forma de indicadores del Módulo 3 y su valor asociado (Tabla 41) en función de los criterios de cada TRL (apartado 7.3.3). La Tabla 112 muestra los resultados de la búsqueda del Módulo 4 aplicando *keywords* tecnológicas y cómo dichos resultados se traducen en un valor para el indicador.

Tabla 112. Búsqueda del Módulo 4 para TRL5-7- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test e)

Indicador y valor	Descripción	Explicación
I4.1=1 (TRL5-7)	Número de reglamentos asociados / grupos de trabajo	Sí hay reglamentos y/o grupos de trabajo asociados.
I4.2=0 (TRL5-7)	Número de empresas tecnológicas cotizadas en bolsa (mercado alternativo)	No hay empresas asociadas a la tecnología y ámbito de aplicación objeto de estudio cotizadas en bolsa.

#### 8.4.6 PASO 2.e. Búsqueda en BBDD de Módulo de Noticias/Redes Sociales

A partir de las palabras clave definidas en el PASO 1, se procede a realizar la búsqueda en este módulo de noticias/redes sociales. En esta búsqueda únicamente se utilizan palabras clave tecnológicas con la sintaxis de búsqueda de la Tabla 113 y para el periodo de duración que comprende desde los 2018 a 2019 dentro de la herramienta de búsqueda Google y filtrando por “Noticias”, detallado en el apartado 7.3.2.5.

Tabla 113. Búsqueda en Módulo de noticias en Test e)

<b>Sintaxis de búsqueda</b>	<i>Blockchain Tracking Provenance</i>
<b>Fuente</b>	Google: <a href="https://www.google.es/">https://www.google.es/</a> y filtrando por “Noticias”
<b>Resultados</b>	Amplio resultado de noticias relevantes

La Figura 54 muestra los resultados devueltos para la tecnología (seguimiento de la procedencia por *blockchain*) en el ámbito seleccionado en el periodo de estudio (2018-2019). Hay varias noticias relevantes como por ejemplo la de agosto de 2018 sobre cómo una empresa de Reino Unido aplica *blockchain* para ayudarnos a conocer de donde viene la comida que consumimos o bien, otra de 2019 se indica que Carrefour afirma que las ventas se incrementan por medio del seguimiento basado en *blockchain*.

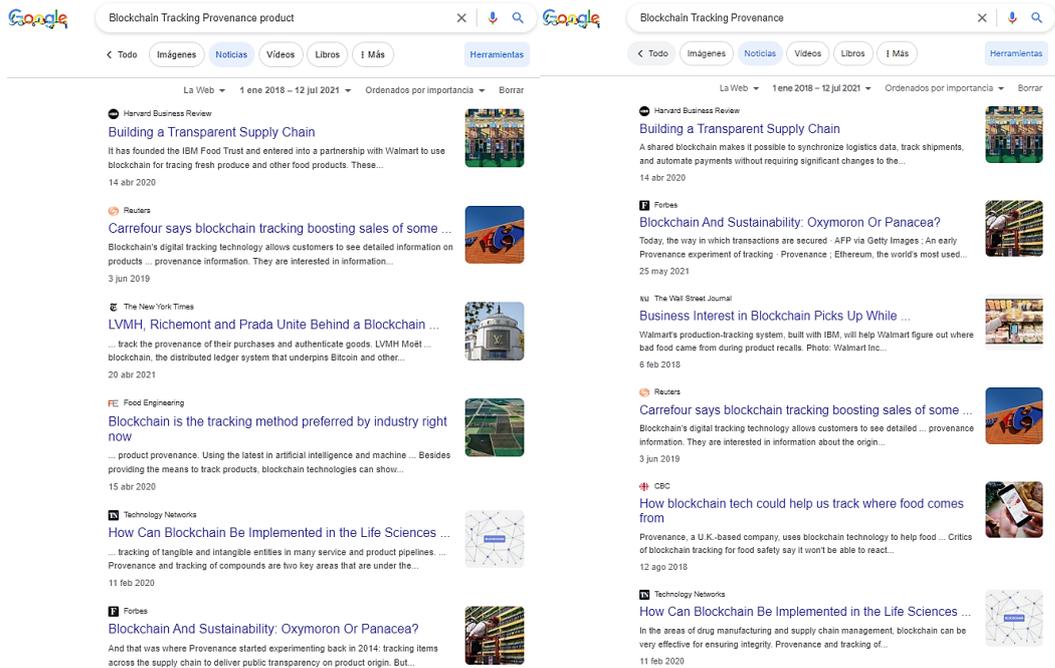


Figura 54. Resultados devueltos por Google (filtro de Noticias) para la búsqueda en Test e)

Ahora toda la información de las búsquedas anteriores se traduce en forma de indicadores del Módulo 5 y su valor asociado (Tabla 45) en función de los criterios de cada TRL (apartado 7.3.3). La Tabla 114 muestra los resultados de la búsqueda del Módulo 5 aplicando *keywords* tecnológicas y cómo dichos resultados se traducen en un valor para el indicador.

Tabla 114. Búsqueda del Módulo 5 para TRL7-8 Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test e)

Indicador y valor	Descripción	Explicación
I5.1=1 (TRL4-6)	Número de publicaciones y/o noticias	Hay noticias y/o publicaciones asociadas al proyecto para esta tecnología y aplicación en el periodo de estudio.

#### 8.4.7 PASO 3. Cálculo del TRL

En este último paso de la metodología, se procede a realizar el cálculo del TRL y comprobar si la metodología devuelve el mismo TRL que en el caso de estudio, es decir, se valida la precisión y robustez de la metodología seleccionada. Posteriormente, se realiza un análisis de los resultados.

#### Test e). Validación de la metodología para TRL7-TRL9

A continuación, se calculan los distintos TRL para validar si la metodología es capaz de determinar el TRL de este caso de aplicación a partir de los datos anteriores. Por lo tanto, las preguntas a realizarse son:

- **¿Cumple los criterios de TRL1?** Sí porque se cumple el único criterio establecido (A) en el Módulo académico. Por lo tanto, se considera que la tecnología ha alcanzado, al menos, el TRL1. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 115, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 105.

Tabla 115. Resultados del Test e) para el cálculo de TRL1

Cumplimiento de TRL1 (A)			Resultado Test e) (TRL1)	
Criterio	Módulo	Condición	Resultado	
A	1. Módulo académico ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I1.1 = 1	I1.1=1 ✓	Sí, pues hay más de un artículo sobre la temática.
<b>Conclusión:</b> A se cumple y por tanto se cumplen los criterios de TRL1.				

- **¿Cumple los criterios de TRL2?** Sí porque se cumple el único criterio establecido (A) en el Módulo académico. Por lo tanto, se considera que la tecnología ha alcanzado, al menos, el TRL2. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 116 cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 105.

Tabla 116. Resultados del Test e) para el cálculo de TRL2

Cumplimiento de TRL2 (A)			Resultado Test e) (TRL2)	
Criterio	Módulo	Condición	Resultado	
A	1. Módulo académico ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I1.1=1 y I1.2=1	I1.1=1 y I1.2=1 ✓	Sí pues hay 3 artículos (al menos 1) sobre la temática y uno de ellos ha sido publicado al menos una vez al año siguiente de su publicación.
<b>Conclusión:</b> A se cumple y por tanto se cumplen los criterios de TRL2.				

- **¿Cumple los criterios de TRL3?** Sí porque A (asociado a Módulo 1) se cumple, y con eso es suficiente para afirmar que se cumplen los criterios de TRL3. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 117, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 106.

Tabla 117. Resultados del Test e) para el cálculo de TRL3

Cumplimiento de TRL3 (A y/o B*)			Resultado Test e) (TRL3)	
*B se cumple cuando se da b0 y si se da b1 y/o b2 y/o b3				
Criterio	Módulo	Condición	Resultado	
A	1. Módulo académico ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas y de aplicabilidad.	I1.1>1 y I1.2=1	I1.1>1 y I1.2=1 ✓	Sí porque hay al menos dos artículos (más de uno) que cumplan con los criterios de <i>keywords</i> tecnológicas y no tecnológicas al realizar

Cumplimiento de TRL3 (A y/o B*) *B se cumple cuando se da b0 y si se da b1 y/o b2 y/o b3			Resultado Test e) (TRL3)	
Criterio	Módulo	Condición	Resultado	
				la búsqueda. Además, al menos uno de ellos ha sido citado por un autor en los siguientes años.
<b>Conclusión:</b> A se cumple ya que hay más de un artículo en la materia en el año objeto de estudio, aplicando en la búsqueda <i>keywords</i> tecnológicas y no tecnológicas y, además, al menos uno de ellos ha sido citado por un autor en los años siguientes. Por lo tanto, se cumplen los criterios de TRL3.				

- **¿Cumple los criterios de TRL4?** Sí porque se cumplen las cuatro premisas de las cuatro premisas principales (A, B, C o D). No ha sido necesario calcular el criterio de desbloqueo E. Por lo que se puede concluir que esta tecnología cumple con los criterios de TRL4. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 118, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 106, Tabla 108 y Tabla 111.

Tabla 118. Resultados del Test e) para el cálculo de TRL4

Cumplimiento de TRL4 (al menos dos de A, B, C o D; E sólo para desbloqueo)			Resultado Test e) (TRL4)	
Criterio	Módulo	Condición	Resultado	
<b>A</b>	1. Módulo académico ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas y de aplicabilidad.	I1.1>1 y I1.2=1	I1.1>1 y I1.2=1 ✓	Sí porque hay al menos dos artículos (más de uno) que cumplan con los criterios de <i>keywords</i> tecnológicas y no tecnológicas al realizar la búsqueda. Además, al menos uno de ellos ha sido citado por un autor en los siguientes años.
<b>B</b>	2. Módulo de patentes ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I2.1=1	I2.1=1 ✓	Sí porque hay al menos una patente/solicitud de patente en la tecnología y ámbito de aplicación en el periodo objeto de estudio.
<b>C</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.1=1 y I3.2=1	I3.1=1 y I3.2=1 ✓	Sí por lo indicado para TRL3, al haber un proyecto tecnológico asociado en el mismo rango de TRL.
<b>D</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.6=1	I3.6=1 ✓	Sí porque no hay al menos una innovación asociada bajo la clasificación de “ <i>Exploring</i> ”.

Cumplimiento de TRL4 (al menos dos de A, B, C o D; E sólo para desbloqueo)			Resultado Test e) (TRL4)
Criterio	Módulo	Condición	Resultado
<b>Conclusión:</b> cumple cuatro (A, B, C y D) de las cuatro premisas principales (A, B, C o D), por lo que se puede concluir que esta tecnología cumple con los criterios de TRL4. Por tanto, la tecnología se encuentra en TRL4 en 2019.			

- **¿Cumple los criterios de TRL5?** Sí porque se cumplen cuatro (A, B, C y D) de las cuatro premisas o criterios principales (A, B, C y D) y, por tanto, se puede confirmar que se encuentra en TRL5. Por lo tanto, no ha sido necesario calcular el criterio de desbloqueo E. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 119, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 108 y Tabla 111.

Tabla 119. Resultados del Test e) para el cálculo de TRL5

Cumplimiento de TRL5 (al menos dos de A, B, C o D; E sólo para desbloqueo) *E se cumple cuando se da e1 y/o e2			Resultado Test e) (TRL5)	
Criterio	Módulo(s)	Condición	Resultados	
<b>A</b>	2. Módulo de patentes ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I2.1=1	I2.1=1 ✓	Sí porque hay al menos una patente/solicitud de patente en la tecnología y ámbito de aplicación en el periodo objeto de estudio.
<b>B</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.1=1 y I3.2=1	I3.1=1 y I3.2=1 ✓	Sí por lo indicado para TRL3, al haber un proyecto tecnológico asociado en el mismo rango de TRL.
<b>C</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.4=1	I3.4=1 ✓	Sí porque hay innovaciones asociadas bajo la clasificación de “ <i>Tech ready</i> ”.
<b>D</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.6=1	I3.6=1 ✓	Sí porque hay innovaciones asociadas bajo la clasificación de “ <i>Exploring</i> ”.
<b>Conclusión:</b> cumplen cuatro (A, B, C y D) de las cuatro premisas principales (A, B, C o D), por lo que se puede concluir que esta tecnología cumple con los criterios de TRL5.				

- **¿Cumple los criterios de TRL6?** Sí porque se cumplen cinco (A, B, C, D y E) de las cinco premisas principales (A, B, C, D o E), por lo que se puede confirmar que esta tecnología se encuentra en TRL6 en 2019. La justificación ampliada se encuentra en la

Tabla 120, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 108, Tabla 111, Tabla 112 y Tabla 114.

Tabla 120. Resultados del Test e) para el cálculo de TRL6

Cumplimiento de TRL6 (al menos dos de A, B, C, D o E)			Resultado Test e) (TRL6)	
Criterio	Resultados	Condición	Resultados	
<b>A</b>	2. Módulo de patentes ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I2.1=1	I2.1=1 ✓	Sí porque hay al menos una patente/solicitud de patente en la tecnología y ámbito de aplicación en el periodo objeto de estudio.
<b>B</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.1=1 y I3.2=1	I3.1=1 y I3.2=1 ✓	Sí por lo indicado para TRL3, al haber un proyecto tecnológico asociado en el mismo rango de TRL.
<b>C</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.4=1	I3.4=1 ✓	Sí porque hay innovaciones asociadas bajo la clasificación de “Tech ready”.
<b>D</b>	4. Módulo de Negocios ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I4.1=1 y/o I4.2=1	I4.1=1 y/o I4.2=0 ✓	Sí porque hay reglamentos y/o grupos de trabajo asociados, si bien no hay empresas asociadas a la tecnología y ámbito de aplicación objeto de estudio cotizadas en bolsa.
<b>E</b>	5. Módulo de Noticias/Redes Sociales cálculo exclusivamente para desbloqueo)	I5.1=1	I5.1=1 ✓	Sí porque hay noticias y/o publicaciones asociadas al proyecto para esta tecnología y aplicación en el periodo de estudio.
<b>Conclusión:</b> cumple cinco (A, B, C, D y E) de las cinco premisas principales (A, B, C, D o E), por lo que se puede concluir que esta tecnología cumple con los criterios de TRL6.				

- **¿Cumple los criterios de TRL7?** Sí porque se cumplen siete (A, B, C, D, E, F y G) de las siete premisas principales (A, B, C, D, E, F y G), por lo que se puede confirmar que esta tecnología se encuentra en TRL7 en 2019. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 121, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 108, Tabla 111, Tabla 112 y Tabla 114.

Tabla 121. Resultados del Test e) para el cálculo de TRL7

Cumplimiento de TRL7 (al menos cuatro de A, B, C, D, E, F o G)			Resultado Test e) (TRL7)	
Criterio	Resultados	Condición	Resultados	
<b>A</b>	2. Módulo de patentes ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I2.1=1	I2.1=1 ✓	Sí porque hay al menos una patente/solicitud de patente en la tecnología y ámbito de aplicación en el periodo objeto de estudio.
<b>B</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.1=1 y I3.2=1	I3.1=1 y I3.2=1 ✓	Sí por lo indicado para TRL3, al haber un proyecto tecnológico asociado en el mismo rango de TRL.
<b>C</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.3=1	I3.3=1 ✓	Sí porque no innovaciones asociadas bajo la clasificación de “ <i>Market ready</i> ”.
<b>D</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.4=1	I3.4=1 ✓	Sí porque no innovaciones asociadas bajo la clasificación de “ <i>Tech ready</i> ”.
<b>E</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.5=1	I3.5=1 ✓	Sí porque no innovaciones asociadas asociada bajo la clasificación de “ <i>Business ready</i> ”.
<b>F</b>	4. Módulo de Negocios ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I4.1=1 y/o I4.2=1	I4.1=1 y/o I4.2=0 ✓	Sí porque hay reglamentos y/o grupos de trabajo asociados, si bien no hay empresas asociadas a la tecnología y ámbito de aplicación objeto de estudio cotizadas en bolsa.
<b>G</b>	5. Módulo de Noticias/Redes Sociales ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I5.1=1	I5.1=1 ✓	Sí porque hay noticias y/o publicaciones asociadas al proyecto para esta tecnología y aplicación en el periodo de estudio.
<b>Conclusión:</b> cumple siete (A, B, C, D, E, F y G) de las siete premisas principales (A, B, C, D, E, F y G), por lo que se puede concluir que esta tecnología cumple con los criterios de TRL7. Por tanto, la tecnología se encuentra en TRL7 en 2019.				

- **¿Cumple los criterios de TRL8?** Sí porque se cumplen cuatro (A, B, C y D) de las cuatro premisas principales (A, B, C y D), por lo que se puede confirmar que esta tecnología se encuentra en TRL8 en 2019. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 122, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 111, Tabla 112 y Tabla 114.

Tabla 122. Resultados del Test e) para el cálculo de TRL8

Cumplimiento de TRL8 (al menos dos de A, B, C o D)			Resultado Test e) (TRL8)	
Criterio	Módulo(s)	Condición	Resultados	
<b>A</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.3=1	I3.3=1 ✓	Sí porque no innovaciones asociadas bajo la clasificación de “ <i>Market ready</i> ”.
<b>B</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.5=1	I3.5=1 ✓	Sí porque no innovaciones asociadas asociada bajo la clasificación de “ <i>Business ready</i> ”.
<b>C</b>	4. Módulo de Negocios ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I4.1=1 y/o I4.2=1	I4.1=1 y/o I4.2=0 ✓	Sí porque hay reglamentos y/o grupos de trabajo asociados, si bien no hay empresas asociadas a la tecnología y ámbito de aplicación objeto de estudio cotizadas en bolsa.
<b>D</b>	5. Módulo de Noticias/Redes Sociales ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I5.1=1	I5.1=1 ✓	Sí porque hay noticias y/o publicaciones asociadas al proyecto para esta tecnología y aplicación en el periodo de estudio.
<b>Conclusión:</b> cumple cuatro (A, B, C y D) de las cuatro premisas principales (A, B, C y D), por lo que se puede concluir que esta tecnología cumple con los criterios de TRL8. Por tanto, la tecnología se encuentra en TRL8 en 2019.				

#### 8.4.8 Análisis de la robustez de la metodología más allá de TRL7-TRL8

En este caso la comprobación el objetivo es asegurar que la metodología es capaz de diferenciar para este caso de aplicación so la tecnología se encuentra en el estado TRL8 o bien en el TRL9. Es decir, en este apartado el objetivo es comprobar que se cumplen las condiciones de contorno y por ello la metodología debería ser capaz de calcular que la tecnología para el ámbito de aplicación es TRL8 tal y como se indica en la bibliografía, al mismo tiempo que detectar que no se encuentra en TRL9. Es decir, identifica inequívocamente el rango de TRL objeto de estudio.

- ¿Cumple los criterios de TRL9?** Sí dos (B y C) de las tres premisas principales (A, B y C), por lo que se puede concluir que esta tecnología cumple con los criterios de TRL9. Por tanto, según la metodología la tecnología objeto de estudio, se encuentra en TRL9 en 2019. Así, la metodología ha demostrado que es capaz de determinar el TRL pero no es capaz de diferenciar entre TRL8-TRL9, tal y como si discretiza la información encontrada coincide con el encontrado en la bibliografía. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 190, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 111, Tabla 112 y Tabla 114.

Tabla 123. Resultados del Test e) para el cálculo de TRL9

Cumplimiento de TRL9 (al menos dos de A, B o C)			Resultado Test e) (TRL9)	
Criterio	Módulo(s)	Condición	Resultados	
<b>A</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.3=1	I3.3=1 ✓	Sí porque no innovaciones asociadas bajo la clasificación de “ <i>Market ready</i> ”.
<b>B</b>	4. Módulo de Negocios ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas y <i>keywords</i> de aplicabilidad	I4.1=1 y/o I4.2=1	I4.1=1 y/o I4.2=0 ✓	Sí porque hay reglamentos y/o grupos de trabajo asociados, si bien no hay empresas asociadas a la tecnología y ámbito de aplicación objeto de estudio cotizadas en bolsa.
<b>C</b>	5. Módulo de Noticias/Redes Sociales ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I5.1=1	I5.1=1 ✓	Sí porque hay noticias y/o publicaciones asociadas al proyecto para esta tecnología y aplicación en el periodo de estudio.
<b>Conclusión:</b> cumple tres (A, B y C) de las tres premisas principales (A, B y C), por lo que se puede concluir que, según la metodología, esta tecnología cumple con los criterios de TRL9. Por tanto, la tecnología se encuentra en TRL8- TRL9 en 2019 ya que la metodología no es suficientemente robusta para este caso, no siendo capaz de diferenciar entre ambas y no coincidiendo así con el encontrado en la bibliografía.				

#### 8.4.9 Test e). Conclusiones sobre los resultados de la validación

Tras haber realizado la prueba de validación de Test e), y tal y como se deduce de las conclusiones detalladas en la Tabla 124, se puede concluir que la metodología ha demostrado que puede calcular el TRL para la tecnología y campo de aplicación seleccionado para un año dado. Sin embargo, al calcular el “caso frontera” para comprobar que la metodología es robusta y capaz de diferenciar entre TRL8 y TRL9, para este caso de validación ha demostrado no serlo.

Tabla 124. Test e) Conclusiones de los resultados de validación de la metodología

	Test e) -bibliografía	Test e) -metodología	Conclusión
<b>Año</b>	2019	2019	✓ Cumple con limitaciones para los valores frontera.
<b>Rango de TRL</b>	TRL8 (TRL7-8)	TRL8 (TRL7-8) pero no distingue con TRL9	
<b>Tecnología/aplicación</b>	<i>Blockchain</i> para seguimiento de la procedencia de productos	<i>Blockchain</i> para seguimiento de la procedencia de productos	

## 8.5 Análisis de resultados de las validaciones realizadas

Tras haber realizado las pruebas de validación en los seis casos seleccionados, cuyos resultados se muestra en la Tabla 125, las **principales conclusiones del análisis** son:

- La metodología ha demostrado que el cambio de paradigma propuesto, acerca de que para llegar a un TRL<sub>n</sub> se ha debido llegar antes al TRL<sub>n-1</sub> o TRL<sub>n-2</sub>, etc. Es decir, que se debe haber pasado por todos los estados previos.
- Esta ha demostrado ser válida para diversas tecnologías (incluso actualizadas a la realidad actual) en diversos ámbitos de aplicación y que, además, la definición de palabras clave, puede ser una transcripción directa de la tecnología y la aplicación, funcionamiento a la perfección la mayoría de las veces, o únicamente debiendo hacer ajustes mínimos.
- Ha probado que, para hacer una metodología ágil y no dependiente de expertos, el planteamiento de indicadores que no cuantifiquen el número de información a estudiar es válido. De hecho, la hacer ser suficientemente genérica para no depender de los diversos grados de avance o madurez que pueden tener diversas tecnologías según su ámbito de aplicación (por ejemplo, en aquellos con elevada dependencia regulatoria como el sector salud, o por cuestiones de seguridad como puede ser el ámbito nuclear).
- En la mayoría de los casos la metodología ha demostrado ser capaz de dar valores únicos de TRL y en las zonas frontera es capaz de confirmar y diferenciar el TRL en el que se encuentra la tecnología. En cambio, ha habido dos casos particulares donde esto no ha sido posible:
  - Test e) La metodología no es capaz de diferenciar entre TRL8 y TRL9. En este caso en particular, se ha dado la situación casi excepcional que todos los indicadores se cumplían en TRL8 y, por tanto, los de TRL9 también al ser una reducción de los indicadores de TRL anterior. En este caso, habría que trabajar en analizar un posible criterio de desbloqueo adicional.
  - Test d) La metodología en este caso no ha sido capaz de diferenciar entre el TRL6 y TRL7, causado también por un cumplimiento prácticamente total de los

indicadores de TRL anterior. En este caso, se añadió un criterio de excepcionalidad, que permite confirmar por medio de proyectos identificados, si en estos se indica el TRL asociado al proyecto. Esta propuesta se pretende incluir en nuevas versiones de la metodología.

Tabla 125. Resumen del análisis de los resultados

Test	Año	TRL objetivo	TRL probado	Metodología cumple
a) (Prueba 1.1)	2017	TRL1-3	TRL1-3	Sí
c) (Prueba 1.3)	2017	TRL4-6	TRL4-6	Sí
f) (Prueba 1.5)	2016	TRL7-9 (TRL9)	TRL8-9	Sí
b) (Prueba 2.1)	2016	TRL1-3 (TRL3)	TRL1-3	Sí
d) (Prueba 2.2)	2019	TRL4-6 (TRL6)	TRL4-6	Sí con limitaciones
e) (Prueba 2.3)	2019	TRL7-8 (TRL8)	TRL8-9	Sí con limitaciones

Por lo tanto, si se traducen estos resultados en términos de las características planteadas que debía cumplir la metodología, se tiene:

- R1. Capacidad de clasificación de los TRL para una tecnología dada: la metodología puede clasificar la tecnología en función del concepto de TRL. Esto ha demostrado ser capaz de realizarlo para cualquier tecnología y ámbito de aplicación como se ha detallado en las pruebas de validación.
- R2. Univocidad de TRL o Asignación inequívoca de TRL: la metodología proporciona un TRL claro, en vez de en tramos o rangos de TRL, para una tecnología dada en un campo de aplicación específico en un momento concreto de tiempo. Ahora bien, hay ocasiones excepcionales, como los valores frontera, que no capaz de diferenciar entre dos TRLs cercanos como ha sido el caso de TRL8-9 en el Test e) y TRL6-7 para el Test d). También es cierto, que su capacidad de calcular y verificar que una tecnología se encuentre en un rango de TRLs o uno único, depende del caso de validación y la información que haya en la bibliografía. No obstante, ha demostrado ser válida en ambas ocasiones.
- R3. Operatividad aplicando fuentes de datos gratuitas para la búsqueda: la metodología se basa en el uso de fuentes de datos gratuitas, coste reducido y/o de acceso o abierto para crear sus bases de datos. De hecho, la metodología está basada de manera exclusiva en este tipo de fuentes y ha demostrado ser muy efectiva.
- R4. Usabilidad en un amplio rango de aplicaciones relacionadas con tecnologías: la metodología ha demostrado ser válida para diversas aplicaciones relacionadas con las KETs, tanto desde que se planteó el plan de investigación (por ejemplo, robótica) como otras más actuales, como *blockchain*. Y todas ellas, han sido demostradas en diversos ámbitos de aplicación, que van desde entornos nucleares, a trazabilidad de productos, comercialización de energía entre pares o reciclajes de materiales compuestos.

- **R5. Procedimiento cuantitativo y no dependiente del conocimiento de expertos:** no hay necesidad de ser un experto en la materia tecnológica en cuestión para usar esta metodología, ya que en función de los resultados de las búsquedas y el número de estos y su relevancia, se asigna un valor a un indicador y por medio de un simple procedimiento permite determinar o confirmar si se está en uno u otro TRL. Además, se ha comprobado que, en base a los resultados de las pruebas, las *keywords* no requieren de una elevada complejidad a la hora de definirse, sino simplemente replicar la tecnología y campo de aplicación, en términos generales.
- **R6. Procedimiento semiautomático:** la solución proporcionada será una alternativa semiautomática, minimizando, en la medida en que sea posible, las interacciones de los usuarios para calcular el TRL y, por tanto, aportando agilidad. Si bien hay margen de mejor a que sea más sencillo e intuitivo, ha demostrado que el procedimiento a seguir es relativamente fácil y está claramente definido.

## 9 DIVULGACIÓN DE RESULTADOS

Para presentar los resultados obtenidos se ha efectuado una publicación correspondiente a los trabajos realizados para evaluar la aplicabilidad de las metodologías de cálculo de TRL existentes del que, a continuación, se recogen los criterios de calidad relativos a su difusión.

<b>Título:</b>	Applicability of Technology Maturity Level Evaluation Methodologies within Small- and Medium-Sized Organizations: Prospects and Proposals.
<b>Autores:</b>	Rodríguez López, N.; Alvarez Cabal, J.V.; Cuiñas, M.C.; Ortega Fernández, F.
<b>Revista:</b>	Systems
<b>Año:</b>	2023
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.3390/systems11080387">10.3390/systems11080387</a>
<b>Cita:</b>	Rodríguez López, N.; Alvarez Cabal, J.V.; Cuiñas, M.C.; Ortega Fernández, F. (2023). Applicability of Technology Maturity Level Evaluation Methodologies within Small- and Medium-Sized Organizations: Prospects and Proposals. <i>Systems</i> , 11(8), 387.
<b>Factor de Impacto (JCR):</b>	1.9 (202)
<b>Campo y Posición:</b>	Q2 (Information system and management)

El índice de impacto de la revista *Systems* (ISSN: 2079-8954) en 2022 fue 1,9 (Q2) y el índice de impacto a 5 años, 2,5.

Este artículo ha sido citado una vez por (Giofrè et al., 2024) el 17 de octubre de 2023, menos de tres meses después de su publicación.

Cabe destacar que desde su publicación el 28 de julio de 2023 hasta el 19 de mayo de 2024, fecha de la última consulta, el artículo ha tenido 3.029 visitas



### Indicios de Calidad

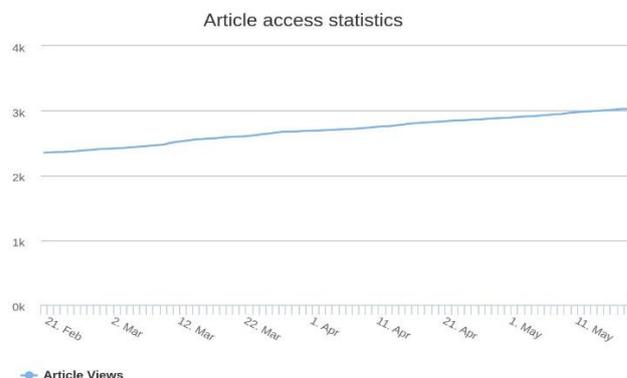


Figura 55. Estadísticas de acceso del artículo durante el periodo (febrero 2024 - mayo 2024) (MDPI Journals, 2024)

## 10 CONCLUSIONES

En base de las metodologías encontradas en el estado del arte, la metodología propuesta y las conclusiones tras las pruebas de validación, hay que destacar los puntos positivos que esta tiene sin duda y su potencial de aplicación. Igualmente, la autora es consciente de que la metodología tiene margen de mejora, y como consecuencia, ha identificado sus limitaciones junto con propuestas de líneas de futuro para su refinamiento futuro.

### 10.1 Deficiencias encontradas en la metodología

El análisis detallado sobre el estado del arte ha permitido comprobar que las metodologías cuantitativas para el cálculo del TRL asociado a una tecnología son muy limitadas y que las opciones mayoritarias son métodos cualitativos basados en opiniones de expertos. Como consecuencia de estos resultados, se han estudiado en detalle esas dos metodologías cuantitativas y no dependientes de expertos (referidas como SmET y BIMATEM) para comprobar su validez de cara a ser aplicadas en las organizaciones prioritarias de esta tesis (aquellas de pequeño y mediano tamaño).

Atendiendo a las organizaciones objetivo anteriormente mencionadas y a las limitaciones encontradas en el estado del arte, las metodologías SmET y BIMATEM debían de validarse conforme a una serie de hipótesis (Hi). Estas hipótesis se definieron para dar respuesta los retos encontrados. De este modo, las organizaciones de pequeño y mediano tamaño disponen de una cantidad y acceso de recursos limitada y por ello algunas de las citadas hipótesis se centraban en usar fuentes de datos gratuitas tanto para la búsqueda (H3) como para el desarrollo de la metodología (H6), y tratando de hacer que fuera lo más universal posible aplicándola en diversas tecnologías para aplicación industrial, haciendo uso de las KETs (H4). Igualmente, este tipo de entidades no pueden acceder a expertos de manera amplia por los motivos mencionados, además de que la base de los métodos cualitativos se basa en el juicio de expertos. De este modo se impone una hipótesis asociada con lograr un procedimiento cuantitativo y no dependiente de expertos (H5). Por último, se le exige, como es de esperar, que sea capaz de clasificar una tecnología dada en función del concepto de TRL (H1) y además se le exige una asignación inequívoca, es decir, que no haya incoherencias en el método (H2).

Tras haber realizado un análisis y comprobación de la validez de SmET y BIMATEM para organizaciones medianas y pequeñas contrastándolos con las hipótesis citadas, se han podido comprobar tanto las fortalezas como debilidades de estas. Entre las fortalezas, cabe destacar que ambas son capaces de determinar el TRL o rango de TRLs basándose en datos objetivos como el número de artículos científicos, patentes, noticias, entre otros. Además, al menos SmET es efectiva usando fuentes de datos gratuitas total o parcialmente y las dos se pueden aplicar a diversas tecnologías en amplios casos de aplicación.

Las debilidades se asocian a su capacidad limitada para asignar un TRL inequívoco, es decir, a diferenciar entre niveles de madurez próximos para una tecnología en un determinado entorno de aplicación. En general son ampliamente dependientes de las fuentes de datos de pago y si bien, aparentemente no dependen de expertos, la definición de las palabras clave que usan para la búsqueda y el método de cálculo (especialmente en BIMATEM), requieren de cierto nivel de experiencia o tienen cierta complejidad.

En paralelo, también se ha realizado un diagnóstico de situación de cara a comprender cómo perciben los potenciales usuarios finales de la metodología el concepto de TRL y su posible aplicación. De esta consulta, se ha identificado que hay notables paralelismos con las hipótesis de partida y conclusiones a las que se ha llegado en los pasos previos. Uno de los primeros aspectos indicados es la *Subjetividad y falta de robustez* del cálculo de TRL, principalmente motivados por el juicio experto a o que se añade un *Desconocimiento de métodos de cálculo*, es decir, que no es tan evidente cómo se realiza dicha determinación del nivel de TRL. En la misma línea se ha resaltado la *ausencia de consenso, complejidad de aplicación, su definición demasiado generalista y la falta de una solución universal*. En resumen, lo cierto es que se demanda una solución estándar y universal pero que responda a las necesidades reales de los casos tecnológicos y de aplicación que se pueden encontrar en la realidad.

Es decir, los potenciales usuarios requieren que se trabaje en una metodología fácil de seguir y sencilla, que sea clara y transparente y que no sea únicamente teórica, que demuestre su capacidad de cálculo en los entornos tecnológicos reales, para resolver los problemas existentes en la realidad. Además, hay deseos de conocer métodos de cálculo de TRL, lo cual demuestra que los actuales no son efectivos o al menos no convencen a sus usuarios en la actualidad.

En dicho diagnóstico también se ha identificado la *Dificultad para adaptarlo en el equipo y para ser comprendido* ya que puede ser que, en ocasiones, la falta de evangelización sobre el concepto sea lo que haga que su implantación no se lleve a cabo a mayor escala. Igualmente, son varios los encuestados que resaltan la necesidad de evitar considerar el concepto de TRL de forma aislada, e incluir otros conceptos cercanos al mercado como los BRL o *Business Readiness Level*, sobre todo en lo que respecta a su aplicación en las decisiones estratégicas, a la hora de priorizar proyectos.

Este segundo punto del diagnóstico resalta, por un lado, que el TRL es un concepto interesante desde el punto de vista de su uso en la toma de decisiones estratégicas sobre la clasificación y priorización de proyectos pero que debe acompañarse de otros conceptos que también tengan en cuenta aspectos asociados con el mercado (por ejemplo, BRL). Además, se indica que otro punto que puede hacer que el equipo no lo adopte ampliamente, es la dificultad para comprenderlo o el no estar habituados a su uso.

Gracias a estas conclusiones resultado del análisis, la autora ha podido establecer las bases sobre las que definir su metodología: una propuesta metodológica que busca paliar las limitaciones de los métodos actuales.

## 10.2 Metodología propuesta de estimación de TRL

Atendiendo a las limitaciones encontradas en el estado del arte, he desarrollado una metodología que permite calcular el TRL de una tecnología en un determinado entorno de aplicación para un momento dado. Esta metodología determina el nivel de madurez de la tecnología según el cumplimiento de una serie de criterios. Para comprobar el grado de conformidad de estos criterios para la tecnología estudiada, se debe seguir un determinado procedimiento. Así, en primer lugar, se identifican una serie de palabras clave para la tecnología y campo de aplicación que se estudia, sin necesidad de recurrir a expertos. A continuación, se utilizan dichas palabras para buscar en unas bases de datos previamente identificadas. En función de estos resultados, se comprueban los criterios establecidos, y en función de ese resultado, se determina el TRL final para dicha tecnología.

La clave de esta solución metodológica recae en lo que se ha definido como su cerebro. Éste consta de cinco módulos (1. Módulo Académico, 2. Módulo de Patentes, 3. Módulo de Proyectos, 4. Módulo de Negocios y 5. Módulo de Noticias/Redes sociales) donde cada uno ellos, tiene mayor o menor peso en función de la madurez de la tecnología, es decir, del nivel de la escala de TRL en el que se encuentre ésta. Cada uno de estos módulos, lleva asociadas una serie de bases de datos de acceso público gratuitas o de bajo coste, donde se realiza la búsqueda de las palabras clave.

Igualmente, cada uno de dichos módulos lleva asociados una serie de indicadores. En función de los resultados obtenidos tras la búsqueda, se determinan los valores de los indicadores de cada módulo. Con dicha información, se comprueban los criterios de cumplimiento de cada TRL. En otras palabras, la metodología propuesta establece de manera única el valor del TRL asociado en función de los valores obtenidos en los diversos indicadores de cada módulo. Ahora bien, como ya se ha adelantado, hay ciertos módulos que tienen importancia para determinar TRLs bajos pero que reducen su protagonismo para el cálculo de TRLs elevados (por ejemplo, el Módulo Académico).

Por último, en vista al cumplimiento de los criterios establecidos, se determina el TRL de dicha tecnología y caso de aplicación en un momento dado. Además, en términos generales, la metodología

permite garantizar la asignación inequívoca del TRL, es decir, permite comprobar que se está en un TRL dado y no en el TRL frontera (TRL superior).

Para completar el desarrollo de la metodología se ha validado comprobando su funcionamiento y realizando los oportunos ajustes. Se ha partido de TRL evaluados por expertos para metodologías disponibles en el momento actual y obtenidos a partir de búsqueda bibliográfica. Para asegurar la validez de la metodología se ha contrastado con dos casos de uso para los intervalos de TRL 1-3, 4-6 y 7-9.

### 10.3 Potencial de la metodología

La metodología de cálculo del nivel de TRL asociado a una tecnología en un momento dado, desarrollada por la autora en esta tesis, además de presentar un importante grado de avance con respecto a las propuestas existentes en el estado del arte (al cumplir con los requisitos marcados), aporta un gran potencial desde diversos puntos de vista.

Así, ha sido pensada para responder a las necesidades de pequeñas y medianas empresas y/u organizaciones cuya actividad y supervivencia depende del desarrollo tecnológico. Por ello, la metodología es fácil de utilizar y ha sido pensada para usar con fuentes de datos gratuitas o de bajo coste. De este modo, la propuesta parte de la premisa de ofrecer una solución de bajo coste para este tipo de entidades cuyos recursos (financieros, humanos, temporales etc.) son habitualmente escasos. El método es especialmente relevante para iniciativas *spin-offs* o *start-ups* que por definición se fundamentan en la explotación de resultados de investigación o en tecnología altamente innovadora. La clave de desarrollo de su negocio depende de la atracción de clientes e inversores, y la selección estratégica de proyectos de I+D+i es un aspecto fundamental para un crecimiento altamente expansivo.

La limitación de recursos también lleva asociada la necesidad de encontrar respuestas a soluciones de manera ágil. Los cambios mundiales de los últimos años (pandemia global, guerra en Ucrania, crisis de suministro global desde materias primas, alimentos o textiles, entre otros), han hecho que la palabra resiliencia tenga aún más sentido si cabe. Es decir, todas las organizaciones deben ser capaces de adaptarse a la nueva situación en periodos cortos de tiempo. Para ello, estas empresas u organizaciones, si quieren sobrevivir a estos cambios, deben tener información fiable para poder realizar una correcta toma de decisiones con respecto a las nuevas estrategias a seguir. Esta información relevante sobre la cual basar la toma de decisiones, es portada por la metodología propuesta.

Además, en este tipo de entidades, donde la ausencia de grandes recursos no permite poder implementar múltiples estrategias y planes de contingencia, es importante disponer de una correlación entre la criticidad y riesgos asociados a los proyectos en función del estado de la(s) tecnología(s) implementada(s). Para ello, la clasificación de la tecnología en función de los TRLs permite saber el estado en el que ésta se encuentra (investigación, desarrollo o innovación) y, por tanto, tal y como se ha

indicado en el estado del arte, se sabrá si está cerca de ser explotado o no, si tiene más probabilidades de ser financiado o no, etc. De este modo, se puede balancear la cartera de proyectos en función el estado en el que se encuentre la empresa o las decisiones que se quieran tomar. Por ejemplo, seleccionar un proyecto de I+D+i como apuesta para abrir una nueva línea de actividad que permita diferenciarse de los competidores en un plazo de 5 años, mientras que se finaliza un proyecto de innovación asociado a una tecnología que en dos años ya podría estar en mercado.

En otras palabras, una PYME tecnológica, un centro tecnológico o un pequeño departamento de I+D+i de una universidad, debe ser capaz de disponer de información contrastada y de forma ágil que le permita tomar decisiones sobre la estrategia a seguir en lo que respecta a la prioridad de sus actividades. Partiendo de la premisa de que sus actividades van a estar asociadas a una o varias tecnologías y éstas se llevarán a cabo por medio de proyectos, la metodología desarrollada en esta tesis será capaz de:

- Dar un valor de TRL a una tecnología en un determinado campo de aplicación. La tecnología es aquella sobre la que la entidad está desarrollando o va a desarrollar un proyecto.
- Una vez conocido el TRL, se determinan los riesgos asociados o pros y contras a esta actividad en función de si se encuentra en el ámbito de la I+D o de la innovación.
- Con la información del punto anterior, se toma una decisión estratégica con respecto a la cartera de proyectos de dicha organización en base a información contrastada y de manera ágil.

Una vez definida esta estrategia y establecidos una serie de indicadores de rendimiento, se realizará su monitorización. Así, en caso de que estos indicadores tengan desviaciones al alza o a la baja, se requerirán una revisión de dicha estrategia. En dicho caso, se puede querer apostar por una nueva tecnología o dejar de apostar por alguna de las elegidas en la estrategia previa. Como consecuencia, la metodología permitirá que la entidad vuelva al primer punto (“dar un valor de TRL”) y actualice la estrategia conforme a los resultados devueltos por la misma.

Por último, se debe destacar que todas estas afirmaciones se han visto corroboradas e incluso ampliadas gracias al diagnóstico de situación. De ese modo, se ha podido confirmar que las organizaciones objetivo pueden extenderse fuera de la suposición inicial de organizaciones de pequeño y mediano tamaño, tal y como se indicaba antes. Además, se ha comprobado que el TRL es ampliamente aplicada en dichas organizaciones y, por tanto, no es desconocido si bien su cálculo suele realizarse principalmente de forma cualitativa por medio de juicio de expertos. Hay quienes han resaltad que saber con exactitud el TRL no es tan importante como conocer el rango, especialmente si se trata de TRLs bajos (investigación), medios (desarrollo) o altos (innovación).

De manera adicional, el diagnóstico ha reivindicado el interés del TRL como herramienta facilitadora del acceso a la inversión y su solidez, por su origen en el marco de la NASA y que se lleva utilizando ampliamente en ambientes tecnológicos complejos como el aeroespacial, o el nuclear entre otros. En

esta línea, el uso del concepto de TRL en aplicaciones reales para evaluar el grado de madurez tecnológica de instalaciones científicas singulares como IFMIF-DONES, detalladas en la bibliografía, ayuda a fortalecer esta idea, así como de resaltar su potencial en la gestión eficiente de riesgos asociados a proyectos tecnológicos. Igualmente, han destacado el interés en que exista un método de cálculo del TRL y la importancia de poder usar el concepto de TRL para gestionar proyectos de I+D+i así como para la toma de decisiones con respecto a las estrategias de I+D+i tanto a nivel de entidades privadas, como de políticas públicas.

En resumen, se ha comprobado que hay una necesidad real de poder determinar el TRL de una tecnología dada en un entorno de aplicación de una manera fiable, pues además de que a fecha de hoy no existen alternativas convincentes, dicho concepto es ampliamente reconocido como un elemento con amplio potencial de aplicación en diversos campos y finalidades.

## 10.4 Líneas futuras de investigación

Partiendo de la versión actual de la metodología desarrollada, se han identificado varias líneas futuras de investigación para su mejora. Como resultado de ello, se han definido los siguientes objetivos prioritarios (OP):

- **OP1.** Incrementar la aplicabilidad y versatilidad de la metodología desarrollada.
- **OP2.** Mejorar la precisión y robustez de la metodología.
- **OP3.** Aumentar la usabilidad de la metodología y facilitar la interacción del usuario con la misma.

A continuación, se presentan las líneas de investigación (LI) asociadas para hacer frente a estos objetivos prioritarios:

### **LI1. Optimización/actualización de las bases y/o fuentes de datos:**

- **Objetivo(s) relacionado(s):** OP1. Incrementar la aplicabilidad y versatilidad de la metodología desarrollada; OP2. Mejorar la precisión y robustez de la metodología.
- **Situación actual:** la metodología ha identificado una serie de bases de datos para los diversos módulos de una manera genérica para el caso de aplicación de las tecnologías KETs en el ámbito industrial. Sin embargo, a lo largo del proceso de definición y validación se ha identificado que estas bases y fuentes de datos pueden ser refinadas por la amplia casuística de casos que se pueden dar y que, además, podrían ayudar a incrementar la versatilidad de la metodología. Además, la metodología en ocasiones presenta problemas de robustez no diferenciando entre ciertos valores frontera.
- **Investigación propuesta:** de este modo, se propone la optimización o refinamiento de algunas de las bases de datos para poder incrementar la versatilidad de la metodología previendo la

ampliación de su aplicabilidad a diversas tecnologías o campos de aplicación. Además, adecuar su uso y priorización de uso de unas y otras en función de la tecnología o aplicabilidad podría solventar ciertas limitaciones actuales, como la falta de univocidad o diferenciación entre ciertos TRLs frontera (como TRL8 o 9). Además, ciertas bases de datos varían su capacidad de búsqueda con el tiempo (o no filtran los resultados o los filtran todos), es decir, su falta de reproducibilidad podría afectar al resultado final de la metodología, especialmente si se pretende combinar con otras tecnologías tal y como se propone en la LI3. Algunas iniciativas son:

- Bases de datos del Módulo 1 Académico: por un lado, se propone ampliar la variedad de bases de datos gratuitas y/o de bajo coste, seleccionando repositorios de ciencia abierta por temática en función de diversos criterios, como la determinación del “top 10” de universidades o centros de investigación referentes en la materia. Para ello, se podrían usar conceptos como los mapas de calor que relacionan autores, proyectos o citas entre diversos artículos de un tema determinado.
- Bases de datos del Módulo 4 de Negocios: en este caso, se debe desarrollar una base de datos más exhaustiva incluyendo diversas referencias a estándares según el tipo de tecnología o ámbito de aplicación, y debe tenerse actualizado especialmente en lo que respecta a las tecnologías emergentes. También se debe destacar que hay casos de aplicación donde el estándar “meramente industrial” no es suficiente porque los requisitos son más elevados a causa, por ejemplo, de cuestiones asociadas con la seguridad, como es el caso del ámbito nuclear o asociados a temas médicos.
- Criterios de selección de las bases de datos: en función del momento de cálculo de TRL (por ejemplo, pasado, presente o estimaciones futuras), se puede adecuar el tipo y número de fuentes de datos para cada caso. Esto se puede combinar con la información indicada en la línea de investigación LI3.

## **LI2. Optimización de las *keywords* o palabras clave:**

- Objetivo(s) relacionado(s): OP1. Incrementar la aplicabilidad y versatilidad de la metodología desarrollada; OP2. Mejorar la precisión y robustez de esta, especialmente de cara a las tecnologías emergentes que puedan surgir.
- Situación actual: la versión de la metodología desarrollada y presentada no ha requerido ninguna técnica o procedimiento especial de definición de palabras clave. Simplemente, se ha basado en replicar las mismas palabras encontradas en la bibliografía para definir las *keywords* de búsqueda tecnológicas.
- Investigación propuesta: especialmente de cara a tendencias tecnológicas y tendencias emergentes futuras, es importante crear una ontología asociada a cierta tecnología. Una primera

aproximación podrían ser enfoques asociados con el uso de herramientas de Inteligencia Artificial indicadas en el Anexo del apartado 12.1.1.

### **LI3. Reducción de la dependencia / existencia de datos actuales:**

- **Objetivo(s) relacionado(s):** OP1. Incrementar la aplicabilidad y versatilidad de la metodología desarrollada.
- **Situación actual:** actualmente la metodología viene limitada por la disponibilidad de datos en el presente y pasado. Por este motivo, esta versión de la metodología no permite hacer previsiones sobre posibles tendencias tecnológicas en el futuro. Además, tal y como se adelantó en LI1, hay ciertas fuentes de datos que únicamente dan información relevante en el presente (por ejemplo, redes sociales) o bien que, por su naturaleza, sólo disponen de información a partir de una determinada fecha. Este es el caso del *Innovation Radar* o programas europeos donde el concepto de TRL se ha venido implementando desde 2020, careciendo de información anterior sobre ellos.
- **Investigación propuesta:** debido a la falta de bases de datos sobre una variedad representativa de tecnologías, aplicaciones y tendencias de comportamiento, se perfilan posibles estrategias para minimizar este riesgo. Algunas de ellas están orientadas a ampliar la base de datos y que permitan realizar análisis retrospectivos o prospectivos sin gran cantidad de datos:
  - **Estudiar el avance de la misma tecnología** en diversos ámbitos de aplicación: por ejemplo, la robótica colaborativa no está igualmente implantada en la industria, el ámbito sanitario o la agricultura. Esto puede permitir determinar la velocidad de avance de madurez de la misma tecnología o las razones por las que hay una diferencia (aspectos regulatorios, restricciones sociales si se combina con otros indicadores como los SRL, etc.) en función del ámbito de aplicación, si además se combinan con tecnologías digitales como la Inteligencia Artificial.
  - Hacer **análisis retrospectivos** de diversas tecnologías en el mismo ámbito de aplicación y poder identificar patrones de conducta en la evolución de la madurez tecnológica por medio de su combinación con Inteligencia Artificial.

### **LI4. Automatización total del proceso:**

- **Objetivo(s) relacionado(s):** OP3. Aumentar la usabilidad de la metodología y facilitar la interacción del usuario con la misma.
- **Situación actual:** la versión presentada de la metodología cumple con el requisito de ser semiautomática y los pasos a seguir son claros y fácilmente reproducibles sin necesidad de ser un experto. Desde el punto de vista de usabilidad, es posible sugerir mejoras.

- *Investigación propuesta:* en este sentido, se propone crear una interfaz desde donde se opere con el cerebro de la metodología. Es decir, disponer de una pantalla o similar donde el usuario incluya las palabras clave y el año objetivo y el sistema basado en la metodología pueda indicarle de manera automática el TRL donde se encuentra la tecnología objeto de estudio y ámbito de aplicación. Es más, incluso podría simplemente indicarse la metodología y/o ámbitos de aplicación y que el sistema de forma autónoma definiera las palabras clave asociadas. Para ello, el cerebro de la metodología debería ser capaz de hacer las búsquedas en las fuentes de datos de cada módulo, para lo cual debe desarrollarse más el modo en que se pueda realizar dicha búsqueda por medio de una comunicación sencilla. En esta línea, por ejemplo, se ha visto que la Comisión Europea pondrá próximamente a disposición de los usuarios una API (llamada DET API (European Commission, 2024g)) para poder consultar dicha información de manera automática.

#### **LI5. Detección temprana de tecnologías TRL1 (o revelación de niveles TRL0):**

- *Objetivo(s) relacionado(s):* OP1. Incrementar la aplicabilidad y versatilidad de la metodología desarrollada.
- *Situación actual:* la versión presentada de la metodología propone realizar el cálculo de los TRLs desde el estado TRL1, es decir, cuando aparece la primera publicación asociada sobre la tecnología asociada. Sin embargo, la investigación comienza mucho antes de esta primera publicación e, incluso en ocasiones no llega a publicarse, porque se decide mantener en secreto. En este sentido, se pueden proponer mejoras el alcance de la metodología.
- *Investigación propuesta:* se propone llevar a cabo una determinación temprana de las tecnologías emergentes antes de que lleguen al nivel TRL1, es decir, revelar niveles tecnológicos TRL0 o en fase embrionaria. Para ello, una posible aproximación sería la de generar un nuevo módulo asociado a esta vigilancia estratégica donde poder incluir nuevas fuentes de información, entre las que se podrían incluir: resoluciones de solicitudes de proyecto a convocatorias públicas (en estado pendiente de adjudicación), memorándums de entendimiento entre socios tecnológicos, búsquedas de socios para formar consorcios en investigación (por ejemplo, EEN-Enterprise European Network (European Commission, 2024i) y su nodo en Asturias EEN-GalacteaPlus (GalacteaPlus consortium, 2024), convocatorias de premios, convocatorias de innovación abierta, etc.). El potencial de esta aproximación metodológica sería la de adelantarse a la competencia, explorar nichos con alto potencial de crecimiento o establecer futuros escenarios estratégicos, entre otros.

## 11 BIBLIOGRAFÍA

- Abdella, J. A., & Shuaib, K. (2019). An Architecture for Blockchain based Peer to Peer Energy Trading. *2019 Sixth International Conference on Internet of Things: Systems, Management and Security (IOTSMS)*, 412–419. <https://doi.org/10.1109/IOTSMS48152.2019.8939195>
- Abercrombie, R., Schlicher, B., FT Sheldon - US Patent 9, 177, 249, & 2015, U. (2015). Scientometric methods for identifying emerging technologies (Patent US9177249B2). In *Google Patents* (US9177249B2). <https://patents.google.com/patent/US9177249B2/en>
- Aitken, J. M., Veres, S. M., Shaukat, A., Gao, Y., Cucco, E., Dennis, L. A., Fisher, M., Kuo, J. A., Robinson, T., & Mort, P. E. (2018). Autonomous Nuclear Waste Management. *IEEE Intelligent Systems*, 33(6), 47–55. <https://doi.org/10.1109/MIS.2018.111144814>
- Almus, M., & Nerlinger, E. A. (1999). Growth of New Technology-Based Firms: Which Factors Matter? *Small Business Economics*, 13(2), 141–154. <https://doi.org/10.1023/A:1008138709724>
- Altunok, T., & Cakmak, T. (2010). A technology readiness levels (TRLs) calculator software for systems engineering and technology management tool. *Advances in Engineering Software*, 41(5), 769–778. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2009.12.018>
- AM-Motion. (2016). *Am-Motion A Strategic Approach To Increasing Europe's Value Proposition For Additive Manufacturing Technologies And Capabilities D5.4*. <https://cordis.europa.eu/project/id/723560/reporting>
- ASTM. (2017). *ASTM International Global Leader in Additive Manufacturing Standards*. <https://amcoe.org/wp-content/uploads/2022/05/Additive-Manufacturing-Sector-Overview.pdf>
- Azizian, N., Sarkani, S., & Mazzuchi, T. (2009). A Comprehensive Review and Analysis of Maturity Assessment Approaches for Improved Decision Support to Achieve Efficient Defense Acquisition. *World Congress on Engineering and Computer Science*, 20–22.

- Beauson, J., & Brøndsted, P. (2016). Wind Turbine Blades: An End of Life Perspective. In *MARE-WINT* (pp. 421–432). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-39095-6\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-319-39095-6_23)
- Bendale, T. D., & Kharat, V. J. (2017). A design of gesture controlled mobile robot with robotic arm for nuclear environment. *2017 International Conference on Nascent Technologies in Engineering (ICNTE)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICNTE.2017.7947918>
- Bernardi, D., Ibarra, A., Arbeiter, F., Arranz, F., Cappelli, M., Cara, P., Castellanos, J., Dzitko, H., García, A., Gutiérrez, J., Królas, W., Martín-Fuertes, F., Micciché, G., Muñoz, A., Nitti, F. S., Pinna, T., Podadera, I., Pons, J., Qiu, Y., & Román, R. (2022). The IFMIF-DONES Project: Design Status and Main Achievements Within the EUROfusion FP8 Work Programme. *Journal of Fusion Energy*, *41*(2), 24. <https://doi.org/10.1007/s10894-022-00337-5>
- Bernatas, R., Dagreou, S., Despax-Ferreres, A., & Barasinski, A. (2021). Recycling of fiber reinforced composites with a focus on thermoplastic composites. *Cleaner Engineering and Technology*, *5*, 100272. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100272>
- Berumen, S., Bechmann, F., Lindner, S., Kruth, J.-P., & Craeghs, T. (2010). Quality control of laser- and powder bed-based Additive Manufacturing (AM) technologies. *Physics Procedia*, *5*, 617–622. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2010.08.089>
- BME, B. y M. E. (2023). *BME Growth*. <https://www.bmegrowth.es/esp/Home.aspx>
- Brañas, B., Maestre, J., Bernardi, D., Ibarra, A., Arbeiter, F., Arena, P., Arranz, F., Becerril, S., Cappelli, M., Chel, S., Castellanos, J., Favuzza, P., Jiménez-Rey, D., Krolas, W., Martín-Fuertes, F., Micciché, G., Nitti, F. S., Podadera, I., Qiu, Y., ... Weber, M. (2024). TRL analysis of IFMIF-DONES. *Fusion Engineering and Design*, *202*, 114328. <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2024.114328>
- Brandl, E., Baufeld, B., Leyens, C., & Gault, R. (2010). Additive manufactured Ti-6Al-4V using welding wire: comparison of laser and arc beam deposition and evaluation with respect to aerospace material specifications. *Physics Procedia*, *5*, 595–606. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2010.08.087>
- Bruno, I., Lobo, G., Valente Covino, B., Donarelli, A., Marchetti, V., Schiavone Panni, A., Molinari Italy, F., & Molinari, F. (2020). Technology readiness revisited: a proposal for extending the scope of impact assessment of European public services CCS CONCEPTS Digital public services, technology readiness level, assessment of innovation potential, interoperability ACM Reference format. *Proceedings of the 13th International Conference*

- on Theory and Practice of Electronic Governance*, 2020, 23–25.  
<https://doi.org/10.1145/3428502.3428552>
- Bucharest Stock Exchange. (2024). *Bucharest Stock Exchange*. <https://bvb.ro/>
- Buchner, G. A., Steputat, K. J., Zimmermann, A. W., & Schomäcker, R. (2019). Specifying Technology Readiness Levels for the Chemical Industry. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 58(17), 6957–6969. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.8b05693>
- Camarillo, D. B., Krummel, T. M., & Salisbury, J. K. (2004). Robotic technology in surgery: Past, present, and future. *The American Journal of Surgery*, 188(4), 2–15. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2004.08.025>
- Campani, M., & Vaglio, R. (2015). A simple interpretation of the growth of scientific/technological research impact leading to hype-type evolution curves. *Scientometrics*, 103(1), 75–83. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1533-6>
- Carmack, W. J., Braase, L. A., Wigeland, R. A., & Todosow, M. (2017). Technology readiness levels for advanced nuclear fuels and materials development. *Nuclear Engineering and Design*, 313, 177–184. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2016.11.024>
- CDTI - Dirección Programas de la Unión Europea y Cooperación Territorial. (2021). *Resultados de la participación española en Horizonte 2020*. [https://www.horizonteueropa.es/sites/default/files/noticias/Nota%20-%20Resultados%20participaci%C3%B3n%20espa%C3%B1ola%20en%20H2020%20vpub\\_1.pdf](https://www.horizonteueropa.es/sites/default/files/noticias/Nota%20-%20Resultados%20participaci%C3%B3n%20espa%C3%B1ola%20en%20H2020%20vpub_1.pdf)
- CEN-CENELEC. (2024). *EN/CLC/JTC 19 - Blockchain and Distributed Ledger Technologies*. [https://standards.cencenelec.eu/dyn/www/f?p=205:7:0:::FSP\\_ORG\\_ID,FSP\\_LANG\\_ID:2702172,25&cs=16E2ADC46E2536C73D74C407A6FE4B3FD](https://standards.cencenelec.eu/dyn/www/f?p=205:7:0:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:2702172,25&cs=16E2ADC46E2536C73D74C407A6FE4B3FD)
- Chakraborty, S., Vishwanathan, B., & Jayachandran, P. (2019). Value Attribution through Provenance Tracking in Blockchain Networks. *2019 IEEE International Conference on Web Services (ICWS)*, 413–417. <https://doi.org/10.1109/ICWS.2019.00074>
- ClarivateTM. (2024). *Science Citation Index*. <https://clarivate.com/products/scientific-and-academic-research/research-discovery-and-workflow-solutions/webofscience-platform/web-of-science-core-collection/science-citation-index-expanded/>
- Clark William G Jr, Shannon Robert E, & Junker Warren R. (1991). *System and method for remotely heating a polymeric material to a selected temperature* (Patent CA2058335A1). WESTINGHOUSE ELECTRIC CORP. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/024549931/publication/CA2058335A1?q=CA2058335A1>

- Cornford, S. L., & Sarsfield, L. (2004). Quantitative methods for maturing and infusing advanced spacecraft technology. *2004 IEEE Aerospace Conference Proceedings (IEEE Cat. No.04TH8720)*, 663–681. <https://doi.org/10.1109/AERO.2004.1367652>
- Cui, P., Dixon, J., Guin, U., & Dimase, D. (2019). A Blockchain-Based Framework for Supply Chain Provenance. *IEEE Access*, 7, 157113–157125. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2949951>
- de Aldecoa Quintana, J. M. I. (2021). *Niveles de madurez tecnológica*. <https://www.mintur.gob.es/publicaciones/publicacionesperiodicas/economiaiindustrial/revistaeconomiaiindustrial/393/notas.pdf>
- De Prato, G., Nepelski D., & Piroli, G. (2015). *Innovation Radar: Identifying Innovations and Innovators with High Potential in ICT FP7, CIP & H2020 Projects*. <https://doi.org/https://doi.org/10.2791/61591>
- Dean, T., Zhang, H., & Xiao, Y. (2022). The role of complexity in the Valley of Death and radical innovation performance. *Technovation*, 109, 102160. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2020.102160>
- Defense Acquisition University (DAU). (2024). *AFRL TRL Calculator*. <https://www.dau.edu/cop/stm/Lists/Tools/AllItems.aspx>
- Deutsche Börse. (2024). *Deutsche Börse*. <https://www.boerse-frankfurt.de/en>
- DoD - JDMRP. (2008). *DoD, "Manufacturing Readiness Assessment Deskbook."* <https://www.dodmrl.org/>
- El Mundo. (2022, June 22). *Google News is now available in Spain*. <https://www.elmundo.es/television/medios/2022/06/22/62b1ec7efc6c83aa298b45c9.html>
- Eleanor D. Glor. (2014). Studying the Impact of Innovation on Organizations, Organizational Populations and Organizational Communities: A Framework for Research. *The Innovation Journal: The Public Sector Innovation Journal*, 19(3). [https://www.innovation.cc/scholarly-style/2014\\_19\\_3\\_1\\_glor\\_framework-inovate491-c.pdf](https://www.innovation.cc/scholarly-style/2014_19_3_1_glor_framework-inovate491-c.pdf)
- Euronext. (2024). *Euronext Live market*. <https://live.euronext.com/en>
- European Commission. (2024). *Innovation Radar methodology*. <https://innovation-radar.ec.europa.eu/methodology>
- European Commission. (2009). *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions - "Preparing for our future: Developing a common strategy for key enabling*

- technologies in the EU.”* <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX:52009DC0512>
- European Commission. (2011). *European Commission. Final Report of High-Level Expert Group on Key Enabling Technologies.* [https://www.kowi.de/Portaldata/2/Resources/fp7/hlg\\_kets\\_final\\_report\\_en.pdf](https://www.kowi.de/Portaldata/2/Resources/fp7/hlg_kets_final_report_en.pdf)
- European Commission. (2014). *European Commission Technology Readiness Levels (TRL). Horizon 2020—WORK Programme 2014–2015 Gen. Annex. Extr. Part 19—Comm. Decis. C (p. 1).*
- European Commission. (2017). *LIFE programme: 2015 projects.* [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/MEMO\\_16\\_3489](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/MEMO_16_3489)
- European Commission. (2018). *European Commission. Horizon 2020 Proposal Template 2018–2020.* [https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/call\\_ptef/pt/2018-2020/h2020-call-pt-ria-ia-2018-20\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/call_ptef/pt/2018-2020/h2020-call-pt-ria-ia-2018-20_en.pdf)
- European Commission. (2019a). *Ethics Guidelines for Trustworthy AI. High-Level Expert Group on Artificial Intelligence set up by European Commission.* <https://ec.europa.eu/digital>
- European Commission. (2019b). *Growth Stock market.* [https://single-market-economy.ec.europa.eu/access-finance/policy-areas/growth-stock-markets\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/access-finance/policy-areas/growth-stock-markets_en)
- European Commission. (2019c). *LC-BAT-1-2019. Strongly improved, highly performant and safe all solid state batteries for electric vehicles (RIA).* <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/topic-details/lc-bat-1-2019>
- European Commission. (2024a). *AEROARMS project.* <https://cordis.europa.eu/project/id/644271>
- European Commission. (2024b). *ATARCA project.* <https://cordis.europa.eu/project/id/964678>
- European Commission. (2024c). *BD4OPEM project.* <https://cordis.europa.eu/project/id/872525>
- European Commission. (2024d). *CANOPIES project.* <https://cordis.europa.eu/project/id/101016906> del 2021-2024
- European Commission. (2024e). *Citizen Science - science by and for the people. Horizon The EU Research & Innovation Magazine.* <https://projects.research-and-innovation.ec.europa.eu/en/horizon-magazine/citizen-science-science-and-people>
- European Commission. (2024f). *CoLLaboratE project.* <https://cordis.europa.eu/project/id/820767>
- European Commission. (2024). *CORDIS/European Commission.* <https://cordis.europa.eu/en>
- European Commission. (2024g). *Datalab | DAT API.* <https://cordis.europa.eu/datalab>

- European Commission. (2024h). *DOMINOES project*.  
<https://cordis.europa.eu/project/id/771066/results>
- European Commission. (2024i). *EEN - Enterprise European Network*. <https://een.ec.europa.eu/>
- European Commission. (2024j). *EUROfusion project*.  
<https://cordis.europa.eu/project/id/633053/results>
- European Commission. (2024k). *FURNITRESUSE project*.  
<https://cordis.europa.eu/article/id/203926-novel-approach-to-recycling-unwanted-wood-and-plastic>
- European Commission. (2024l). *H2020 Projects/Qlik Sense-Interactive Data*.  
<https://webgate.ec.europa.eu/dashboard/sense/app/93297a69-09fd-4ef5-889f-b83c4e21d33e/sheet/a879124b-bfc3-493f-93a9-34f0e7fba124/state/analysis>
- European Commission. (2024m). *Home - Research - Key Enabling Technologies - European Commission*.  
[https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/industrial-research-and-innovation/key-enabling-technologies\\_en](https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/industrial-research-and-innovation/key-enabling-technologies_en)
- European Commission. (2024n). *Horizon Results Platform*. <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/horizon-results-platform>
- European Commission. (2024o). *LCE-01-2016-2017. Next generation innovative technologies enabling smart grids, storage and energy system integration with increasing share of renewables: distribution network*. Next generation innovative technologies enabling smart grids, storage and energy system integration with increasing share of renewables: distribution network
- European Commission. (2024p). *MU-TOOL project*. <https://cordis.europa.eu/article/id/93046-microwave-heating-cures-composites>
- European Commission. (2024q). *PARITY project*. <https://cordis.europa.eu/project/id/864319>
- European Commission. (2024r). *PHARMALEDGER project*.  
<https://cordis.europa.eu/project/id/853992>
- European Commission. (2024s). *PROVENANCE project*.  
<https://cordis.europa.eu/project/id/825227>
- European Commission. (2024t). *RELIGHT project*. <https://cordis.europa.eu/project/id/314872>
- European Commission. (2024u). *ROMANS - Robotic Manipulation for Nuclear Sort and Segregation*. <https://cordis.europa.eu/project/id/645582>
- European Commission. (2024v). *UNEXIM project*. <https://cordis.europa.eu/project/id/690008>

- European Commission. (2024w). *WEVERIFY project*. <https://cordis.europa.eu/project/id/825297>
- European Economic Community, & European Atomic Energy Community. (1957, March 25). *Euratom Treaty*. <https://www.europarl.europa.eu/about-parliament/en/in-the-past/the-parliament-and-the-treaties/euratom-treaty>
- European Patent Office. (2022). *Espacenet - pocket guide*. <https://link.epo.org/web/technical/espacenet/espacenet-pocket-guide-en.pdf>
- European Patent Office. (2024). *Espacenet website*. <https://worldwide.espacenet.com/>
- European Space Agency. (2024). *European Space Agency TRL Calculator (TRL Calculator Version 1.1.0)*. <https://trlcalculator.esa.int/>
- European Union. (2012). Consolidated version of the treaty establishing the European Atomic Energy Community (2012/C 327/01). In *Official Journal of the European Union*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:12012A/TXT>
- Ford, G. S., Koutsky, T. M., & Lawrence Spiwak, E. J. (2007). *A VALLEY OF DEATH IN THE INNOVATION SEQUENCE: AN ECONOMIC INVESTIGATION FINAL REPORT*.
- Foro Nuclear. (2024). *El proyecto de fusión nuclear ITER*. <https://www.foronuclear.org/actualidad/a-fondo/el-proyecto-de-fusion-nuclear-iter/>
- Fraunhofer-Gesellschaft. (2009a). *Perfectly Proportioned: Evenly Distributed Powder Density For Manufacturing Parts*. ScienceDaily. [www.sciencedaily.com/releases/2009/11/091106102656.htm](http://www.sciencedaily.com/releases/2009/11/091106102656.htm)
- Fraunhofer-Gesellschaft. (2009b, November). *RFID Chips: Intelligence inside metal components*. Science Daily - Press Release. <https://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2009/11/intelligence-inside-metal-components-RFID.html>
- GalacteaPlus consortium. (2024). *EEN-GalacteaPlus*. <https://www.galacteaplus.es/>
- GAO. (1999). *Better management of technology development can improve weapon system outcomes*.
- GAO U.S. Government Accountability Office. (2020). *Technology Readiness Assessment Guide - Best Practices for Evaluating the Readiness of Technology for Use in Acquisition Programs and Projects*. <https://www.gao.gov/assets/gao-20-48g.pdf>
- Gartner. (2023). *Gartner Hype Cycle Schema*. <https://www.gartner.com/en/articles/what-s-new-in-the-2023-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies>
- Gaytan, S. M., Murr, L. E., Medina, F., Martinez, E., Martinez, L., & Wicker, R. B. (2010). Gaytan, S.M.; Murr, L.E.; Medina, F.; Martinez, E.; Martinez, L.; Wicker, R.B. Fabrication

- and Characterization of Reticulated, Porous Mesh Arrays and Foams for Aerospace Applications by Additive Manufacturing Using Electron Beam Melting. In TMD (Ed.), *In Proceedings of the TMS 2010 Annual Meeting* (pp. 14–18).
- Giofrè, R., Cabrià, L., Leblanc, R., López, M., Vitobello, F., & Colantonio, P. (2024). An Efficient and Linear SSPA With Embedded Power Flexibility for Ka-Band Downlink SatCom Applications. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 72(1), 563–574. <https://doi.org/10.1109/TMTT.2023.3322866>
- Gobierno del Principado de Asturias. (2024). *Repositorio Institucional de Asturias (RIA) - Acceso abierto al conocimiento*. <https://ria.asturias.es/RIA/>
- Gonzalez-Aguirre, J. A., Osorio-Oliveros, R., Rodríguez-Hernández, K. L., Lizárraga-Iturralde, J., Morales Menendez, R., Ramírez-Mendoza, R. A., Ramírez-Moreno, M. A., & Lozoya-Santos, J. de J. (2021). Service Robots: Trends and Technology. *Applied Sciences*, 11(22), 10702. <https://doi.org/10.3390/app112210702>
- Google Scholar. (2024). *Google Scholar website*. <https://scholar.google.es/>
- Gove, R., & Uzdinski, J. (2013). A Performance-Based System Maturity Assessment Framework. *Procedia Computer Science*, 16, 688–697. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.01.072>
- Graettinger, C. P., Garcia, S., Sivi, J., Schenk, R. J., & Van Syckle, P. J. (2002). *Using the technology readiness levels scale to support technology management in the DoD's ATD/STO environments*.
- Grau, A., Indri, M., Lo Bello, L., & Sauter, T. (2021). Robots in Industry: The Past, Present, and Future of a Growing Collaboration With Humans. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 15(1), 50–61. <https://doi.org/10.1109/MIE.2020.3008136>
- Hague R., Reeves, P., & Jones, S. (2016). *Mapping UK Research and Innovation in Additive Manufacturing. A review of the UK's publicly funded R&D activities in additive manufacturing between 2012 and 2015. February*, 33. [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/505246/CO307\\_Mapping\\_UK\\_Accessible.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/505246/CO307_Mapping_UK_Accessible.pdf)
- Harzing A. (2007). *Publish or Perish*. <https://harzing.com/resources/publish-or-perish>
- Harzing A. (2016). *Publish or Perish - Use of data sources - Google Scholar*. como archivo de texto para referencias futuras. <https://harzing.com/resources/publish-or-perish/manual/using/data-sources/google-scholar>

- Harzing A. (2017). *Publish or Perish - Use of data sources - Crossref*.  
<https://harzing.com/resources/publish-or-perish/manual/using/data-sources/crossref>
- Harzing A. (2022). *Publish or Perish - Use of data sources - OpenAlex*.  
<https://harzing.com/resources/publish-or-perish/manual/using/data-sources/openalex>
- Harzing A. (2023). *Publish or Perish - Use cases - General search*.  
<https://harzing.com/resources/publish-or-perish/manual/using/use-cases/general-search>
- Héraud, J.-A., Kerr, F., & Burger-Helmchen, T. (2019). *Creative Management of Complex Systems* (Wiley Online Library, Ed.).
- Hicks, B., Larsson, A., Culley, S., & Larsson, D. T. (2009). A Methodology for Evaluating Technology Readiness During Product Development, (ICED 09). *International Conference on Engineering Design*, 157–168.
- Holden, N. M. (2022). A readiness level framework for sustainable circular bioeconomy. *EFB Bioeconomy Journal*, 2, 100031. <https://doi.org/10.1016/j.bioeco.2022.100031>
- Holm, K., & Goduscheit, R. C. (2020). Assessing the Technology Readiness Level of Current Blockchain Use Cases. *2020 IEEE Technology & Engineering Management Conference (TEMSCON)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/TEMSCON47658.2020.9140147>
- Hsieh, D. A. (2019). Informed Technology Adoption Decisions Based on Innovation-related Factors. In *UC Berkeley O.D. in Optometry*. ProQuest LLC.
- Hudson, J., & Khazragui, H. F. (2013). Into the valley of death: research to innovation. *Drug Discovery Today*, 18(13–14), 610–613. <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2013.01.012>
- Innovation Fund Denmark. (2018). *Societal Readiness Levels (SRL) Defined*.  
[https://innovationsfonden.dk/sites/default/files/2018-08/societal\\_readiness\\_levels\\_-\\_srl.pdf](https://innovationsfonden.dk/sites/default/files/2018-08/societal_readiness_levels_-_srl.pdf)
- International Standard Organization. (2018). *ISO 31000:2018*.  
<https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:es>
- ISO 16290:2013. (2019). Space Systems. Definition of the Technology Readiness Levels and Their Criteria of Assessment, ISO/TC 20/SC 14. In *International Organization for Standardization*.
- Jackson, S. (2008). *From rapid prototyping to mass customization - Industrial Laser Solutions*.  
<https://www.industrial-lasers.com/articles/print/volume-23/issue-7/features/application-report/from-rapid-prototyping-to-mass-customization.html>
- Jamais, C. (2009). *The Desktop Manufacturing Revolution*.  
<https://www.fastcompany.com/1307126/desktop-manufacturing-revolution>

- Javaheri, G. (2019). *SYSTEM, DEVICE, AND PROCESS FOR TRACKING PRODUCT* (Patent CA3121506A1).  
<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/070972044/publication/CA3121506A1?q=CA3121506A1>
- Jeschar Rudolf Prof Dr Ing Dr, Scholz Reinhard Prof Dr Ing Dr, Specht Eckehard Prof Dr Ing Dr, & Wassmann Kurt Dipl Ing. (1993). *Process for the multi-stage thermal treatment of composite material for the purpose of utilisation of materials and energy with low emission and low residues (recycling)* (Patent DE4305964A1).  
<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/006481407/publication/DE4305964A1?q=DE4305964A1>
- Jogunola, O., Hammoudeh, M., Adebisi, B., & Anoh, K. (2019). Demonstrating Blockchain-Enabled Peer-to-Peer Energy Trading and Sharing. *2019 IEEE Canadian Conference of Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, 1–4.  
<https://doi.org/10.1109/CCECE.2019.8861525>
- Johanning, S., & Bruckner, T. (2019). Blockchain-based Peer-to-Peer Energy Trade: A Critical Review of Disruptive Potential. *2019 16th International Conference on the European Energy Market (EEM)*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/EEM.2019.8916268>
- JRC (Joint Research Centre) and EIT (European Institute of Technology). (2018). *Legal and Regulatory Implications of Artificial Intelligence (AI): The Case of Autonomous Vehicles, E-health and Data Mining. Workshop held on 23 November 2018 in Brussels.*  
<https://ec.europa.eu/jrc/en/event/workshop/legal-and-regulatory-implications-artificial-intelligence-ai> [16] Christopher Bauer. 2004. An Ethics Self-
- Kahn, B. (2008). Displays and Lighting: OLED, e-Paper, Electroluminescent and beyond. *IDTechEx*. <https://www.idtechex.com/en/research-report/displays-and-lighting-oled-e-paper-electroluminescent-and-beyond/211>
- Kawabata, K., Mori, F., Shirasaki, N., Tanifuji, Y., & Hanari, T. (2017). Towards enhancement of test facilities for supporting nuclear decommissioning by remote technology. *2017 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)*, 450–455.  
<https://doi.org/10.1109/SII.2017.8279254>
- Kim Soo Jung. (2018). *P2P energy storage system based on distributed energy resources P2Penergy trading system using blockchain technology and method thereof* (Patent KR101942543B1). TELDA CO LTD.  
<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/065269726/publication/KR101942543B1?q=KR101942543B1>

- Klitsie, J. B., Price, R. A., & De Lille, C. S. H. (2019). Overcoming the Valley of Death: A Design Innovation Perspective. *Design Management Journal*, 14(1), 28–41. <https://doi.org/10.1111/dmj.12052>
- Kocaoglu, D. F. (2014, July 27). Portland International Center for Management of Engineering and Technology. In *Proceedings of the Portland International Conference on Management of Engineering & Technology (PICMET)*.
- KTH Innovation. (2021). *KTH Innovation Readiness Level™*. <https://kthinnovationreadinesslevel.com/>
- Kühner, F., Lugmaier, R. A., Mihatsch, S., & Gaub, H. E. (2007). Print your atomic force microscope. *Review of Scientific Instruments*, 78(7). <https://doi.org/10.1063/1.2751099>
- Kujawski, E. (2013). Analysis and Critique of the System Readiness Level. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 43(4), 979–987. <https://doi.org/10.1109/TSMCA.2012.2209868>
- Laraia M. (Ed.). (2017). *Advances and innovations in nuclear decommissioning*. Woodhead Publishing. Woodhead Publishing.
- Lezama-Nicolás, R., Rodríguez-Salvador, M., Río-Belver, R., & Bidosola, I. (2018). A bibliometric method for assessing technological maturity: the case of additive manufacturing. *Scientometrics*, 117(3), 1425–1452. <https://doi.org/10.1007/s11192-018-2941-1>
- Li, F., Wang, D., Wang, Y., Yu, X., Wu, N., Yu, J., & Zhou, H. (2020). Wireless Communications and Mobile Computing Blockchain-Based Trust Management in Distributed Internet of Things. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2020, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2020/8864533>
- Li, J., Wu, X., Xu, T., Guo, H., Sun, J., & Gao, Q. (2017). A novel inspection robot for nuclear station steam generator secondary side with self-localization. *Robotics and Biomimetics*, 4(1), 26. <https://doi.org/10.1186/s40638-017-0078-y>
- Li, X., Bai, R., & McKechnie, J. (2016). Environmental and financial performance of mechanical recycling of carbon fibre reinforced polymers and comparison with conventional disposal routes. *Journal of Cleaner Production*, 127, 451–460. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.139>
- Li, X., Xie, Q., Jiang, J., Zhou, Y., & Huang, L. (2019). Identifying and monitoring the development trends of emerging technologies using patent analysis and Twitter data mining: The case of perovskite solar cell technology. *Technological Forecasting and Social Change*, 146, 687–705. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.06.004>

- Lim Chang Gyoon, & Jang Jee Won. (2018). *Microgrid energy transaction based on cloud* (Patent KR20200065655A).  
<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/071082968/publication/KR20200065655A?q=pn%3DKR20200065655A>
- Mahafza, S. R. (2005). *A performance-based methodology to assess Department of Defense technologies* [The University of Alabama in Huntsville ProQuest Dissertations Publishing].  
<https://www.proquest.com/openview/d07a30f55b5ac7d8ca587e20bed63c3a/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>
- Mallion A., Wilson C., Smith R., Ferguson G., Roberts R., & Hilton P. (2017). LaserSnake2: An Innovative Approach to Nuclear Decommissioning-17080. In *WM Symposia, Inc.*
- Mankins, J. C. (1995). *Technology Readiness Levels: A White Paper*.  
[https://aiaa.kavi.com/apps/group\\_public/download.php/2212/TRLs\\_MankinsPaper\\_1995.pdf](https://aiaa.kavi.com/apps/group_public/download.php/2212/TRLs_MankinsPaper_1995.pdf)
- Mankins, J. C. (2002). Approaches to strategic research and technology (R&T) analysis and road mapping. *Acta Astronautica*, 51(1–9), 3–21. [https://doi.org/10.1016/S0094-5765\(02\)00083-8](https://doi.org/10.1016/S0094-5765(02)00083-8)
- Mankins, J. C. (2009a). Technology readiness and risk assessments: A new approach. *Acta Astronautica*, 65(9–10), 1208–1215. <https://doi.org/10.1016/J.ACTAASTRO.2009.03.059>
- Mankins, J. C. (2009b). Technology readiness assessments: A retrospective. *Acta Astronautica*, 65(9–10), 1216–1223. <https://doi.org/10.1016/J.ACTAASTRO.2009.03.058>
- Mansfield, E. (1972). Contribution of R&D to Economic Growth in the United States. *Science*, 175(4021), 477–486. <https://doi.org/10.1126/science.175.4021.477>
- Manufacture-EU. (2024). *Manufacture European Technology Platform website*.  
<https://www.manufuture.org/>
- Markham, S. K., Ward, S. J., Aiman-Smith, L., & Kingon, A. I. (2010). The Valley of Death as Context for Role Theory in Product Innovation. *Journal of Product Innovation Management*, 27(3), 402–417. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5885.2010.00724.x>
- McDaniel, C. A., & Norberg, H. C. (2019). Can Blockchain Technology Facilitate International Trade? *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3377708>
- MDPI Journals. (2024, May). *Systems journal | Article metrics*. MDPI Journals.  
<https://www.mdpi.com/2079-8954/11/8/387#metrics>
- Mironov, V. (2006). Toward Human Organ Printing: Charleston Bioprinting Symposium. *ASAIO Journal*, 52(6), e27–e30. <https://doi.org/10.1097/01.mat.0000248999.25334.6a>

- Moorhouse, D. J. (2002). Detailed Definitions and Guidance for Application of Technology Readiness Levels. *Journal of Aircraft*, 39(1), 190–192. <https://doi.org/10.2514/2.2916>
- Morton, T. (2008). Titanium foam scaffolds made to match bone's properties. *Ars TECHNICA*. <https://arstechnica.com/science/2008/08/titanium-foam-scaffolds-made-to-match-bones-properties/>
- Muller, P., Caliandro, C., Peycheva, V., Gagliardi, D., Marzocchi, C., Ramlogan, R., & Cox, D. (2014). *Annual Report on European SMEs* (European Union, Ed.).
- Nasdaq. (2024). *NASDAQ Nordic Countries*. <https://www.nasdaqomxnordic.com/>
- O. Ivan. (2016). *A Fully Data On-Chain Solution for Tracking Provenance of Handcrafted Jewellery, 2019*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Ojiambo-Ivan-A-Fully-Data-On-chain-Solution-for-of/3e0f057cb8277669fd223a825681f78eaf77ec35#paper-header>
- OECD/Eurostat. (2007). *Oslo Manual*. OECD. <https://doi.org/10.1787/9789264065659-es>
- Office of Environmental Management DOE. (2010). *Corporate Critical Decision (CD) Review and Approval Framework Associated with Nuclear Facility Capital and Major Construction Projects Technology Readiness Assessment/Technology Maturity Plan Process Guide*. [https://www.energy.gov/sites/prod/files/em/Volume\\_I/O\\_SRP.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/em/Volume_I/O_SRP.pdf)
- Orozco, R., & Grundmann, P. (2022). Readiness for Innovation of Emerging Grass-Based Businesses. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 8(4), 180. <https://doi.org/10.3390/joitmc8040180>
- Paul, B. K., & Baskaran, S. (1996a). Issues in fabricating manufacturing tooling using powder-based additive freeform fabrication. *Journal of Materials Processing Technology*, 61(1–2), 168–172. [https://doi.org/10.1016/0924-0136\(96\)02482-X](https://doi.org/10.1016/0924-0136(96)02482-X)
- Paul, B. K., & Baskaran, S. (1996b). Issues in fabricating manufacturing tooling using powder-based additive freeform fabrication. *Journal of Materials Processing Technology*, 61(1–2), 168–172. [https://doi.org/10.1016/0924-0136\(96\)02482-X](https://doi.org/10.1016/0924-0136(96)02482-X)
- Pee, S. J., Kang, E. S., Song, J. G., & Jang, J. W. (2019). Blockchain based smart energy trading platform using smart contract. *2019 International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication (ICAIIIC)*, 322–325. <https://doi.org/10.1109/ICAIIIC.2019.8668978>
- Pessoa, A. (2010). R&D and economic growth: How strong is the link? *Economics Letters*, 107(2), 152–154. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2010.01.010>

- Phaal, R., Farrukh, C. J. P., & Probert, D. R. (2004). Technology roadmapping—A planning framework for evolution and revolution. *Technological Forecasting and Social Change*, *71*(1–2), 5–26. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(03\)00072-6](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(03)00072-6)
- Phaal, R., Farrukh, C., & Probert, D. (2001). Technology Roadmapping: Linking Technology Resources to Business Objectives; *Centre for Technology Management, University of Cambridge, Cambridge, UK*, 1–18. <https://images.template.net/wp-content/uploads/2016/02/22043358/TechnologyRoadmappingProject.pdf>
- Prague Stock Exchange. (2024). *Prague Stock Exchange*. <https://www.pse.cz/en/>
- Project Management Group. (2017). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*. Project Management Institute.
- R Core Team. (2021). R: A language and environment for statistical computing. In *R Foundation for Statistical Computing*. <https://www.R-project.org/>
- Ribeiro, M., Fiúza, A., Ferreira, A., Dinis, M., Meira Castro, A., Meixedo, J., & Alvim, M. (2016). Recycling Approach towards Sustainability Advance of Composite Materials' Industry. *Recycling*, *1*(1), 178–193. <https://doi.org/10.3390/recycling1010178>
- Rodríguez López, N., Alvarez Cabal, J. V., Cuiñas, M. C., & Ortega Fernández, F. (2023). Applicability of Technology Maturity Level Evaluation Methodologies within Small- and Medium-Sized Organizations: Prospects and Proposals. *Systems*, *11*(8), 387. <https://doi.org/10.3390/systems11080387>
- Rood, M. (2017). *The Future of Robotics/Remote Handling Solutions for the Nuclear Industry-17347*.
- Rybicka, J., Tiwari, A., & Leeke, G. A. (2016). Technology readiness level assessment of composites recycling technologies. *Journal of Cleaner Production*, *112*, 1001–1012. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.104>
- Sadin, S. R., Povinelli, F. P., & Rosen, R. (1989). The NASA technology push towards future space mission systems. *Acta Astronautica*, *20*, 73–77. [https://doi.org/10.1016/0094-5765\(89\)90054-4](https://doi.org/10.1016/0094-5765(89)90054-4)
- Saenz, A. (2009). *Stainless Steel Printing from Shapeways*. <https://singularityhub.com/2009/08/06/stainless-steel-printing-from-shapeways/#sm.000j6z3vb1dwceb6th01wf65si5v7>
- Sarton, L. A. J. L., & Zeedijk, H. B. (1997). *Proceedings of the 5th European Conference on Advanced Materials and Processes and Applications: Materials, Functionality & Design* (Vol. 3).

- Sausser, B., Gove, R., Forbes, E., & Ramirez-Marquez, J. E. (2010). Integration maturity metrics: Development of an integration readiness level. *Information Knowledge Systems Management*, 9(1), 17–46. <https://doi.org/10.3233/IKS-2010-0133>
- Sausser, B. J., Marquez, J. E. R., Henry, D., & DiMarzio, D. (2008). A system maturity index for the systems engineering life cycle. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 3(6), 673. <https://doi.org/10.1504/IJISE.2008.020680>
- Schinasi, K. (1999). *Best Practices: Better Management of Technology Development Can Improve Weapon System Outcomes*. <https://www.gao.gov/products/nsiad-99-162>
- Scuderi, A., & Timpanaro, G. (2019). The supply chain value of pod and pgi food products through the application of blockchain. In *Qual. - Access to Success* (Vol. 20, Issue S2, pp. 580–587). <https://www.researchgate.net/publication/332980759>
- Scuri, S., Tasheva, G., Barros, L., & Nunes, N. J. (2019). *An HCI Perspective on Distributed Ledger Technologies for Peer-to-Peer Energy Trading* (pp. 91–111). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-29387-1\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-29387-1_6)
- Shi Jixin. (2018a). *A climbing robot for nuclear power pipeline inspection and maintenance* (Patent CN208036469U). UNIV CHINA THREE GORGES CTGU. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/063953082/publication/CN208036469U?q=CN208036469U>
- Shi Jixin. (2018b). *Climbing robot for nuclear power pipeline detection and maintenance and operation method* (Patent CN108340983A). UNIV CHINA THREE GORGES CTGU. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/062959363/publication/CN108340983A?q=CN108340983A>
- Siano, P., De Marco, G., Rolan, A., & Loia, V. (2019). A Survey and Evaluation of the Potentials of Distributed Ledger Technology for Peer-to-Peer Transactive Energy Exchanges in Local Energy Markets. *IEEE Systems Journal*, 13(3), 3454–3466. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2019.2903172>
- Sinclair-Desagné, B. (2022). Measuring innovation and innovativeness: a data-mining approach. *Quality & Quantity*, 56(4), 2415–2434. <https://doi.org/10.1007/s11135-021-01231-6>
- Smith, S. (2017). *Innovation Readiness Level*. Blog Post, *The Entrepreneurs Advisor*. <https://blog.theentrepreneursadvisor.com/2017/10/innovation-readiness-level/>
- Sparrow, R., & Howard, M. (2021). Robots in agriculture: prospects, impacts, ethics, and policy. *Precision Agriculture*, 22(3), 818–833. <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09757-9>

- Spiess, A. N., & Neumeyer, N. (2010). An evaluation of R2as an inadequate measure for nonlinear models in pharmacological and biochemical research: A Monte Carlo approach. *BMC Pharmacology*, *10*(1), 6. <https://doi.org/10.1186/1471-2210-10-6>
- Srebrenkoska V., & Dimeski, D. (2016). *End of life treatment of polymer composite materials*. [https://eprints.ugd.edu.mk/17143/1/GREDIT-2016-Book\\_of\\_abstracts%5Bcd%5D.pdf](https://eprints.ugd.edu.mk/17143/1/GREDIT-2016-Book_of_abstracts%5Bcd%5D.pdf)
- Stedman, H., Kocer, B. B., Van Zalk, N., Kovac, M., & Pawar, V. M. (2023). Evaluating Immersive Teleoperation Interfaces: Coordinating Robot Radiation Monitoring Tasks in Nuclear Facilities. In *2023 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)* (pp. 11972–11978).
- Stock, T., & Seliger, G. (2016). Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP*, *40*, 536–541. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2016.01.129>
- Straub, J. (2015). In search of technology readiness level (TRL) 10. *Aerospace Science and Technology*, *46*, 312–320. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2015.07.007>
- Sylwester, K. (2001). R&D and economic growth. *Knowledge, Technology & Policy*, *13*(4), 71–84. <https://doi.org/10.1007/BF02693991>
- Textile World. (2017, March 21). *Advanced Composite Materials And Manufacturing In Vehicles, Wind And Compressed Gas Storage*. <https://www.textileworld.com/textile-world/features/2017/03/advanced-composite-materials-and-manufacturing-in-vehicles-wind-and-compressed-gas-storage/>
- TikTok. (2024). *TikTok website*. <https://www.tiktok.com/>
- Torres, C., & Fowler, L. (2023). Creatively interpreting policy to move science forward: Implementing participatory technology assessment at NASA. *Review of Policy Research*, *40*, 389–405.
- Tunstad, P. (2019). *Hyperprov: Blockchain-based Data Provenance using Hyperledger Fabric* [UiT Norges arktiske universitet - UiT The Arctic University of Norway]. <https://munin.uit.no/handle/10037/15780>
- United Nations. (2024). *UN Sustainable Development Goals*. <https://sdgs.un.org/goals>
- USPTO. (2024). *US Patents and Trademark Office*. <https://www.uspto.gov/>
- Vargas, J., & Kuhno, M. (2020). *PRODUCT LABELS, TRUST IDENTIFIER SYSTEMS CONTAINING THE SAME, AND METHODS OF USE THEREOF* (Patent WO2020198333A1). AVERY DENNISON RETAIL INFORMATION SERVICES LLC [US].

<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/070293133/publication/WO2020198333A1?q=WO2020198333A1>

- Vijay, N., Rajkumara, V., & Bhattacharjee, P. (2016). Assessment of Composite Waste Disposal in Aerospace Industries. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 563–570. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.041>
- Wang, B. (2009). *Roadmap for Additive Manufacturing – NextBigFuture.com*. <https://www.nextbigfuture.com/2009/10/roadmap-for-additive-manufacturing.html>
- Wang, S., Taha, A. F., Wang, J., Kvaternik, K., & Hahn, A. (2019). Energy Crowdsourcing and Peer-to-Peer Energy Trading in Blockchain-Enabled Smart Grids. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 49(8), 1612–1623. <https://doi.org/10.1109/TSMC.2019.2916565>
- Watson S., Lennox B., & Jones J. (2019). *Robots and Autonomous Systems for Nuclear Environments*.
- Wessner, C. W. (2005). Driving Innovations Across the Valley of Death. *Research-Technology Management*, 48(1), 9–12. <https://doi.org/10.1080/08956308.2005.11657289>
- Wilson, D. W. (2008). Monitoring technology trends with podcasts, RSS and Twitter. *Library Hi Tech News*, 25(10), 8–12. <https://doi.org/10.1108/07419050810950001>
- WIPO. (2024). *World Intellectual Property Organization Web Page*. <https://www.wipo.int/>
- World Intellectual Property Organization. (2023). *Guide to the International Patent Classification (2023)*. [https://doi.org/World Intellectual Property Organization](https://doi.org/World%20Intellectual%20Property%20Organization)
- Wu, C., Fan, W., Zhou, Y., Luo, Y., Gelinsky, M., Chang, J., & Xiao, Y. (2012). 3D-printing of highly uniform CaSiO<sub>3</sub> ceramic scaffolds: preparation, characterization and in vivo osteogenesis. *Journal of Materials Chemistry*, 22(24), 12288. <https://doi.org/10.1039/c2jm30566f>
- X-Twitter. (2024). *X-Twitter website*. <https://twitter.com/>
- Yoo, S. S., & Polio, S. (2010). 3D on-demand bioprinting for the creation of engineered tissues. In *Cell and Organ Printing* (pp. 3–19). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-9145-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-90-481-9145-1_1)
- Zhang Jianqiu, Deng Wuyan, Song Chao, Tian Tao, & Han Jialong. (2012). *Thermosetting epoxy resin under microwave condition and degradation method of composite material of thermosetting epoxy resin in ionic liquid* (Patent CN103044705A). UNIV SHANGHAI. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/048057579/publication/CN103044705A?q=CN103044705A>

Zhou, J. (2013). Digitalization and intelligentization of manufacturing industry. *Advances in Manufacturing*, 1(1), 1–7. <https://doi.org/10.1007/s40436-013-0006-5>

Zubiaga, A., Spina, D., Martínez, R., & Fresno, V. (2015). Real-time classification of Twitter trends. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 66(3), 462–473. <https://doi.org/10.1002/asi.23186>

## 12 ANEXOS

### 12.1 ANEXO 1. Tests de validación

En este apartado se recogen aquellos tests de validación descritos en el capítulo 8, cuyo detalle de cálculo se ha desplazado a este anexo.

#### 12.1.1 Test b) (Prueba 2.1) - rango TRL1-3

Se aplica la metodología desarrollada por medio de su aproximación en tres pasos: PASO 1. Definición de palabras clave o *keywords*, PASO 2. Búsqueda en las bases del(los) módulo(s) de aplicación para cada caso a partir de las palabras definidas en el paso anterior y PASO 3. Cálculo de los TRLs según los valores obtenidos para cada indicador según la información resultante de paso previo. En este caso, se aplica el caso de aplicación llamado “Test b)” y cuyas características se encuentran en la

Tabla 57.

##### 12.1.1.1 PASO 1. Keywords

A partir de las características de esta prueba y de la tecnología y ámbito de aplicación asociado, las palabras clave definidas han sido: Incineración y reciclaje de composites o materiales compuestos. Para su aplicación en la metodología, se usarán sus equivalentes en inglés detallados en la Tabla 126.

Tabla 126. Características de la Test b) y keywords asociadas.

<b>Características - Test b)</b>	
<b>Año</b>	2016
<b>Rango TRL/TRL</b>	TRL3 (TRL1-3)
<b>Tecnología</b>	Calentamiento por microondas como tecnología de reciclaje de composites.
<b>Keywords – Test b)</b>	
<b>Keywords tecnológicas</b>	<i>Microwave heating; composite recycling</i>

Por lo tanto, con estos datos, se procede a buscar los diferentes datos de cada módulo:

### 12.1.1.2 PASO 2.a. Búsqueda en BBDD de Módulo Académico

A partir de las palabras clave definidas en el PASO 1, se procede a realizar la búsqueda en el mismo, atendiendo al tipo de TRL para el que se realiza la misma.

- **Búsqueda para TRL 1 y TRL2:** en esta búsqueda únicamente se utilizan las palabras clave tecnológicas mencionadas en la Tabla 126 y son las que se introducen en la herramienta de búsqueda seleccionada “*Publish or Perish*” detallada en la sección 7.3.2.1.

Tabla 127. Búsqueda en Módulo académico para TRL1-2 en Test b)

<b>Año</b>	2015-2016
<b>Sintaxis de búsqueda</b>	<i>Microwave AND heating AND composite AND recycling</i>
<b>Fuente</b>	Google Scholar

Esta búsqueda en la herramienta “*Publish or Perish*” devuelve una serie de artículos de interés (exportados a una hoja Excel) y que han sido analizados. Algunos de los artículos resultantes que están relacionados con la tecnología objeto de estudio y el ámbito de aplicación de interés, son los siguientes, pudiendo decir que hay más de un artículo en la tecnología y al menos uno de ellos ha sido citado una vez por otros autores:

- Uno de ellos es el (Rybicka et al., 2016) que evalúa la madurez de las tecnologías de reciclaje de materiales compuestos (el mismo que se usa para la evaluación), publicado en 2016, con un total de 244 citas, siendo 3 de ellas del mismo año 2016.
- El segundo de ellos (Bernatas et al., 2021) trata del reciclaje de composites reforzados con fibra y que sean energéticamente eficientes, también ha sido publicado en 2016 y citado 7 veces. De estas citas, una ha sido en 2020 y dos en 2022.
- **Búsqueda para TRL3 y TRL4:** en esta búsqueda se utilizan las palabras clave tecnológicas mencionadas en la Tabla 169 y algunas de las de aplicabilidad asociadas al TRL3-4 e indicadas en la Tabla 33. Todas ellas son las que se introducen en la herramienta de búsqueda seleccionada “*Publish or Perish*” detallada en la sección 7.3.2.1.

Tabla 128. Búsqueda en Módulo académico para TRL3-4 en Test b)

<b>Año</b>	2015-2016
<b>Sintaxis de búsqueda</b>	<i>Microwave AND heating AND composite AND recycling AND prototype*</i> <i>Microwave AND heating AND composite AND recycling AND laboratory**</i>
<b>Fuente</b>	Google Scholar

Con la primera sintaxis (\*) no se devuelven resultados y entonces se prueba con la segunda sintaxis (\*\*). Con la segunda búsqueda, se analizan los resultados obtenidos (exportados a un documento Excel), y se comprueban los artículos resultantes, pero

ninguno de ellos responde exactamente a lo que se busca. Por lo tanto, tenemos que indicar que por medio de la búsqueda de *keywords* tecnológicas y no tecnológicas para TRL3-4, no hay artículos en la temática y aplicación.

Ahora toda la información de las búsquedas anteriores se traduce en forma de indicadores del Módulo 1 y su valor asociado (Tabla 36) en función de los criterios de cada TRL (apartado 7.3.3). En primer lugar, la Tabla 129 muestra los resultados de la búsqueda del Módulo 1 aplicando *keywords* tecnológicas y cómo dichos resultados se traducen en un valor para cada indicador.

Tabla 129. Búsqueda del Módulo 1 para TRL1-2- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test b)

Indicador y valor	Descripción	Explicación
I1.1=1 (TRL1-2)	Número de artículos	Hay un artículo (o más-TRL2) sobre la temática- TRL1.
I1.2=1 (TRL1-2)	Número de citas	Pues hay 2 artículos (al menos 1) sobre la temática y uno de ellos ha sido publicado al menos una vez el mismo año o al año siguiente de su publicación (2016 o 2017) – TRL2.

Igualmente, la Tabla 130 muestra los resultados de la búsqueda del Módulo 1 aplicando *keywords* tecnológicas y de aplicabilidad. Igualmente se muestran dichos resultados y cómo estos se traducen en un valor para cada indicador.

Tabla 130. Búsqueda del Módulo 1 para TRL3-4- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test b)

Indicador y valor	Descripción	Explicación
I1.1=0 (TRL3-4)	Número de artículos	No hay artículos que cumplan con los criterios de <i>keywords</i> tecnológicas y no tecnológicas al realizar la búsqueda.
I1.2=0 (TRL3-4)	Número de citas	No hay artículos por lo que ninguno ha sido citado al menos por un autor en los siguientes años a su publicación.

### 12.1.1.3 PASO 2.b. Búsqueda en BBDD en Módulo de patentes

A partir de las palabras clave definidas en el PASO 1, se procede a realizar la búsqueda en este módulo de patentes. En esta búsqueda únicamente se utilizan palabras clave tecnológicas con la sintaxis de búsqueda de la Tabla 131 y para años menores o iguales que 2017 dentro de la herramienta de búsqueda de patentes Espacenet detallada en el apartado 7.3.2.2.

Tabla 131. Búsqueda en Módulo de patentes en Test b)

<b>Sintaxis de búsqueda</b>	ta all "Microwave AND heating AND composite AND recycling" AND pd <= "2017"
<b>Fuente</b>	Espacenet: <a href="https://worldwide.espacenet.com/patent/search">https://worldwide.espacenet.com/patent/search</a>

**Resultados**

6

El resultado que devuelve son 6 patentes (exportadas a un documento Excel), se ordenan desde 2017 y se analizan. Así se observa que al menos hay tres patentes relevantes que permiten ya asignar un valor al indicador y son las siguientes:

- **CA2058335A1 System and method for remotely heating a polymeric material to a selected temperature** (Clark William G Jr et al., 1991) tiene como fecha de prioridad el 28 de diciembre de 1990. Esta patente protege tanto **el sistema como el método que aportan de manera remota calor a un material polimérico a una temperatura seleccionada** [...] se aplica de manera remota una corriente de energía de microondas al material compuesto (composite) polimérico. Indican que el composite plástico se degrada de manera selectiva por dicha corriente de microondas.
- **CN103044705A Thermosetting epoxy resin under microwave condition and degradation method of composite material of thermosetting epoxy resin in ionic liquid** (Zhang Jianqiu et al., 2012). Esta patente trata de una resina epoxy termoestable bajo condiciones microondas y un método de degradación del material compuesto de esta resina epoxy termoestable en un líquido iónico, perteneciendo al campo de las tecnologías de radiación por microondas y el uso de los recursos para materias de resina residuales. [...] Por medio del método de calentamiento por microondas, el consumo energético de la degradación se reduce, el tiempo de reacción de degradación y los productos de degradación generan bisfenol A. Tiene fecha de prioridad 26 de diciembre de 2012.
- **WO2017106243A1 Recycling carbon fiber based materials** es una patente con fecha de prioridad 18 de diciembre de 2015, que trata de utilizar, entre otras técnicas, calentamiento por microondas.

Ahora toda la información de las búsquedas anteriores se traduce en forma de indicadores del Módulo 2 y su valor asociado (Tabla 39) en función de los criterios de cada TRL (apartado 7.3.3). La Tabla 132 muestra los resultados de la búsqueda del Módulo 2 aplicando *keywords* tecnológicas y cómo dichos resultados se traducen en un valor para el indicador.

Tabla 132. Búsqueda del Módulo 2 para TRL3- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test b)

Indicador y valor	Descripción	Explicación
I2.1=1 (TR3)	Número de patentes/solicitudes de patentes	Hay al menos una patente/solicitud de patente en la tecnología y ámbito de aplicación en el periodo objeto de estudio.

#### 12.1.1.4 PASO 2.c. Búsqueda en BBDD de Módulo de proyectos

A partir de las palabras clave definidas en el PASO 1, se procede a realizar la búsqueda en este módulo de proyectos. En esta búsqueda únicamente se utilizan palabras clave tecnológicas y para ello se adaptará, si fuera necesario, a cada una de las dos fuentes de datos a aplicar.

- **Búsqueda en CORDIS:** para poder identificar proyectos en la temática. Para ello, se parte de la premisa de realizar la búsqueda usando las palabras clave, y en este sentido, el filtro por fechas se hace para cada uno de los resultados individualmente en función de si tecnológicamente y el campo de aplicación coincide con los que son objetivo en la prueba. Se aplica así en CORDIS la sintaxis de búsqueda de la Tabla 133, detallada en el apartado 7.3.2.3.

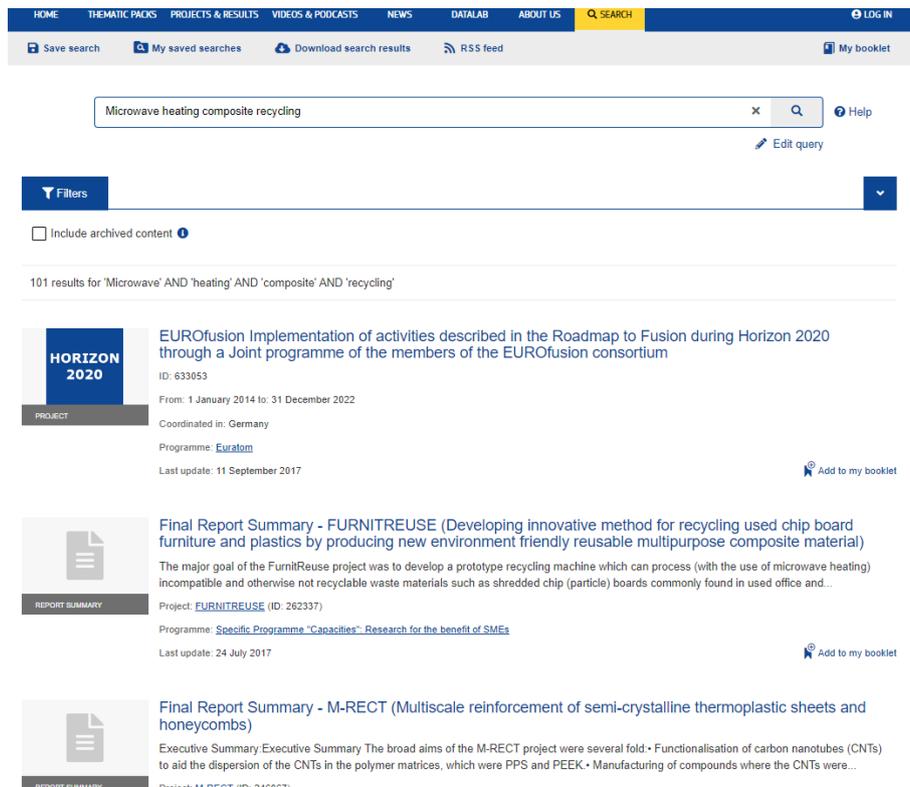
Tabla 133. Búsqueda en Módulo de proyectos en Test b) (CORDIS)

<b>Sintaxis de búsqueda</b>	Microwave heating composite recycling
<b>Fuente</b>	CORDIS: <a href="https://cordis.europa.eu/search?q=%27Microwave%27%20AND%20%27heating%27%20AND%20%27composite%27%20AND%20%27recycling%27&amp;p=1&amp;num=10&amp;sr_t=Relevance:decreasing">https://cordis.europa.eu/search?q=%27Microwave%27%20AND%20%27heating%27%20AND%20%27composite%27%20AND%20%27recycling%27&amp;p=1&amp;num=10&amp;sr_t=Relevance:decreasing</a>
<b>Resultados</b>	- (ningún proyecto válido).

Los resultados de esta búsqueda se pueden encontrar siguiendo el enlace de la tabla anterior, que devuelve los resultados mostrados en la Figura 60. Analizando dichos resultados ninguno aplica, pero a modo de ejemplo, se indican algunos en los cuales podría haber dudas en un primer momento, tales como:

- FURNITREUSE (European Commission, 2024k) con duración desde 2011 a 2013, por lo que en cuanto al periodo sería viable con respecto a la búsqueda. Ahora bien, su objetivo es el de desarrollar un método innovador para el reciclaje de placas de chips usadas de muebles y plásticos por medio de la producción de composites reutilizables multipropósito.
- MU-TOOL (European Commission, 2024p) con duración desde 2011 a 2014, por lo que en cuanto a periodo no sería válido para el proyecto. La temática es la de lograr nuevos “toolings” para curado de compuesto por medio de calentamiento de microondas. Además, tampoco serviría porque se centra en utilizar las microondas para fabricar composites no para su reciclaje.
- RELIGHT (European Commission, 2024t) con duración desde 2012 a 2014, por lo que en cuanto a periodo no sería válido para el proyecto. La temática es la de conseguir un reciclaje sostenible para productos aligerados, centrándose

principalmente en mercurio y residuos de equipamiento eléctrico y electrónico (WEEs o Waste of electrical and electronic equipment).



The screenshot shows the CORDIS search interface. At the top, there is a navigation bar with links for HOME, THEMATIC PACKS, PROJECTS & RESULTS, VIDEOS & PODCASTS, NEWS, DATALAB, ABOUT US, and a SEARCH button. Below the navigation bar, there are utility links: Save search, My saved searches, Download search results, RSS feed, and My booklet. A search bar contains the query 'Microwave heating composite recycling'. Below the search bar, there are filter options, including 'Include archived content'. The search results section shows 101 results. Three results are visible:

- EUROfusion Implementation of activities described in the Roadmap to Fusion during Horizon 2020 through a Joint programme of the members of the EUROfusion consortium** (ID: 633053). From: 1 January 2014 to: 31 December 2022. Coordinated in: Germany. Programme: Euratom. Last update: 11 September 2017.
- Final Report Summary - FURNITREUSE (Developing innovative method for recycling used chip board furniture and plastics by producing new environment friendly reusable multipurpose composite material)**. The major goal of the FurnitReuse project was to develop a prototype recycling machine which can process (with the use of microwave heating) incompatible and otherwise not recyclable waste materials such as shredded chip (particle) boards commonly found in used office and... Project: FURNITREUSE (ID: 262337). Programme: Specific Programme "Capacities": Research for the benefit of SMEs. Last update: 24 July 2017.
- Final Report Summary - M-RECT (Multiscale reinforcement of semi-crystalline thermoplastic sheets and honeycombs)**. Executive Summary: Executive Summary The broad aims of the M-RECT project were several fold: • Functionalisation of carbon nanotubes (CNTs) to aid the dispersion of the CNTs in the polymer matrices, which were PPS and PEEK. • Manufacturing of compounds where the CNTs were...

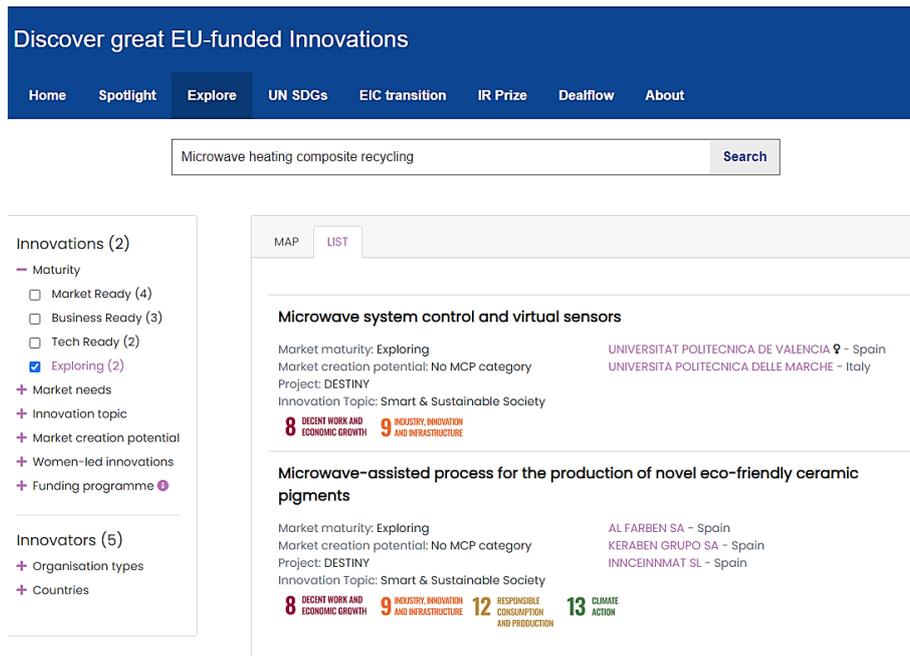
Figura 56. Resultados devueltos por CORDIS para la búsqueda en Test b)

- **Búsqueda en el Innovation Radar:** para poder identificar aquellas innovaciones tecnológicas asociadas al caso de estudio y que se encuentre bajo la categoría de “Exploring”. Para ello, se parte de la premisa de realizar la búsqueda usando las palabras clave, y filtrando en los resultados para que únicamente se muestren aquellas innovaciones bajo la categoría de interés. Se aplica así en el *Innovation Radar* la sintaxis de búsqueda de la Tabla 134, detallada en el apartado 7.3.2.3.

Tabla 134. Búsqueda en Módulo de proyectos en Test b) (*Innovation Radar*)

<b>Sintaxis de búsqueda</b>	<i>Microwave heating composite recycling</i>
<b>Fuente</b>	<i>Innovation Radar</i> : <a href="https://innovation-radar.ec.europa.eu/">https://innovation-radar.ec.europa.eu/</a> (“search bar” o barra de búsqueda)
<b>Resultados</b>	- (no hay resultados)

Los resultados devueltos por la búsqueda se ven en la Tabla 54 y se observa que, si bien salen dos resultados asociados, ninguna de las innovaciones está realmente asociada con lo buscado. Por lo tanto, se puede indicar que no hay innovaciones asociadas.



The screenshot shows the 'Discover great EU-funded Innovations' website. The search bar contains 'Microwave heating composite recycling'. The results are displayed in a list view. Two results are visible:

- Microwave system control and virtual sensors**: Market maturity: Exploring; Market creation potential: No MCP category; Project: DESTINY; Innovation Topic: Smart & Sustainable Society. Associated with SDGs 8 (Decent Work and Economic Growth) and 9 (Industry, Innovation and Infrastructure). Partners: UNIVERSITAT POLITECNICA DE VALENCIA (Spain) and UNIVERSITA POLITECNICA DELLE MARCHE (Italy).
- Microwave-assisted process for the production of novel eco-friendly ceramic pigments**: Market maturity: Exploring; Market creation potential: No MCP category; Project: DESTINY; Innovation Topic: Smart & Sustainable Society. Associated with SDGs 8 (Decent Work and Economic Growth), 9 (Industry, Innovation and Infrastructure), 12 (Responsible Consumption and Production), and 13 (Climate Action). Partners: AL FARBEN SA (Spain), KERABEN GRUPO SA (Spain), and INNCEINMAT SL (Spain).

Figura 57. Resultados devueltos por Innovation Radar para la búsqueda en Test b)

Ahora toda la información de las búsquedas anteriores se traduce en forma de indicadores del Módulo 3 y su valor asociado (Tabla 41) en función de los criterios de cada TRL (apartado 7.3.3). La Tabla 135 muestra los resultados de la búsqueda del Módulo 3 aplicando *keywords* tecnológicas y cómo dichos resultados se traducen en un valor para el indicador.

Tabla 135. Búsqueda del Módulo 3 para TRL1-3- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test b)

Indicador y valor	Descripción	Explicación
I3.1=0 (TRL3-4)	Número de proyectos	No hay proyectos asociados con la tecnología y ámbito de aplicación.
I3.2=0 (TRL3-4)	Rango TRL asociado	No hay ningún proyecto asociado a la tecnología y ámbito de aplicación objeto de estudio que se encuentre dentro del TRL objeto de estudio.
I3.6=0 (TRL3-4)	Número de iniciativas bajo definición “Exploring”	No hay iniciativas bajo este rango de clasificación asociadas a esta tecnología y ámbito de aplicación.

#### 12.1.1.5 PASO 2.e. Búsqueda en BBDD de Módulo de Noticias/Redes Sociales

A partir de las palabras clave definidas en el PASO 1, se procede a realizar la búsqueda en este módulo de noticias/redes sociales. En esta búsqueda únicamente se utilizan palabras clave tecnológicas con la sintaxis de búsqueda de la Tabla 136 y para el periodo de duración que comprende desde los 2015 a 2016 dentro de la herramienta de búsqueda Google y filtrando por “Noticias”, detallado en el apartado 7.3.2.5.

Tabla 136. Búsqueda en Módulo de noticias en Test b)

<b>Sintaxis de búsqueda</b>	<i>Microwave heating composite recycling</i>
<b>Fuente</b>	Google: <a href="https://www.google.es/">https://www.google.es/</a> y filtrando por “Noticias”
<b>Resultados</b>	- (sólo 1 y no es relevante)

La Figura 58 muestra los resultados devueltos para la tecnología (reciclaje de materiales compuestos por medio de calentamiento por microondas) en el ámbito seleccionado en el periodo de estudio (2015-2016). Si bien hay una única noticia, esta no tiene que ver con el objeto de estudio y además está fuera del periodo (2017).



Figura 58. Resultados devueltos por Google (filtro de Noticias) para la búsqueda en Test b)

Ahora toda la información de las búsquedas anteriores se traduce en forma de indicadores del Módulo 5 y su valor asociado (Tabla 45) en función de los criterios de cada TRL (apartado 7.3.3). La Tabla 137 muestra los resultados de la búsqueda del Módulo 5 aplicando *keywords* tecnológicas y cómo dichos resultados se traducen en un valor para el indicador.

Tabla 137. Búsqueda del Módulo 5 para TRL4- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test f)

<b>Indicador y valor</b>	<b>Descripción</b>	<b>Explicación</b>
I5.1=0 (TRL4)	Número de publicaciones y/o noticias	No hay noticias y/o publicaciones asociadas al proyecto para esta tecnología y aplicación en el periodo de estudio.

### 12.1.1.6 PASO 3. Cálculo del TRL

En este último paso de la metodología, se procede a realizar el cálculo del TRL y comprobar si la metodología devuelve el mismo TRL que en el caso de estudio, es decir, se valida la precisión y robustez de la metodología seleccionada. Posteriormente, se realiza un análisis de los resultados.

### **Test b). Validación de le metodología para TRL1-TRL3**

A continuación, se calculan los distintos TRL para validar si la metodología es capaz de determinar el TRL de este caso de aplicación a partir de los datos anteriores. Por lo tanto, las preguntas a realizarse son:

- **¿Cumple los criterios de TRL1?** Sí porque se cumple el único criterio establecido (A) en el Módulo académico. Por lo tanto, se considera que la tecnología ha alcanzado, al menos, el TRL1. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 138, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 129.

Tabla 138. Resultados del Test b) para el cálculo de TRL1

Cumplimiento de TRL1 (A)			Resultado Test b) (TRL1)	
Criterio	Módulo	Condición	Resultado	
A	1. Módulo académico ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I1.1 = 1	I1.1=1 ✓	Sí, pues hay más de un artículo sobre la temática.
<b>Conclusión:</b> A se cumple y por tanto se cumplen los criterios de TRL1.				

- **¿Cumple los criterios de TRL2?** Sí porque se cumple el único criterio establecido (A) en el Módulo académico. Por lo tanto, se considera que la tecnología ha alcanzado, al menos, el TRL2. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 139, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 129.

Tabla 139. Resultados del Test b) para el cálculo de TRL2

Cumplimiento de TRL2 (A)			Resultado Test b) (TRL2)	
Criterio	Módulo	Condición	Resultado	
A	1. Módulo académico ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I1.1=1 y I1.2=1	I1.1=1 y I1.2=1 ✓	Sí, pues hay 2 artículos (al menos 1) sobre la temática y uno de ellos ha sido citado al menos una vez al año siguiente de su publicación (2016).
<b>Conclusión:</b> A se cumple y por tanto se cumplen los criterios de TRL2.				

- **¿Cumple los criterios de TRL3?** Sí porque, aunque A (asociado a Módulo 1) no se cumple, pero B (asociado a Módulos 1, 2 y 3) sí se cumple y, por lo tanto, se cumplen los criterios de TRL3. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 140, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 130, Tabla 132 y Tabla 135. Y, por tanto, se puede afirmar que la metodología devuelve el mismo resultado que el indicado en la bibliografía.

Tabla 140. Resultados del Test b) para el cálculo de TRL3

Cumplimiento de TRL3 (A y/o B*) *B se cumple cuando se da b0 y si se da b1 y/o b2 y/o b3			Resultado Test b) (TRL3)	
Criterio	Módulo	Condición	Resultado	
A	1. Módulo académico ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas y de aplicabilidad.	I1.1>1 y I1.2=1	I1.1=0 y I1.2=0 ✘ (I1.1≤1 y/o I1.2≠1)	No porque no se encuentran artículos que cumplan con los criterios de <i>keywords</i> tecnológicas y no tecnológicas al realizar la búsqueda.
B (b0)	1. Módulo académico ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas y de aplicabilidad.	I1.1≤1 y/o I1.2≠1	I1.1≤1 y/o I1.2≠1 ✓	Sí se cumple ya que no se encuentran ni artículos ni referencias sobre ello según la búsqueda realizada en A.
b1	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.1=1 y I3.2=1	I3.1=0 y I3.2=0 ✘	No porque no hay un proyecto sobre la tecnología objeto de estudio en el mismo rango de TRLs.
b2	2. Módulo de patentes ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I2.1=1	I2.1=1 ✓	Sí porque hay al menos una patente/solicitud de patente en la tecnología y ámbito de aplicación en el periodo objeto de estudio.
b3	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.6=1	I3.6=0 ✘	No porque no hay iniciativas asociadas a esta temática y ni aplicación en el periodo de estudio.
<b>Conclusión:</b> A no se cumple, pero B sí se cumple y, por lo tanto, se cumplen los criterios de TRL3. B se cumple porque b0 y b2 se cumplen, es decir: (b0) aunque no se encuentran ni artículos ni referencias sobre esta tecnología y ámbito de aplicación (b0 se cumple), sí que (b2) hay al menos una patente para esta tecnología y en el periodo objeto de estudio.				

### Test b). Análisis de la robustez de la metodología más allá de TRL1-TRL3

En este apartado el objetivo es comprobar que se cumplen las condiciones de contorno. Es decir, que la metodología, si bien es capaz de calcular que la tecnología para el ámbito de aplicación es TRL3 tal y como se indica en la bibliografía, también es capaz de detectar que no se encuentra en TRL4. Es decir, identifica inequívocamente el rango de TRL objeto de estudio.

- **¿Cumple los criterios de TRL4?** No porque únicamente se cumple B de las cuatro premisas principales (A, B, C o D). Aplicando el criterio de desbloqueo E, este tampoco se cumple por lo que se puede concluir que esta tecnología no cumple con los criterios de TRL4. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 141, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 170, Tabla 172, Tabla 175 y Tabla 181. Y, por tanto, se puede afirmar que la metodología es robusta ya que confirma que la tecnología

de estudio del Test b) en su ámbito de aplicación no es superior a la indicada en la bibliografía.

Tabla 141. Resultados del Test b) para el cálculo de TRL4

Cumplimiento de TRL4 (al menos dos de A, B, C o D; E sólo para desbloqueo)			Resultado Test b) (TRL4)	
Criterio	Módulo	Condición	Resultado	
<b>A</b>	1. Módulo académico (cálculo estándar) con keywords tecnológicas y de aplicabilidad.	I1.1>1 y I1.2=1	I1.1=0 y I1.2=0 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	No la cumplen, ya que como se indicó para el caso del TRL3, al incluir las keywords de aplicabilidad no aparecen resultados en la búsqueda.
<b>B</b>	2. Módulo de patentes (cálculo estándar) con keywords tecnológicas	I2.1=1	I2.1=1 <input type="checkbox"/>	Sí porque hay al menos una patente/solicitud de patente en la tecnología y ámbito de aplicación en el periodo objeto de estudio.
<b>C</b>	3. Módulo de proyectos (cálculo estándar) con keywords tecnológicas	I3.1=1 y I3.2=1	I3.1=0 y I3.2=0 <input type="checkbox"/>	No porque no hay un proyecto sobre la tecnología objeto de estudio en el mismo rango de TRLs.
<b>D</b>	3. Módulo de proyectos (cálculo estándar) con keywords tecnológicas	I3.6=1	I3.6=0 <input type="checkbox"/>	No porque no hay ninguna innovación asociada bajo la clasificación de "Exploring".
<b>E</b>	5. Módulo de Noticias/Redes Sociales (cálculo exclusivamente para desbloqueo)	I5.1=1	I5.1=0 <input type="checkbox"/>	No porque no hay noticias o publicaciones asociadas al proyecto para esta tecnología y aplicación en el periodo de estudio.
<p><b>Conclusión:</b> únicamente se cumple B de las cuatro premisas principales (A, B, C o D). Aplicando el criterio de desbloqueo E, este tampoco se cumple por lo que se puede concluir que esta tecnología no cumple con los criterios de TRL4. Por tanto, la tecnología no se encuentra en TRL4 en 2016. Además, se prueba que la metodología es robusta al confirmar que la tecnología objetivo está en el rango TRL1-TRL3 como indicaba la bibliografía y además no tiene problemas para diferenciar el TRL en la frontera entre algunos muy cercanos (en este caso, entre TRL3 y TRL4).</p>				

### Test b). Conclusiones sobre los resultados de la validación

Tras haber realizado la prueba de validación de Test b), y tal y como se deduce de las conclusiones detalladas en la Tabla 142, se puede concluir que la metodología no sólo ha demostrado que puede calcular el TRL para la tecnología y campo de aplicación seleccionado para un año dado, sino que además lo hace de manera precisa y robusta, no habiendo dudas en la frontera entre TRL3 y TRL4.

Tabla 142. Test b) Conclusiones de los resultados de validación de la metodología

	<b>Test b) -bibliografía</b>	<b>Test b) -metodología</b>	<b>Conclusión</b>
<b>Año</b>	2016	2016	✓ Cumple.
<b>Rango de TRL</b>	TRL1-3	TRL1-3 y no TRL4	
<b>Tecnología / aplicación</b>	Calentamiento por microondas como tecnología de reciclaje de composites.	Calentamiento por microondas como tecnología de reciclaje de composites.	

### 12.1.2 Test c) (Prueba 1.3) - rango TRL4-6

Se aplica la metodología desarrollada por medio de su aproximación en tres pasos: PASO 1. Definición de palabras clave o *keywords*; PASO 2. Búsqueda en las bases del(los) módulo(s) de aplicación para cada caso a partir de las palabras definidas en el paso anterior; PASO 3. Cálculo de los TRLs según los valores obtenidos para cada indicador según la información resultante de paso previo. En este caso, se aplica el caso de aplicación llamado Test c) y cuyas características se encuentran en la Tabla 58.

#### 12.1.2.1 PASO 1. Keywords

A partir de las características de esta prueba y de la tecnología y ámbito de aplicación asociado, las palabras clave definidas han sido: Robótica para inspección remota, procesamiento remoto y casos de estudio de seguridad en entornos industriales colaborativos para aplicaciones en remoto. Desarrollo activo en entornos reales. Para su aplicación en la metodología, se usarán sus equivalentes en inglés detallados en la Tabla 143.

Tabla 143. Características de la Test c) y keywords asociadas.

<b>Características - Test b)</b>	
<b>Año</b>	2017
<b>Rango TRL/TRL</b>	TRL 4-6
<b>Tecnología</b>	Robótica para inspección remota, procesamiento remoto y casos de estudio de seguridad en entornos industriales colaborativos para aplicaciones en remoto. Desarrollo activo en entornos reales.
<b>Keywords – Test b)</b>	
<b>Keywords tecnológicas</b>	<i>Robot; Robotics; Nuclear; Remote; Remote inspection</i>

Por lo tanto, con estos datos, se procede a buscar los diferentes datos de cada módulo:

#### 12.1.2.2 PASO 2.a. Búsqueda en BBDD de Módulo Académico

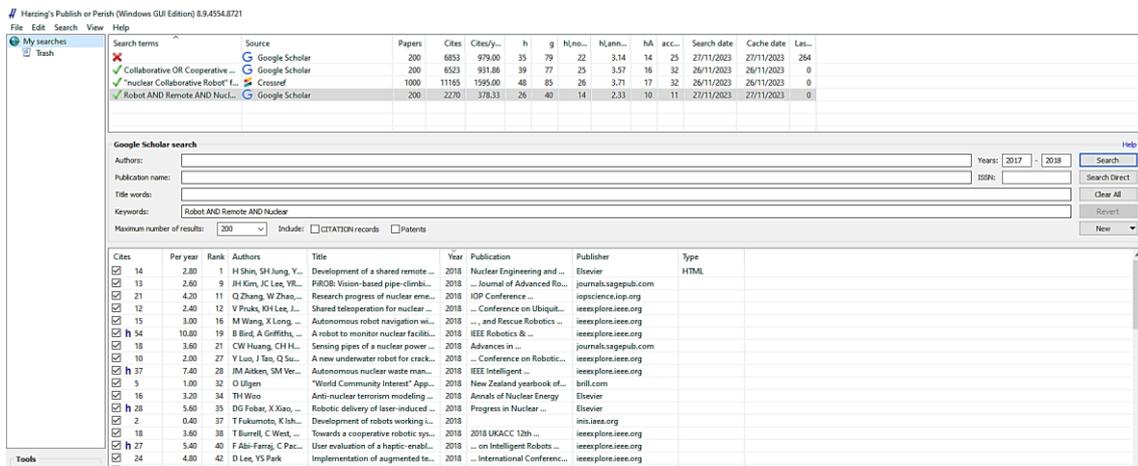
A partir de las palabras clave definidas en el PASO 1, se procede a realizar la búsqueda en el mismo, atendiendo al tipo de TRL para el que se realiza la misma.

- **Búsqueda para TRL 1 y TRL2:** en esta búsqueda únicamente se utilizan las palabras clave tecnológicas mencionadas en la Tabla 143 y son las que se introducen en la herramienta de búsqueda seleccionada “*Publish or Perish*” detallada en la sección 7.3.2.1.

Tabla 144. Búsqueda en Módulo académico para TRL1-2 en Test c)

<b>Año</b>	2017-2018
<b>Sintaxis de búsqueda</b>	Robot AND Remote AND Nuclear
<b>Fuente</b>	Google Scholar

La Figura 59 muestra los resultados obtenidos tras esta búsqueda en la herramienta “*Publish or Perish*” y como resultado de dicha prueba se analizan los artículos resultantes para comprobar que están relacionados con la tecnología objeto de estudio y el ámbito de aplicación de interés.



The screenshot shows the 'Publish or Perish' software interface. At the top, there is a table of search results with columns: Search terms, Source, Papers, Cites, Cites/y..., h, g, H, No..., H, Acc..., Search date, Cache date, and Lis... The search terms are 'Collaborative OR Cooperative...', 'nuclear Collaborative Robot'..., and 'Robot AND Remote AND Nuclear...'. The 'Robot AND Remote AND Nuclear...' search has 200 papers, 2270 cites, and an h-index of 26.

Below the table, there is a 'Google Scholar search' section with input fields for Authors, Publication name, Title words, and Keywords. The keywords field contains 'Robot AND Remote AND Nuclear'. There are also fields for Years (2017-2018) and a search button.

The bottom part of the screenshot shows a list of search results with columns: Cites, Per year, Rank, Authors, Title, Year, Publication, Publisher, and Type. The first few results are:

Cites	Per year	Rank	Authors	Title	Year	Publication	Publisher	Type
14	2.80	1	H Shin, SH Jung, Y...	Development of a shared remote...	2018	Nuclear Engineering and...	Elsevier	HTML
13	2.60	9	JH Kim, JC Lee, YR...	PiBOB: Vision-based pipe-climbi...	2018	Journal of Advanced Ro...	journals.sagepub.com	
21	4.20	11	Q Zhang, W Zhao, ...	Research progress of nuclear eme...	2018	IOP Conference ...	iopscience.iop.org	
12	2.40	12	V Pruks, KH Lee, J...	Shared teleoperation for nuclear ...	2018	Conference on Ubiquit...	ieeexplore.ieee.org	
15	3.00	16	M Wang, X Long, ...	Autonomous robot navigation wi...	2018	and Rescue Robotics ...	ieeexplore.ieee.org	
54	10.80	19	B Bird, A Griffiths, ...	A robot to monitor nuclear facilit...	2018	IEEE Robotics & ...	ieeexplore.ieee.org	
18	3.60	21	CW Huang, CH H...	Sensing pipes of a nuclear power...	2018	Advances in ...	journals.sagepub.com	
10	2.00	27	Y Luo, J Tian, Q Su...	A new underwater robot for crack...	2018	Conference on Roboti...	ieeexplore.ieee.org	
37	7.40	28	JM Aikens, SM Ver...	Autonomous nuclear waste mem...	2018	IEEE Intelligent ...	ieeexplore.ieee.org	
5	1.00	32	O Ilgen	"World Community Interest" App...	2018	New Zealand yearbook of...	nzlii.com	
16	3.20	34	TH Woo	Anti-nuclear terrorism modeling ...	2018	Annals of Nuclear Energy	Elsevier	
28	5.60	35	DG Fobar, X Xiao, ...	Robotic delivery of laser-induced ...	2018	Progress in Nuclear ...	Elsevier	
2	0.40	37	T Fukumoto, K Ish...	Development of robots working i...	2018	UNACC 12th ...	inis.iaea.org	
18	3.60	38	T Burnett, C West, ...	Towards a cooperative robotic typ...	2018	UNACC 12th ...	ieeexplore.ieee.org	
27	5.40	40	F Alai-Farag, C Pie...	User evaluation of a haptic enab...	2018	on Intelligent Robots ...	ieeexplore.ieee.org	
24	4.80	42	D Lee, YS Park	Implementation of augmented te...	2018	International Conferen...	ieeexplore.ieee.org	

Figura 59. Resultados de búsqueda del Test c) en Módulo académico para TRL1-TRL2 (Harzing A., 2007)

Tras un análisis de los resultados obtenidos (exportados a un documento Excel), se comprueba que en 2017 hay más de dos artículos/publicaciones científicas relacionados con la tecnología y aplicación objeto de estudio y algunos de ellos han sido citados por otros autores. Algunos de ellos, son:

- El primer artículo (Bendale & Kharat, 2017) trata sobre un robot móvil controlado por gestos de manera remota e incluye un brazo robótico con el que opera en ambientes remotos. Ha sido publicado en 2017 y citado 5 veces, siendo una de ellas en 2018.
- El segundo artículo (J. Li et al., 2017) trata de un robot novedoso para inspección en aplicaciones nucleares y con auto-localización. Ha sido publicado en 2017, citado un total de 9 veces y 3 de ellas en 2019.
- El tercer artículo (Rood, 2017) también publicado en 2017, si bien no ha sido citado, es interesante porque analiza el futuro de las soluciones de manejo en remoto y robóticas para el sector nuclear.

- **Búsqueda para TRL3 y TRL4:** en esta búsqueda se utilizan las palabras clave tecnológicas mencionadas en la Tabla 143 y algunas de las de aplicabilidad asociadas al TRL3-4 e indicadas en la Tabla 33. Todas ellas son las que se introducen en la herramienta de búsqueda seleccionada “*Publish or Perish*” detallada en la sección 7.3.2.1.

Tabla 145. Búsqueda en Módulo académico para TRL3-4 en Test c)

<b>Año</b>	2017-2018
<b>Sintaxis de búsqueda</b>	<i>Robot AND Remote AND Nuclear AND prototype Robot AND Remote AND Nuclear AND laboratory</i>
<b>Fuente</b>	Google Scholar

Tras un análisis de los resultados obtenidos (exportados a un documento Excel), se comprueba que, en 2017, algunos de los artículos más relevantes, son:

- El primer artículo (Bendale & Kharat, 2017) es el mismo que ha salido en el Test a) sobre un robot móvil controlado en remoto mediante gestos para aplicación en entorno nuclear. De hecho, ha salido en esta búsqueda porque dentro del texto del artículo se menciona “En este artículo, hemos **propuesto un diseño de prototipo** basado en el **control mediante gestos que controla el brazo robótico desde su propia base para poder moverse dentro del reactor y realizar ciertas tareas [...]**”. Ha sido publicado en 2017 y citado un total de 5 veces, siendo una de ellas en 2018.
- El segundo artículo (Kawabata et al., 2017), también publicado en 2017, destaca en su texto que “Este artículo describe las **instalaciones de prueba y entornos experimentales para apoyar el desmantelado de instalaciones nucleares**, especialmente la Central Nuclear de Fukushima Daiichi **para operación en remoto [...]**. Ya se han instalado una maqueta de escaleras, una **piscina de pruebas para robots** y un campo de captura de movimiento y están totalmente operativos dando soporte desde abril de 2016. También estamos **diseñando y desarrollando algunos entornos experimentales para desmantelado nuclear llevado a cabo por robots operados de manera remota**. En el artículo se describe también el **estado actual y desarrollo de las instalaciones de pruebas**”. Ha sido publicado en 2017 y citado un total de 6 veces, siendo una de ellas en 2018, otra en 2019 y otra en 2021, por ejemplo.

Ahora toda la información de las búsquedas anteriores se traduce en forma de indicadores del Módulo 1 y su valor asociado (Tabla 36) en función de los criterios de cada TRL (apartado 7.3.3). En primer lugar, la Tabla 146 muestra los resultados de la búsqueda del Módulo 1 aplicando *keywords* tecnológicas y cómo dichos resultados se traducen en un valor para cada indicador.

Tabla 146. Búsqueda del Módulo 1 para TRL1-2- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test c)

Indicador y valor	Descripción	Explicación
I1.1=1 (TRL1-2)	Número de artículos	Hay un artículo (o más-TRL2) sobre la temática- TRL1.
I1.2=1 (TRL1-2)	Número de citas	Pues hay 3 artículos (al menos 1) sobre la temática y uno de ellos ha sido publicado al menos una vez al año siguiente de su publicación (2018) – TRL2.

Igualmente, la Tabla 147 muestra los resultados de la búsqueda del Módulo 1 aplicando *keywords* tecnológicas y de aplicabilidad. Igualmente se muestran dichos resultados y cómo estos se traducen en un valor para cada indicador.

Tabla 147. Búsqueda del Módulo 1 para TRL3-4- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test c)

Indicador y valor	Descripción	Explicación
I1.1>1 (TRL3-4)	Número de artículos	Hay al menos dos artículos (más de uno) que cumplan con los criterios de <i>keywords</i> tecnológicas y no tecnológicas al realizar la búsqueda.
I1.2=1 (TRL3-4)	Número de citas	Pues hay 2 artículos (al menos uno) sobre la temática y uno de ellos ha sido citado por un autor en los siguientes años a su publicación.

### 12.1.2.3 PASO 2.b. Búsqueda en BBDD de Módulo de Patentes

A partir de las palabras clave definidas en el PASO 1, se procede a realizar la búsqueda en el módulo de patentes. En esta búsqueda únicamente se utilizan palabras clave tecnológicas con la sintaxis de búsqueda de la Tabla 148 y para años menores o iguales que 2018 dentro de la herramienta de búsqueda de patentes Espacenet detallada en el apartado 7.3.2.2.

Tabla 148. Búsqueda en Módulo de patentes en Test c)

<b>Sintaxis de búsqueda</b>	ta all "Robot AND Remote AND Nuclear" AND pd <= "2018"
<b>Fuente</b>	Espacenet: <a href="https://worldwide.espacenet.com/patent/search">https://worldwide.espacenet.com/patent/search</a>
<b>Resultados</b>	67

El resultado que devuelve son 67 patentes (exportadas a un documento Excel), se ordenan desde 2018 y se analizan. Así se observa que al menos hay una relevante y permite ya asignar un valor al indicador. Dicha patente es la siguiente (son dos, pero parece que pertenecen al mismo dossier global):

- **CN208036469U** (Shi Jixin, 2018a), publicada el 2 de noviembre de 2018, trata de un **robot escalador para inspección y mantenimiento de tuberías de energía nuclear**. Es

un modelo de utilidad que detalla el robot mencionado y además indica que el robot puede escalar en paredes verticales y permite el control remoto de las personas para las medidas de radiactividad, de manera que detectar la pared de la tubería que tiene radiactividad y, por tanto, garantiza la seguridad del operador.

- **CN108340983A** (Shi Jixin, 2018b), publicada el 31 de julio de 2018, y trata no sólo del **robot escalador para inspección y mantenimiento de tuberías de energía nuclear** sino también del **método de operación**.

Ahora toda la información de las búsquedas anteriores se traduce en forma de indicadores del Módulo 2 y su valor asociado (Tabla 39) en función de los criterios de cada TRL (apartado 7.3.3). La Tabla 149 muestra los resultados de la búsqueda del Módulo 2 aplicando *keywords* tecnológicas y cómo dichos resultados se traducen en un valor para el indicador.

Tabla 149. Búsqueda del Módulo 2 para TRL3-6- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test c)

Indicador y valor	Descripción	Explicación
I2.1=1 (TRL3-6)	Número de patentes/solicitudes de patentes	Hay al menos una patente/solicitud de patente en la tecnología y ámbito de aplicación en el periodo objeto de estudio.

#### 12.1.2.4 PASO 2.c. Búsqueda en BBDD de Módulo de proyectos

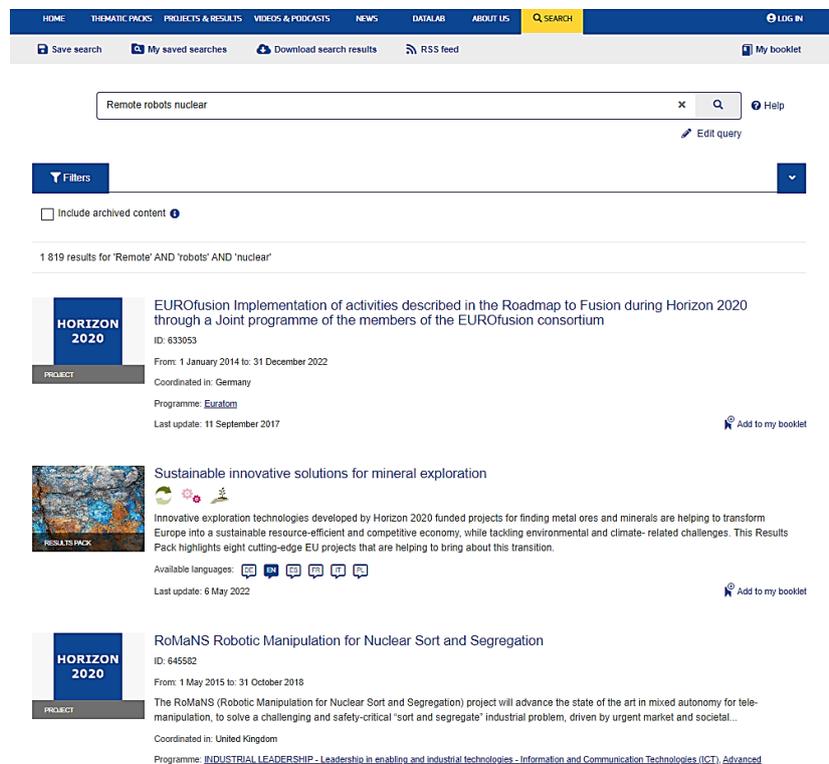
A partir de las palabras clave definidas en el PASO 1, se procede a realizar la búsqueda en este módulo de proyectos. En esta búsqueda únicamente se utilizan palabras clave tecnológicas y para ello se adaptará, si fuera necesario, a cada una de las dos fuentes de datos a aplicar.

- **Búsqueda en CORDIS:** para poder identificar proyectos en la temática. Para ello, se parte de la premisa de realizar la búsqueda usando las palabras clave, y en este sentido, el filtro por fechas se hace para cada uno de los resultados individualmente en función de si tecnológicamente y el campo de aplicación coincide con los que son objetivo en la prueba. Se aplica así en CORDIS la sintaxis de búsqueda de la Tabla 160, detallada en el apartado 7.3.2.3.

Tabla 150. Búsqueda en Módulo de proyectos en Test c) (CORDIS)

<b>Sintaxis de búsqueda</b>	<i>remote robots nuclear</i>
<b>Fuente</b>	CORDIS: <a href="https://cordis.europa.eu/search?q=%27collaborative%27%20AND%20%27robots%27%20AND%20%27nuclear%27&amp;p=1&amp;num=10&amp;srt=Relevance:decreas ing">https://cordis.europa.eu/search?q=%27collaborative%27%20AND%20%27robots%27%20AND%20%27nuclear%27&amp;p=1&amp;num=10&amp;srt=Relevance:decreas ing</a>
<b>Resultados</b>	1 proyecto (RoMaNS)

Los resultados de esta búsqueda se pueden encontrar siguiendo el enlace de la table anterior, y se muestra en la Figura 60. Analizando los mismos, el proyecto de interés para esta tecnología y caso de aplicación es “ROMANS - Robotic Manipulation for Nuclear Sort and Segregation” (European Commission, 2024u) con una duración que va desde 2015 hasta 2018 y financiado dentro del Programa europeo de financiación de I+D+i Horizonte 2020. Este proyecto trata de avanzar en el estado del arte en lo que respecta a la autonomía para tele-manipulación y resolver un problema industrial acuciante, retador y crítico desde un punto de vista de la seguridad como es “clasificar y segregar”. Además, esto viene motivado por necesidades sociales y de mercado de urgencia. RoMaNS conoce el **potencial de los robots para poder ser aplicados en remoto y clasificar elevados niveles de material radioactivo**. Sin embargo, las soluciones actuales aplicadas en la industria para el manejo en remoto (por ejemplo, joystick), no son viables en el largo plazo. De esta manera, tal y como indican en su página oficial en CORDIS, el proyecto entregará un resultado asociado con una **demonstración de TRL6** en un entorno representativo de planta industrial en las instalaciones de pruebas de “UK National Nuclear Lab Workington” en Reino Unido. Por lo tanto, la búsqueda ha identificado un proyecto en la temática que además indica que al fin del proyecto (2018) se habrá logrado un TRL6 en la tecnología asociada.



The screenshot shows the CORDIS search results page for the query "Remote robots nuclear". The page features a navigation bar with options like HOME, THEMATIC PACKS, PROJECTS & RESULTS, VIDEOS & PODCASTS, NEWS, DATALAB, ABOUT US, and a search bar. Below the search bar, there are filters and a list of results. The first result is "EUROfusion Implementation of activities described in the Roadmap to Fusion during Horizon 2020 through a Joint programme of the members of the EUROfusion consortium" (ID: 633053), coordinated in Germany. The second result is "Sustainable innovative solutions for mineral exploration" (RESULTS PACK), coordinated in Germany. The third result is "RoMaNS Robotic Manipulation for Nuclear Sort and Segregation" (ID: 645582), coordinated in the United Kingdom, which is the project of interest.

Figura 60. Resultados devueltos por CORDIS para la búsqueda en Test c)

- Búsqueda en el *Innovation Radar*:** para poder identificar aquellas innovaciones tecnológicas asociadas al caso de estudio y que se encuentre bajo la categoría de “*Exploring*”, “*Tech Ready*” y “*Market ready*”. Para ello, se parte de la premisa de realizar la búsqueda usando las palabras clave, y filtrando en los resultados para que únicamente se muestren aquellas innovaciones bajo la categoría de interés. Se aplica así en *Innovation Radar* la sintaxis de búsqueda de la Tabla 151. Búsqueda en Módulo de proyectos en Test c) (*Innovation Radar*), detallada en el apartado 7.3.2.3.

Tabla 151. Búsqueda en Módulo de proyectos en Test c) (*Innovation Radar*)

<b>Sintaxis de búsqueda</b>	<i>Robot Remote Nuclear</i>
<b>Fuente</b>	<i>Innovation Radar</i> : <a href="https://innovation-radar.ec.europa.eu/">https://innovation-radar.ec.europa.eu/</a> (“ <i>search bar</i> ” o barra de búsqueda)
<b>Resultados</b>	- (no aplicables)

Los resultados devueltos por la búsqueda se ven en la Tabla 41 para todas las categorías. Realizando el análisis en cada una de las categorías de interés se comprueba que las innovaciones identificadas por la herramienta no tienen que ver con la tecnología en el ámbito de interés. A continuación, se muestran algunos casos concretos:

- “*Exploring*”: ninguna es de aplicación.
- “*Tech ready*”: identifica hasta 10 innovaciones sobre robots en remoto, pero analizándolas no están asociadas al ámbito nuclear. Algunas de las innovaciones resultantes están asociadas a proyectos como *SeaClear* (sector marítimo, pero fuera de rango, ya que empezó en 2020) y *CADDY* (sector marítimo, de duración 2014-2016), *SMARTsurg* (sector salud, cirugías), *LIFE CLINMED-FARM* (cambio climático y agroalimentación), *i-SUPPORT* (sobre bienestar, pero finalizado en 2018 precisamente) y (European Commission, 2024a) para entornos complejos, principalmente asociados con atmósfera explosiva).
- “*Business ready*”: sólo hay 2 innovaciones y ambas son para proyectos empezados en 2021 y, por lo tanto, no están en el rango de fechas de estudio.
- “*Market ready*”: hay 4 resultados sobre innovaciones asociadas a proyectos, pero ninguno se aplica en este caso, bien sea por temática, bien sea por fechas. En particular, *CADDY* y *SeaClear* por lo indicado anteriormente. Hay una innovación del proyecto *UNEXMIN* (European Commission, 2024v) sobre un sistema robótico autónomo para explorar minas y la duración fue del 2016-2019 pero no es de aplicación nuclear.

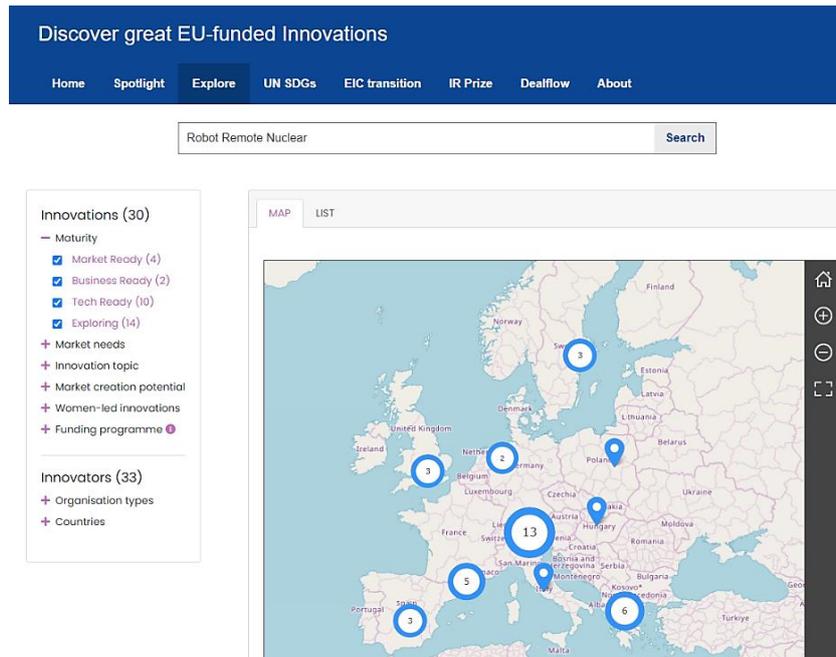


Figura 61. Resultados devueltos por Innovation Radar para la búsqueda en Test c) – Búsqueda de Noviembre 2023

Nótese que habiendo realizado esta búsqueda recientemente, el resultado es el siguiente (probablemente han refinado la herramienta de búsqueda y filtro interno, o bien por actualizaciones en los proyectos):

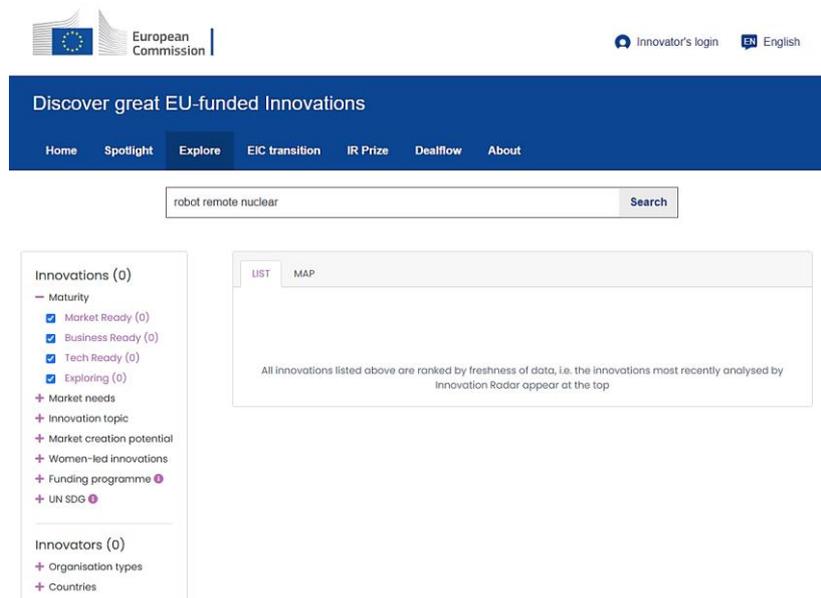


Figura 62. Resultados devueltos por Innovation Radar para la búsqueda en Test c) – Búsqueda de Febrero de 2024

Ahora toda la información de las búsquedas anteriores se traduce en forma de indicadores del Módulo 3 y su valor asociado (Tabla 41) en función de los criterios de cada TRL (apartado 7.3.3). La Tabla 152 muestra los resultados de la búsqueda del Módulo 3 aplicando *keywords* tecnológicas y cómo dichos resultados se traducen en un valor para el indicador.

Tabla 152. Búsqueda del Módulo 3 para TRL3-7- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test c)

Indicador y valor	Descripción	Explicación
I3.1=1 (TRL3-6)	Número de proyectos	Hay un proyecto asociado con la tecnología y ámbito de aplicación.
I3.2=1 (TRL3-6)	Rango TRL asociado	Hay un proyecto asociado a la tecnología y ámbito de aplicación objeto de estudio que se encuentra dentro del TRL objeto de estudio.
I3.3 = 0 (TRL7)	Número de iniciativas bajo definición “ <i>Market ready</i> ”	No hay iniciativas bajo este rango de clasificación asociadas a esta tecnología y ámbito de aplicación.
I3.4 = 0 (TRL5-7)	Número de iniciativas bajo definición “ <i>Tech ready</i> ”	No hay iniciativas bajo este rango de clasificación asociadas a esta tecnología y ámbito de aplicación.
I3.5=0 (TRL7)	Número de iniciativas bajo definición “ <i>Business ready</i> ”	No hay iniciativas bajo este rango de clasificación asociadas a esta tecnología y ámbito de aplicación.
I3.6=0 (TRL3-5)	Número de iniciativas bajo definición “ <i>Exploring</i> ”	No hay iniciativas bajo este rango de clasificación asociadas a esta tecnología y ámbito de aplicación.

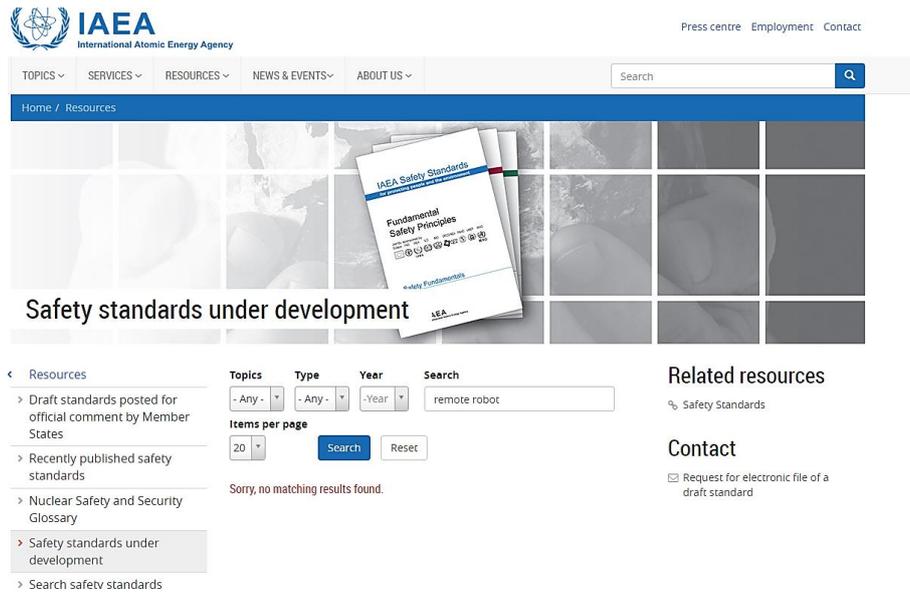
#### 12.1.2.5 PASO 2.d. Búsqueda en BBDD de Módulo de Negocios

A partir de las palabras clave definidas en el PASO 1, se procede a realizar la búsqueda en este módulo de negocios. En esta búsqueda únicamente se utilizan palabras clave tecnológicas y para ello se adaptará, si fuera necesario, a las fuentes de datos a aplicar.

- Búsqueda de Regulación y/o estándares:** como ya se indicaba en la descripción de la operativa del módulo (apartado 7.3.2.4), se utiliza una fuente de datos particular de la IAEA - *International Atomic Energy Agency* o Agencia Internacional de la Energía Atómica. En ella se pueden buscar “*Safety standards under development*” es decir, Estándares de Seguridad en desarrollo. La sintaxis de búsqueda y la fuente se muestra en la Tabla 153 y se muestra que no hay resultados asociados para esta búsqueda, tal como muestra la Figura 63)

Tabla 153. Búsqueda en Módulo de negocios (IAEA) en Test c

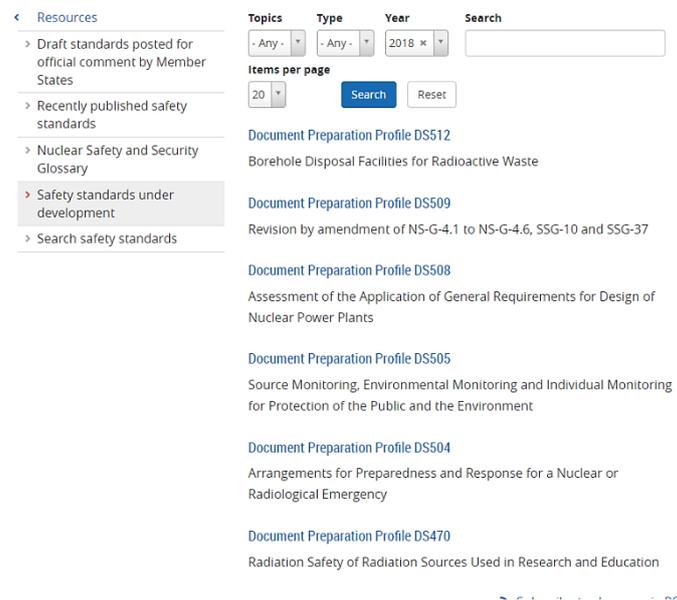
<b>Sintaxis de búsqueda</b>	<i>remote robot</i>
<b>Fuente</b>	IAEA: <a href="https://www.iaea.org/resources/safety-standards/draft-standards">https://www.iaea.org/resources/safety-standards/draft-standards</a>
<b>Resultados</b>	-



The screenshot shows the IAEA website interface. At the top, there is a navigation menu with 'TOPICS', 'SERVICES', 'RESOURCES', 'NEWS & EVENTS', and 'ABOUT US'. A search bar is located on the right. Below the navigation, there is a banner for 'Safety standards under development' featuring a book cover titled 'IAEA Safety Standards Fundamental Safety Principles'. On the left, a sidebar lists search filters: 'Resources', 'Draft standards posted for official comment by Member States', 'Recently published safety standards', 'Nuclear Safety and Security Glossary', 'Safety standards under development' (highlighted), and 'Search safety standards'. The main search area shows filters for 'Topics' (Any), 'Type' (Any), and 'Year' (2017). The search term is 'remote robot'. The results section displays 'Sorry, no matching results found.' To the right, there are links for 'Related resources' (Safety Standards) and 'Contact' (Request for electronic file of a draft standard).

Figura 63. Resultados devueltos por IAEA para estándares de seguridad bajo desarrollo para la búsqueda en Test c) (I)

Para comprobar que efectivamente se realizó la misma búsqueda filtrando para los años 2017, sin incluir palabras clave y no han salido resultados. Se ha hecho lo mismo para el año 2018, tal y como se ve en la Figura 64 y si bien devuelve resultados, éstos no son relevantes para este caso.



The screenshot shows the IAEA website search results for the year 2018. The search filters are 'Topics' (Any), 'Type' (Any), and 'Year' (2018). The search term is empty. The results section lists several document preparation profiles:

- Document Preparation Profile DS512**: Borehole Disposal Facilities for Radioactive Waste
- Document Preparation Profile DS509**: Revision by amendment of NS-G-4.1 to NS-G-4.6, SSG-10 and SSG-37
- Document Preparation Profile DS508**: Assessment of the Application of General Requirements for Design of Nuclear Power Plants
- Document Preparation Profile DS505**: Source Monitoring, Environmental Monitoring and Individual Monitoring for Protection of the Public and the Environment
- Document Preparation Profile DS504**: Arrangements for Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency
- Document Preparation Profile DS470**: Radiation Safety of Radiation Sources Used in Research and Education

Figura 64. Resultados devueltos por IAEA para estándares de seguridad bajo desarrollo para la búsqueda en Test c) (II)

- Búsqueda sobre movilización de inversión privada en torno a negocios basados o relacionados con tecnología:** en este caso, siguiendo las indicaciones de la descripción del funcionamiento de este módulo detalladas en el apartado 7.3.2.4, se realiza la búsqueda con la sintaxis e indicaciones detalladas en la Tabla 154. Comprobando los premios de las ediciones 2017 y 2018, atendiendo al criterio de búsqueda, no se encuentra

ninguna empresa cotizada en el mercado alternativo para esta tecnología y ámbito de aplicación.

Tabla 154. Búsqueda en Módulo de negocios (Empresas cotizadas en bolsa) en Test c

<b>Sintaxis de búsqueda</b>	<i>remote robot</i>
<b>Fuente</b>	“European Small and mid-cap awards”: <a href="https://europeansmallandmidcapawards.eu/">https://europeansmallandmidcapawards.eu/</a> En ediciones de 2017 ( <a href="https://europeansmallandmidcapawards.eu/2017-edition">https://europeansmallandmidcapawards.eu/2017-edition</a> ) y 2018.
<b>Resultados</b>	-

Ahora toda la información de las búsquedas anteriores se traduce en forma de indicadores del Módulo 3 y su valor asociado (Tabla 41) en función de los criterios de cada TRL (apartado 7.3.3). La Tabla 155 muestra los resultados de la búsqueda del Módulo 4 aplicando *keywords* tecnológicas y cómo dichos resultados se traducen en un valor para el indicador.

Tabla 155. Búsqueda del Módulo 4 para TRL5-7- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test c)

<b>Indicador y valor</b>	<b>Descripción</b>	<b>Explicación</b>
I4.1=0 (TRL5-7)	Número de reglamentos asociados / grupos de trabajo	No hay reglamentos ni grupos de trabajo asociados.
I4.2=0 (TRL5-7)	Número de empresas tecnológicas cotizadas en bolsa (mercado alternativo)	No hay empresas asociadas a la tecnología y ámbito de aplicación objeto de estudio cotizadas en bolsa.

#### 12.1.2.6 PASO 2.e. Búsqueda en BBDD de Módulo de Noticias/Redes Sociales

A partir de las palabras clave definidas en el PASO 1, se procede a realizar la búsqueda en este módulo de noticias/redes sociales. En esta búsqueda únicamente se utilizan palabras clave tecnológicas con la sintaxis de búsqueda de la Tabla 156 y para el periodo de duración que comprende desde los 2017 a 2018 dentro de la herramienta de búsqueda Google y filtrando por “Noticias”, detallado en el apartado 7.3.2.5.

Tabla 156. Búsqueda en Módulo de noticias en Test c)

<b>Sintaxis de búsqueda</b>	<i>Robot Remote Nuclear</i>
<b>Fuente</b>	Google: <a href="https://www.google.es/">https://www.google.es/</a> y filtrando por “Noticias”
<b>Resultados</b>	Amplia variedad de resultados relevantes.

La Figura 65 muestra los resultados devueltos para la tecnología (robots manejados en remoto) en el ámbito seleccionado (nuclear) en el periodo de estudio (2017-2018). Tal y como se indicaba anteriormente, hay noticias sobre robots de manejo en remoto en el sector nuclear (especialmente en 2017).

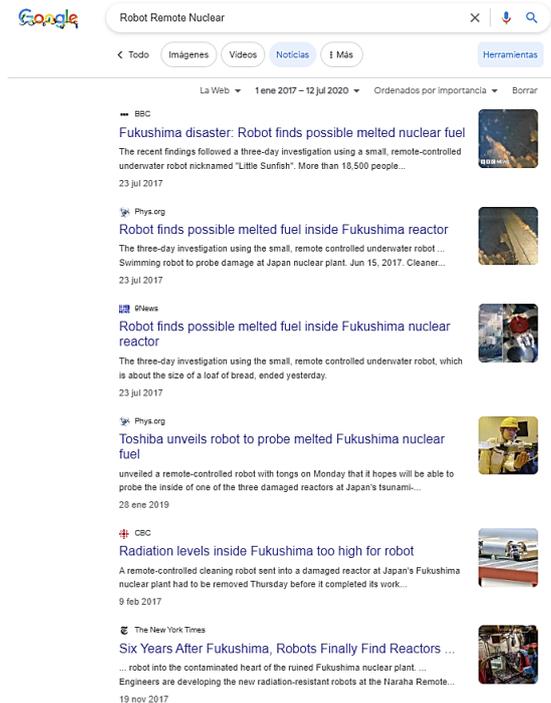


Figura 65. Resultados devueltos por Google (filtro de Noticias) para la búsqueda en Test c)

Ahora toda la información de las búsquedas anteriores se traduce en forma de indicadores del Módulo 5 y su valor asociado (Tabla 45) en función de los criterios de cada TRL (apartado 7.3.3). La Tabla 157 muestra los resultados de la búsqueda del Módulo 5 aplicando *keywords* tecnológicas y cómo dichos resultados se traducen en un valor para el indicador.

Tabla 157. Búsqueda del Módulo 5 para TRL4- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test c)

Indicador y valor	Descripción	Explicación
I5.1=1 (TRL4)	Número de publicaciones y/o noticias	Hay noticias y/o publicaciones asociadas al proyecto para esta tecnología y aplicación en el periodo de estudio.

#### 12.1.2.7 PASO 3. Cálculo del TRL

En este último paso de la metodología, se procede a realizar el cálculo del TRL y comprobar si la metodología devuelve el mismo TRL que en el caso de estudio, es decir, se valida la precisión y robustez de la metodología seleccionada. Posteriormente, se realiza un análisis de los resultados.

#### **Test c). Validación de le metodología para TRL4-TRL6**

A continuación, se calculan los distintos TRL para validar si la metodología es capaz de determinar el TRL de este caso de aplicación a partir de los datos anteriores. Por lo tanto, las preguntas a realizarse son:

- **¿Cumple los criterios de TRL1?** Sí porque se cumple el único criterio establecido (A) en el Módulo académico. Por lo tanto, se considera que la tecnología ha alcanzado, al menos, el TRL1. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 158, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 144.

Tabla 158. Resultados del Test c) para el cálculo de TRL1

Cumplimiento de TRL1 (A)			Resultado Test c) (TRL1)	
Criterio	Módulo	Condición	Resultado	
A	1. Módulo académico ( <i>cálculo estándar</i> ) con keywords tecnológicas	I1.1 = 1	I1.1=1 ✓	Sí, pues hay más de un artículo sobre la temática.
<b>Conclusión:</b> A se cumple y por tanto se cumplen los criterios de TRL1.				

- **¿Cumple los criterios de TRL2?** Sí porque se cumple el único criterio establecido (A) en el Módulo académico. Por lo tanto, se considera que la tecnología ha alcanzado, al menos, el TRL2. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 159, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 146.

Tabla 159. Resultados del Test c) para el cálculo de TRL2

Cumplimiento de TRL2 (A)			Resultado Test c) (TRL2)	
Criterio	Módulo	Condición	Resultado	
A	1. Módulo académico ( <i>cálculo estándar</i> ) con keywords tecnológicas	I1.1=1 y I1.2=1	I1.1=1 y I1.2=1 ✓	Sí, pues hay al menos 3 artículos (al menos 1) sobre la temática y uno de ellos ha sido citado al menos una vez al año siguiente de su publicación (2018).
<b>Conclusión:</b> A se cumple y por tanto se cumplen los criterios de TRL2.				

- **¿Cumple los criterios de TRL3?** Sí porque A (asociado a Módulo 1) se cumple, y con eso es suficiente para afirmar que se cumplen los criterios de TRL3. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 160, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 147. Se puede afirmar que la metodología devuelve el mismo resultado que el indicado en la bibliografía.

Tabla 160. Resultados del Test c) para el cálculo de TRL3

Cumplimiento de TRL3 (A y/o B*)			Resultado Test c) (TRL3)	
*B se cumple cuando se da b0 y si se da b1 y/o b2 y/o b3				
Criterio	Módulo	Condición	Resultado	
A	1. Módulo académico ( <i>cálculo estándar</i> ) con keywords tecnológicas y de aplicabilidad.	I1.1>1 y I1.2=1	I1.1>1 y I1.2=1 ✓	Sí porque hay al menos dos artículos (más de uno) que cumplan con los criterios de keywords tecnológicas y no tecnológicas al realizar la búsqueda. Además, al

Cumplimiento de TRL3 (A y/o B*) *B se cumple cuando se da b0 y si se da b1 y/o b2 y/o b3			Resultado Test c) (TRL3)	
Criterio	Módulo	Condición	Resultado	
				menos uno de ellos ha sido citado por un autor en los siguientes años.
<b>Conclusión:</b> A se cumple ya que hay más de un artículo en la materia en el año objeto de estudio, aplicando en la búsqueda <i>keywords</i> tecnológicas y no tecnológicas y, además, al menos uno de ellos ha sido citado por un autor en los años siguientes. Por lo tanto, se cumplen los criterios de TRL3.				

- **¿Cumple los criterios de TRL4?** Sí porque se cumplen tres (A, B y C) de las cuatro premisas principales (A, B, C o D). Si bien el criterio de desbloqueo no es necesario en este caso, se muestra a modo de ejemplo. Por lo que se puede concluir que esta tecnología cumple con los criterios de TRL4. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 161, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 147, Tabla 149, Tabla 152 y Tabla 157.

Tabla 161. Resultados del Test c) para el cálculo de TRL4

Cumplimiento de TRL4 (al menos dos de A, B, C o D; E sólo para desbloqueo)			Resultado Test c) (TRL4)	
Criterio	Módulo	Condición	Resultado	
<b>A</b>	1. Módulo académico ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas y de aplicabilidad.	I1.1>1 y I1.2=1	I1.1>1 y I1.2=1 ✓	Sí porque hay al menos dos artículos (más de uno) que cumplan con los criterios de <i>keywords</i> tecnológicas y no tecnológicas al realizar la búsqueda. Además, al menos uno de ellos ha sido citado por un autor en los siguientes años.
<b>B</b>	2. Módulo de patentes ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I2.1=1	I2.1=1 ✓	Sí la cumple ya que hay al menos una patente/solicitud de patente en la tecnología y ámbito de aplicación en el periodo objeto de estudio.
<b>C</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.1=1 y I3.2=1	I3.1=1 y I3.2=1 ✓	Sí por lo indicado para TRL3, al haber un proyecto tecnológico asociado en el mismo rango de TRL.
<b>D</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.6=1	I3.6=0 ✗	No porque no hay ninguna innovación asociada bajo la clasificación de "Exploring".

Cumplimiento de TRL4 (al menos dos de A, B, C o D; E sólo para desbloqueo)			Resultado Test c) (TRL4)	
Criterio	Módulo	Condición	Resultado	
E	5. Módulo de Noticias/Redes Sociales (cálculo exclusivamente para desbloqueo)	I5.1=1	I5.1=1 ✓	Sí porque hay noticias o publicaciones asociadas al proyecto para esta tecnología y aplicación en el periodo de estudio.
<b>Conclusión:</b> cumple tres (A, B y C) de las cuatro premisas principales (A, B, C o D), por lo que se puede concluir que esta tecnología cumple con los criterios de TRL4. Por tanto, la tecnología se encuentra en TRL4 en 2017.				

- **¿Cumple los criterios de TRL5?** Sí porque se cumplen dos (A y B) de las 4 premisas o criterios principales (A, B, C y D) y, por tanto, se puede confirmar que se encuentra en TRL5, no siendo necesario calcular el criterio de desbloqueo E. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 162, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 149 y Tabla 152.

Tabla 162. Resultados del Test c) para el cálculo de TRL5

Cumplimiento de TRL5 (al menos dos de A, B, C o D; E sólo para desbloqueo) *E se cumple cuando se da e1 y/o e2			Resultado Test c) (TRL5)	
Criterio	Módulo(s)	Condición	Resultados	
A	2. Módulo de patentes ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I2.1=1	I2.1=1 ✓	Sí la cumple ya que hay al menos una patente/solicitud de patente en la tecnología y ámbito de aplicación en el periodo objeto de estudio.
B	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.1=1 y I3.2=1	I3.1=1 y I3.2=1 ✓	Sí por lo indicado para TRL3, al haber un proyecto tecnológico asociado en el mismo rango de TRL.
C	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.4=1	I3.4=0 ✗	No porque no hay ninguna innovación asociada bajo la clasificación de “ <i>Tech ready</i> ”.
D	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.6=1	I3.6=0 ✗	No porque no hay ninguna innovación asociada bajo la clasificación de “ <i>Exploring</i> ”.
<b>Conclusión:</b> cumple dos (A y B) de las cuatro premisas principales (A, B, C o D), por lo que se puede concluir que esta tecnología cumple con los criterios de TRL5. Por tanto, la tecnología se encuentra en TRL5 en 2017.				

- **¿Cumple los criterios de TRL6?** Sí porque se cumplen tres (A, B y E) de las cinco premisas principales (A, B, C, D o E), por lo que se puede confirmar que esta tecnología se encuentra en TRL6 en 2017. Es decir, se puede afirmar que la metodología devuelve el mismo resultado que el indicado en la bibliografía. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 163, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 149, Tabla 152, Tabla 155 y Tabla 157.

Tabla 163. Resultados del Test c) para el cálculo de TRL6

Cumplimiento de TRL6 (al menos dos de A, B, C, D o E)			Resultado Test c) (TRL6)	
Criterio	Resultados	Condición	Resultados	
<b>A</b>	2. Módulo de patentes ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I2.1=1	I2.1=1 ✓	Sí la cumple ya que hay al menos una patente/solicitud de patente en la tecnología y ámbito de aplicación en el periodo objeto de estudio.
<b>B</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.1=1 y I3.2=1	I3.1=1 y I3.2=1 ✓	Sí por lo indicado para TRL3, al haber un proyecto tecnológico asociado en el mismo rango de TRL.
<b>C</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.4=1	I3.4=0 ✗	No porque no hay ninguna innovación asociada bajo la clasificación de “Tech ready”.
<b>D</b>	4. Módulo de Negocios ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I4.1=1 y/o I4.2=1	I4.1=0 y/o I4.2=0 ✗	No porque no hay reglamentos ni grupos de trabajo asociados ni tampoco hay empresas asociadas a la tecnología y ámbito de aplicación objeto de estudio cotizadas en bolsa.
<b>E</b>	5. Módulo de Noticias/Redes Sociales <i>cálculo exclusivamente para desbloqueo</i> )	I5.1=1	I5.1=1 ✓	Sí porque hay noticias y/o publicaciones asociadas al proyecto para esta tecnología y aplicación en el periodo de estudio.
<b>Conclusión:</b> cumple tres (A, B y E) de las cinco premisas principales (A, B, C, D o E), por lo que se puede concluir que esta tecnología cumple con los criterios de TRL6. Por tanto, la tecnología se encuentra en TRL6 en 2017.				

### Test c). Análisis de la robustez de la metodología más allá de TRL4-TRL6

En este apartado el objetivo es comprobar que se cumplen las condiciones de contorno. Es decir, que la metodología, si bien es capaz de calcular que la tecnología para el ámbito de aplicación es

TRL6 tal y como se indica en la bibliografía, también es capaz de detectar que no se encuentra en TRL7, identificando inequívocamente el rango de TRL objeto de estudio.

- **¿Cumple los criterios de TRL7?** No porque únicamente se cumplen tres (A,B y G) de las siete premisas principales (A, B, C, D, E y F), por lo que se puede concluir que esta tecnología no cumple con los criterios de TRL7. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 164, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 149, Tabla 152, Tabla 155 y Tabla 157. Y, por tanto, se puede afirmar que la metodología es robusta ya que confirma que la tecnología de estudio del Test c) en su ámbito de aplicación no es superior a la indicada en la bibliografía.

Tabla 164. Resultados del Test c) para el cálculo de TRL7

Cumplimiento de TRL7 (al menos cuatro de A, B, C, D, E, F o G)			Resultado Test c) (TRL7)	
Criterio	Resultados	Condición	Resultados	
<b>A</b>	2. Módulo de patentes ( <i>cálculo estándar</i> ) con keywords tecnológicas	I2.1=1	I2.1=1 ✓	Sí la cumple ya que hay al menos una patente/solicitud de patente en la tecnología y ámbito de aplicación en el periodo objeto de estudio.
<b>B</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con keywords tecnológicas	I3.1=1 y I3.2=1	I3.1=1 y I3.2=1 ✓	Sí por lo indicado para TRL3, al haber un proyecto tecnológico asociado en el mismo rango de TRL.
<b>C</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con keywords tecnológicas	I3.3=1	I3.3=0 ✗	No porque no hay ninguna innovación asociada bajo la clasificación de “Market ready”.
<b>D</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con keywords tecnológicas	I3.4=1	I3.4=0 ✗	No porque no hay ninguna innovación asociada bajo la clasificación de “Tech ready”.
<b>E</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con keywords tecnológicas	I3.5=1	I3.5=0 ✗	No porque no hay ninguna innovación asociada bajo la clasificación de “Business ready”.
<b>F</b>	4. Módulo de Negocios ( <i>cálculo estándar</i> ) con keywords tecnológicas	I4.1=1 y I4.2=1	I4.1=0 y I4.2=0 ✗	No porque no hay reglamentos ni grupos de trabajo asociados ni tampoco hay empresas asociadas a la tecnología y ámbito de aplicación objeto

Cumplimiento de TRL7 (al menos cuatro de A, B, C, D, E, F o G)			Resultado Test c) (TRL7)	
Criterio	Resultados	Condición	Resultados	
				de estudio cotizadas en bolsa.
<b>G</b>	5. Módulo de Noticias/Redes Sociales ( <i>cálculo estándar</i> ) con keywords tecnológicas	I5.1=1	I5.1=1 ✓	Sí porque hay noticias o publicaciones asociadas al proyecto para esta tecnología y aplicación en el periodo de estudio.
<b>Conclusión:</b> cumple tres (A, B y G) de las siete premisas principales (A, B, C, D, E, F y G), por lo que se puede concluir que esta tecnología no cumple con los criterios de TRL7. Por tanto, la tecnología no se encuentra en TRL7 en 2017. Además, se prueba que la metodología es robusta al confirmar que la tecnología objetivo está en el rango TRL4-TRL6 como indicaba la bibliografía y además no tiene problemas para diferenciar el TRL en la frontera entre algunos muy cercanos (en este caso, entre TRL6 y TRL7).				

### Test c). Conclusiones sobre los resultados de la validación

Tras haber realizado la prueba de validación de Test c), y tal y como se deduce de las conclusiones detalladas en la Tabla 165, se puede concluir que la metodología no sólo ha demostrado que puede calcular el TRL para la tecnología y campo de aplicación seleccionado para un año dado, sino que además lo hace de manera precisa y robusta, no habiendo dudas en la frontera entre TRL6 y TRL7.

Tabla 165. Test c) Conclusiones de los resultados de validación de la metodología

	Test c) -bibliografía	Test c) -metodología	Conclusión
<b>Año</b>	2017	2017	
<b>Rango de TRL</b>	TRL 4-6	TRL 4-6 y no TRL7	
<b>Tecnología / aplicación</b>	Robótica para inspección remota, procesamiento remoto y casos de estudio de seguridad en entornos industriales colaborativos para aplicaciones en remoto. Desarrollo activo en entornos reales.	Robótica para inspección remota, procesamiento remoto y casos de estudio de seguridad en entornos industriales colaborativos para aplicaciones en remoto. Desarrollo activo en entornos reales.	✓ Cumple.

### 12.1.3 Test f) (Prueba 1.5) - rango TRL7-9

Se aplica la metodología desarrollada por medio de su aproximación en tres pasos: PASO 1. Definición de palabras clave o *keywords*, PASO 2. Búsqueda en las bases del(los) módulo(s) de aplicación para cada caso a partir de las palabras definidas en el paso anterior y PASO 3. Cálculo de los TRLs según los valores obtenidos para cada indicador según la información resultante de

paso previo. En este caso, se aplica el caso de aplicación llamado “Test f)” y cuyas características se encuentran en la Tabla 59.

### 12.1.3.1 PASO 1. Keywords

A partir de las características de esta prueba y de la tecnología y ámbito de aplicación asociado, las palabras clave definidas han sido: Incineración y reciclaje de composites o materiales compuestos. Para su aplicación en la metodología, se usarán sus equivalentes en inglés detallados en la Tabla 166.

Tabla 166. Características de la Test f) y keywords asociadas.

<b>Características - Test f)</b>	
<b>Año</b>	2016
<b>Rango TRL/TRL</b>	TRL9 (TRL7-9)
<b>Tecnología</b>	Incineración y enterramiento para reciclaje de composite o materiales compuestos
<b>Keywords – Test f)</b>	
<b>Keywords tecnológicas</b>	<i>Incineration; composite recycling</i>

Por lo tanto, con estos datos, se procede a buscar los diferentes datos de cada módulo:

### 12.1.3.2 PASO 2.a. Búsqueda en BBDD de Módulo Académico

A partir de las palabras clave definidas en el PASO 1, se procede a realizar la búsqueda en el mismo, atendiendo al tipo de TRL para el que se realiza la misma.

- **Búsqueda para TRL 1 y TRL2:** en esta búsqueda únicamente se utilizan las palabras clave tecnológicas mencionadas en la Tabla 167 y son las que se introducen en la herramienta de búsqueda seleccionada “*Publish or Perish*” detallada en la sección 7.3.2.1.

Tabla 167. Búsqueda en Módulo académico para TRL1-2 en Test f)

<b>Año</b>	2015-2016
<b>Sintaxis de búsqueda</b>	<i>Incineration AND composite AND recycling</i>
<b>Fuente</b>	<i>Google Scholar</i>

Esta búsqueda en la herramienta “*Publish or Perish*” devuelve una serie de artículos de interés (exportados a una hoja Excel) y que han sido analizados. Algunos de los artículos resultantes que están relacionados con la tecnología objeto de estudio y el ámbito de aplicación de interés, son los siguientes:

- El primero (Ribeiro et al., 2016), publicado en 2016, trata sobre las diversas aproximaciones al reciclaje promoviendo un avance sostenible en la industria de materiales compuestos. Ha sido citado 83 veces, siendo una de ellas en 2017 y otra en 2018.

- El segundo identificado (Vijay et al., 2016), también publicado en 2016, evalúa el desecho de residuos de composites en las industrias aeroespaciales. Ha sido citado 48 veces y al menos dos de ellas en 2018.
- El tercero identificado como relevante (X. Li et al., 2016) se ha publicado en 2016 y trata de una comparativa entre el rendimiento medioambiental y financiero del reciclaje mecánico de polímeros reforzados con fibra de carbono y su comparación con las rutas convencionales de desecho. Ha sido citado 181 veces y cuenta con al menos una cita en 2016, además de contar con varias citas en 2018 y 2019.
- **Búsqueda para TRL3 y TRL4:** en esta búsqueda se utilizan las palabras clave tecnológicas mencionadas en la Tabla 168 y algunas de las de aplicabilidad asociadas al TRL3-4 e indicadas en la Tabla 33. Todas ellas son las que se introducen en la herramienta de búsqueda seleccionada “*Publish or Perish*” detallada en la sección 7.3.2.1.

Tabla 168. Búsqueda en Módulo académico para TRL3-4 en Test f)

<b>Año</b>	2015-2016
<b>Sintaxis de búsqueda</b>	Incineration AND composite AND recycling AND prototype
<b>Fuente</b>	Google Scholar

Tras un análisis de los resultados obtenidos (exportados a un documento Excel), se comprueba que, en 2016, algunos de los artículos más relevantes, son los indicados a continuación. En vista de estos resultados se puede indicar que hay al menos dos artículos asociados, donde uno de ellos al menos ha sido ampliamente citado:

- El primer artículo publicado en 2016 (Beauson & Brøndsted, 2016), trata de la perspectiva del fin de la vida de las palas de las turbinas eólicas. En particular han un apartado donde menciona “Incineración. Si la goma, los **plásticos, las fibras de vidrio u otros composites y epoxy, no pueden reciclarse es posible que se puedan incinerar confines energéticos**. Se sabe también que grandes cantidades de fibra de vidrio pueden causar problemas importantes en los sistemas de filtración de las plantas de incineración, y que la emisión de dioxinas puede aumentar. El PVC es un compuesto problemático porque puede contener metales pesados, entre otros – y **si se incinera en una planta de incineración de residuos, la cantidad de escoria producida se incrementará significativamente**. [...]”. Ha sido citado 17 veces, dos de ellas fueron en 2018 y cuatro en 2019.
- El segundo artículo (Srebrenkoska V. & Dimeski, 2016), también de 2016, habla de tratamiento al final de su vida de materiales compuestos (composites) poliméricos. En particular el texto de documento menciona que “El reciclaje de

materiales compuestos depende ampliamente de la matriz polimérica usada. La incineración es uno de los métodos de tratamiento de materiales compuestos poliméricos porque puede usarse para recuperación energética”. No ha sido citado.

Ahora toda la información de las búsquedas anteriores se traduce en forma de indicadores del Módulo 1 y su valor asociado (Tabla 36) en función de los criterios de cada TRL (apartado 7.3.3). En primer lugar, la Tabla 169 muestra los resultados de la búsqueda del Módulo 1 aplicando *keywords* tecnológicas y cómo dichos resultados se traducen en un valor para cada indicador.

Tabla 169. Búsqueda del Módulo 1 para TRL1-2- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test f)

Indicador y valor	Descripción	Explicación
I1.1=1 (TRL1-2)	Número de artículos	Hay un artículo (o más-TRL2) sobre la temática- TRL1.
I1.2=1 (TRL1-2)	Número de citas	Pues hay 3 artículos (al menos 1) sobre la temática y uno de ellos ha sido publicado al menos una vez al año siguiente de su publicación (2017 o 2018) – TRL2.

La Tabla 170 muestra los resultados de la búsqueda del Módulo 1 aplicando *keywords* tecnológicas y de aplicabilidad. Igualmente se muestran dichos resultados y cómo estos se traducen en un valor para cada indicador.

Tabla 170. Búsqueda del Módulo 1 para TRL3-4- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test f)

Indicador y valor	Descripción	Explicación
I1.1>1 (TRL3-4)	Número de artículos	Hay al menos dos artículos (más de uno) que cumplan con los criterios de <i>keywords</i> tecnológicas y no tecnológicas al realizar la búsqueda.
I1.2=1 (TRL3-4)	Número de citas	Pues hay 2 artículos (al menos uno) sobre la temática y uno de ellos ha sido citado al menos por un autor en los siguientes años a su publicación.

### 12.1.3.3 PASO 2b. Búsqueda en BBDD en Módulo de patentes

A partir de las palabras clave definidas en el PASO 1, se procede a realizar la búsqueda en este módulo de patentes. En esta búsqueda únicamente se utilizan palabras clave tecnológicas con la sintaxis de búsqueda de la Tabla 171 y para años menores o iguales que 2017 dentro de la herramienta de búsqueda de patentes Espacenet detallada en el apartado 7.3.2.2.

Tabla 171. Búsqueda en Módulo de patentes en Test f)

<b>Sintaxis de búsqueda</b>	ta all "Incineration AND composite AND recycling" AND pd <= "2017"
<b>Fuente</b>	Espacenet: <a href="https://worldwide.espacenet.com/patent/search">https://worldwide.espacenet.com/patent/search</a>
<b>Resultados</b>	21

El resultado que devuelve son 21 patentes (exportadas a un documento Excel), las cuales se ordenan desde 2017 y se analizan. Así se observa que al menos hay una relevante y permite ya asignar un valor al indicador. Dicha patente es la detalla a continuación y además se observa que esta tiene de fecha de prioridad 1993, lo cual es acorde con la búsqueda realizada pues se está buscando en 2016 información de esta tecnología que presuntamente se encuentra en TRL9:

- DE4305964A1 Process for the multi-stage thermal treatment of composite material for the purpose of utilization of materials and energy with low emission and low residues (recycling)** (Jeschar Rudolf Prof Dr Ing Dr et al., 1993) tiene como fecha de prioridad 26 de febrero de 1993 y protege un proceso para el tratamiento térmico multi-etapa de material compuesto con el propósito de usar los materiales y energía con bajas emisiones y bajos residuos (reciclaje). En el propio texto de la patenten, indican que ese proceso se lleva a cabo en un dispositivo de incineración.

Ahora toda la información de las búsquedas anteriores se traduce en forma de indicadores del Módulo 2 y su valor asociado (Tabla 39) en función de los criterios de cada TRL (apartado 7.3.3). La Tabla 172 muestra los resultados de la búsqueda del Módulo 2 aplicando *keywords* tecnológicas y cómo dichos resultados se traducen en un valor para el indicador.

Tabla 172. Búsqueda del Módulo 2 para TRL3-7- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test f)

<b>Indicador y valor</b>	<b>Descripción</b>	<b>Explicación</b>
I2.1=1 (TR3-6)	Número de patentes/solicitudes de patentes	Hay al menos una patente/solicitud de patente en la tecnología y ámbito de aplicación en el periodo objeto de estudio.

#### 12.1.3.4 PASO 2.c. Búsqueda en BBDD de Módulo de proyectos

A partir de las palabras clave definidas en el PASO 1, se procede a realizar la búsqueda en este módulo de proyectos. En esta búsqueda únicamente se utilizan palabras clave tecnológicas y para ello se adaptará, si fuera necesario, a cada una de las dos fuentes de datos a aplicar.

- Búsqueda en CORDIS:** para poder identificar proyectos en la temática. Para ello, se parte de la premisa de realizar la búsqueda usando las palabras clave, y en este sentido, el filtro por fechas se hace para cada uno de los resultados individualmente en función de si tecnológicamente y el campo de aplicación coincide con los que son objetivo en la

prueba. Se aplica así en CORDIS la sintaxis de búsqueda de la Tabla 173, detallada en el apartado 7.3.2.3.

Tabla 173. Búsqueda en Módulo de proyectos en Test f) (CORDIS)

<b>Sintaxis de búsqueda</b>	<i>Incineration composite recycling</i>
<b>Fuente</b>	CORDIS: <a href="https://cordis.europa.eu/search?q=%27Incineration%27%20AND%20%27composite%27%20AND%20%27recycling%27&amp;p=1&amp;num=10&amp;srt=Relevance:decreasing">https://cordis.europa.eu/search?q=%27Incineration%27%20AND%20%27composite%27%20AND%20%27recycling%27&amp;p=1&amp;num=10&amp;srt=Relevance:decreasing</a>
<b>Resultados</b>	1 proyecto (ELFRAG CFRP)

Los resultados de esta búsqueda se pueden encontrar siguiendo el enlace de la tabla anterior, que devuelve el siguiente resultado acerca de un proyecto de interés. Este es el proyecto llamado “*ELFRAG CFRP - High Voltage Pulse Fragmentation Technology to recycle fibre-reinforced composites*” y con duración desde 2012 a 2014. Lo más relevante en este caso, es que efectivamente en su resumen ejecutivo mencionan que la incineración es la técnica habitual de reciclaje de este tipo de materiales compuestos y quieren buscar otra vía de reciclaje. De hecho, el texto que se puede leer indica “El uso de materiales compuestos poliméricos reforzados con fibra de carbono o CFRP por sus siglas en inglés (“*Carbon Fiber Reinforced Polymer composites*”) en la industria aeroespacial, ha incrementado considerablemente en las últimas décadas a causa de su estructura eficiente y de bajo peso que mejora el rendimiento del avión. Esto representa un reto para la industria de la aviación. Puesto que no hay disponible una estrategia de reciclaje real con énfasis en su competitividad económica, no existen soluciones eficientes con las que hacer frente al final de la vida de los aviones. Los procesos mecánicos usados actualmente en combinación con los procesos químicos se centran en eliminar la matriz de resina de las fibras de carbono por medio de degradación térmica. El problema es la baja calidad del producto recuperado de polvo de carbono, casi sin valor comercial. Otras **soluciones como la incineración y vertido en tierra, resulta una completa pérdida del material** [...]. Se requiere desarrollar nuevos métodos para incrementar la calidad de las fibras de carbono recuperadas por medio de oxidación y pirólisis con micro - ondas. **Todos los procesos investigados están limitados en cuanto a liberación, recuperación de fibras de carbono de calidad y todo ello con altos costes de operación y/o escala industrial insuficiente**”.

- **Búsqueda en el *Innovation Radar*:** para poder identificar aquellas innovaciones tecnológicas asociadas al caso de estudio y que se encuentre bajo la categoría de “Exploring”, “Tech Ready”, “Market ready” y “Business ready”. Para ello, se parte de la premisa de realizar la búsqueda usando las palabras clave, y filtrando en los resultados

para que únicamente se muestren aquellas innovaciones bajo la categoría de interés. Se aplica así en Innovation Radar la sintaxis de búsqueda de la Tabla 174, detallada en el apartado 7.3.2.3.

Tabla 174. Búsqueda en Módulo de proyectos en Test f) (Innovation Radar)

<b>Sintaxis de búsqueda</b>	<i>Incineration composite recycling</i>
<b>Fuente</b>	Innovation Radar: <a href="https://innovation-radar.ec.europa.eu/">https://innovation-radar.ec.europa.eu/</a> (“search bar” o barra de búsqueda)
<b>Resultados</b>	- (no hay resultados)

Los resultados devueltos por la búsqueda se ven en la Figura 66 y se observa que no salen innovaciones asociadas para ninguna de las clasificaciones. La manera de interpretarlo es que, por un lado, a medida que evolucionan las innovaciones se van eliminando del Innovation Radar o bien, que corresponden a años anteriores al momento en que recoge datos en esta herramienta (desde 2014) y por la patente identificada en el Módulo 2 se sabe que en 1993 ya había interés en la tecnología.

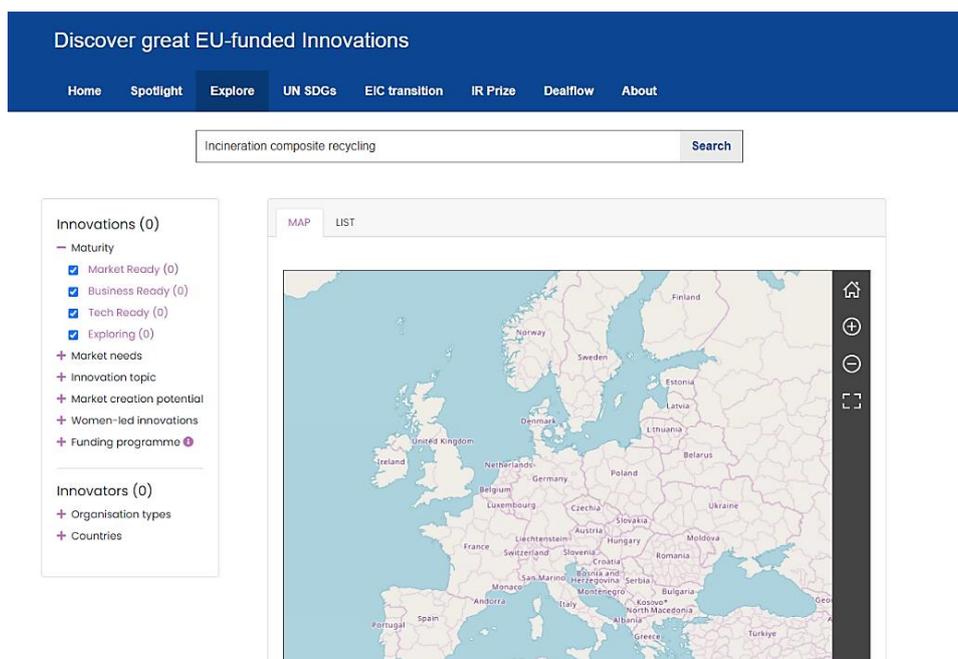


Figura 66. Resultados devueltos por Innovation Radar para la búsqueda en Test f)

Ahora toda la información de las búsquedas anteriores se traduce en forma de indicadores del Módulo 3 y su valor asociado (Tabla 41) en función de los criterios de cada TRL (apartado 7.3.3). La Tabla 175 muestra los resultados de la búsqueda del Módulo 3 aplicando *keywords* tecnológicas y cómo dichos resultados se traducen en un valor para el indicador.

Tabla 175. Búsqueda del Módulo 3 para TRL3-7- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test f)

Indicador y valor	Descripción	Explicación
I3.1=1 (TRL3-6)	Número de proyectos	Hay un proyecto asociado con la tecnología y ámbito de aplicación.
I3.2=1 (TRL3-6)	Rango TRL asociado	Hay un proyecto asociado a la tecnología y ámbito de aplicación objeto de estudio que se encuentra dentro del TRL objeto de estudio.
I3.3 = 0 (TRL7)	Número de iniciativas bajo definición “Market ready”	No hay iniciativas bajo este rango de clasificación asociadas a esta tecnología y ámbito de aplicación.
I3.4 = 0 (TRL5-7)	Número de iniciativas bajo definición “Tech ready”	No hay iniciativas bajo este rango de clasificación asociadas a esta tecnología y ámbito de aplicación.
I3.5=0 (TRL7)	Número de iniciativas bajo definición “Business ready”	No hay iniciativas bajo este rango de clasificación asociadas a esta tecnología y ámbito de aplicación.
I3.6=0 (TRL3-5)	Número de iniciativas bajo definición “Exploring”	No hay iniciativas bajo este rango de clasificación asociadas a esta tecnología y ámbito de aplicación.

#### 12.1.3.5 PASO 2.d. Búsqueda en BBDD de Módulo de Negocios

A partir de las palabras clave definidas en el PASO 1, se procede a realizar la búsqueda en este módulo de negocios. En esta búsqueda únicamente se utilizan palabras clave tecnológicas y para ello se adaptará, si fuera necesario, a las fuentes de datos a aplicar.

- Búsqueda de Regulación y/o estándares:** como ya se indicaba en la descripción de la operativa del módulo (apartado 7.3.2.4), este es un caso particular de estudio. Para ello, se estudian referentes del sector como es Boeing (uno de los principales fabricantes de aviones, principal destinatario de los composites) y de “EUCIA - *European Composites Industry Association*” (Asociación de la Industria Europea de Composites)—. La sintaxis de búsqueda y la fuente se muestra en la Tabla 176 y Tabla 177. Por un lado, se ve que Boeing publicó en 2003 una nota técnica donde habla de las consideraciones que deben tener sus proveedores a la hora de reciclar los composites, mencionando la incineración y vertido en tierras.

Tabla 176. Búsqueda en Módulo de negocios (Boeing) en Test f) (I)

<b>Sintaxis de búsqueda</b>	<i>Incineration composite recycling</i>
<b>Fuente</b>	Boeing: <a href="https://www.boeing.com/environmental/TechNotes/TechNotes2003-11.pdf">https://www.boeing.com/environmental/TechNotes/TechNotes2003-11.pdf</a>
<b>Resultados</b>	1 (Nota técnica)

Por otro lado, EUCIA presenta una serie de técnicas que se pueden usar para reciclar composites, donde recoge la de objeto de estudio. Se ha publicado entre 2011-2013.

Tabla 177. Búsqueda en Módulo de negocios (Boeing) en Test f) (II)

<b>Sintaxis de búsqueda</b>	<i>Incineration composite recycling</i>
<b>Fuente</b>	EUCIA: <a href="https://www.avk-tv.de/files/20130212_recycling_made_easy.pdf">https://www.avk-tv.de/files/20130212_recycling_made_easy.pdf</a>
<b>Resultados</b>	1 (Informe sobre reciclaje de composites)

- Búsqueda sobre movilización de inversión privada en torno a negocios basados o relacionados con tecnología:** en este caso, siguiendo las indicaciones de la descripción del funcionamiento de este módulo detalladas en el apartado 7.3.2.4, se realiza la búsqueda con la sintaxis e indicaciones detalladas en la Tabla 178. Comprobando los premios de las ediciones 2017 (la primera de ellas), atendiendo al criterio de búsqueda, no se encuentra ninguna empresa cotizada en el mercado alternativo para esta tecnología y ámbito de aplicación. Lo cual es lógico porque se supone una tecnología ya avanzada en el año 2016.

Tabla 178. Búsqueda en Módulo de negocios (Empresas cotizadas en bolsa) en Test f)

<b>Sintaxis de búsqueda</b>	Incineration composite recycling
<b>Fuente</b>	“European Small and mid-cap awards”: <a href="https://europeansmallandmidcapawards.eu/">https://europeansmallandmidcapawards.eu/</a>
<b>Resultados</b>	-

Ahora toda la información de las búsquedas anteriores se traduce en forma de indicadores del Módulo 3 y su valor asociado (Tabla 41) en función de los criterios de cada TRL (apartado 7.3.3). La Tabla 179 muestra los resultados de la búsqueda del Módulo 4 aplicando *keywords* tecnológicas y cómo dichos resultados se traducen en un valor para el indicador.

Tabla 179. Búsqueda del Módulo 4 para TRL5-7- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test f)

<b>Indicador y valor</b>	<b>Descripción</b>	<b>Explicación</b>
I4.1=1 (TRL5-7)	Número de reglamentos asociados / grupos de trabajo	Sí hay reglamentos y/o grupos de trabajo asociados.
I4.2=0 (TRL5-7)	Número de empresas tecnológicas cotizadas en bolsa (mercado alternativo)	No hay empresas asociadas a la tecnología y ámbito de aplicación objeto de estudio cotizadas en bolsa.

#### 12.1.3.6 PASO 2.e. Búsqueda en BBDD de Módulo de Noticias/Redes Sociales

A partir de las palabras clave definidas en el PASO 1, se procede a realizar la búsqueda en este módulo de noticias/redes sociales. En esta búsqueda únicamente se utilizan palabras clave tecnológicas con la sintaxis de búsqueda de la Tabla 180 y para el periodo de duración que

comprende desde los 2016 a 2017 dentro de la herramienta de búsqueda Google y filtrando por “Noticias”, detallado en el apartado 7.3.2.5.

Tabla 180. Búsqueda en Módulo de noticias en Test f)

<b>Sintaxis de búsqueda</b>	<i>composite recycling incineration product</i>
<b>Fuente</b>	Google: <a href="https://www.google.es/">https://www.google.es/</a> y filtrando por “Noticias”
<b>Resultados</b>	Amplia variedad de resultados relevantes.

La Figura 67 muestra los resultados devueltos para la tecnología (incineración como tecnología de reciclaje de materiales compuestos) en el ámbito seleccionado en el periodo de estudio (2016-2017). Tal y como se indicaba anteriormente, hay noticias sobre la incineración como tecnología de reciclaje de materiales compuestos en torno a 2016. Algunas de las noticias más relevantes de las que devuelve la búsqueda son las siguientes:

- Una de las noticias (Textile World, 2017) trata del reciclaje de material compuesto y de su interés creciente en la comunidad de materiales compuestos. Trata sobre la complejidad que requiere el reciclaje de composites reforzados con fibra, que son las aproximaciones más novedosas en cuanto a técnicas de generación de este tipo de compuestos, pero también las que suponen un reto mayor en cuanto a su reciclabilidad.
- Hay otra noticia sobre los proyectos LIFE de 2015 (European Commission, 2017), en particular el proyecto LIFE rPack2L que propone una solución para reciclar residuos plásticos multicapa, y revertir la situación actual asociada con la incineración y vertido. Para ello desarrollará un esquema integrado para recuperar PVC valiosos y PE (tereftalato de polietileno) para reutilizarlos como materia prima de empaquetado o productos de base plástica, reciclados. Si bien trata de incineración y vertido, no parece exactamente acotado a materiales compuestos con finalidad aeroespacial.

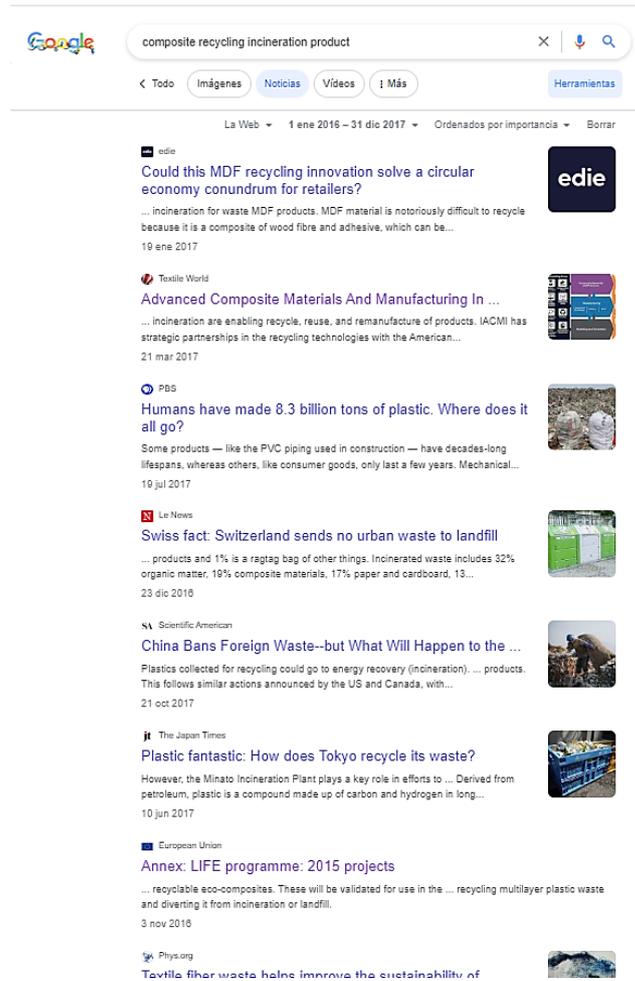


Figura 67. Resultados devueltos por Google (filtro de Noticias) para la búsqueda en Test f)

Ahora toda la información de las búsquedas anteriores se traduce en forma de indicadores del Módulo 5 y su valor asociado (Tabla 45) en función de los criterios de cada TRL (apartado 7.3.3). La Tabla 181 muestra los resultados de la búsqueda del Módulo 5 aplicando *keywords* tecnológicas y cómo dichos resultados se traducen en un valor para el indicador.

Tabla 181. Búsqueda del Módulo 5 para TRL4- Traducción de los resultados a los valores de los indicadores para Test f)

Indicador y valor	Descripción	Explicación
I5.1=1 (TRL4)	Número de publicaciones y/o noticias	Hay noticias y/o publicaciones asociadas al proyecto para esta tecnología y aplicación en el periodo de estudio.

### 12.1.3.7 PASO 3. Cálculo del TRL

En este último paso de la metodología, se procede a realizar el cálculo del TRL y comprobar si la metodología devuelve el mismo TRL que en el caso de estudio, es decir, se valida la precisión y robustez de la metodología seleccionada. Posteriormente, se realiza un análisis de los resultados.

### **Test f). Validación de la metodología para TRL7-TRL9**

A continuación, se calculan los distintos TRL para validar si la metodología es capaz de determinar el TRL de este caso de aplicación a partir de los datos anteriores. Por lo tanto, las preguntas a realizarse son:

- **¿Cumple los criterios de TRL1?** Sí porque se cumple el único criterio establecido (A) en el Módulo académico. Por lo tanto, se considera que la tecnología ha alcanzado, al menos, el TRL1. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 182, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 169.

Tabla 182. Resultados del Test f) para el cálculo de TRL1

Cumplimiento de TRL1 (A)			Resultado Test f) (TRL1)	
Criterio	Módulo	Condición	Resultado	
A	1. Módulo académico ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I1.1 = 1	I1.1=1 ✓	Sí, pues hay más de un artículo sobre la temática.
<b>Conclusión:</b> A se cumple y por tanto se cumplen los criterios de TRL1.				

- **¿Cumple los criterios de TRL2?** Sí porque se cumple el único criterio establecido (A) en el Módulo académico. Por lo tanto, se considera que la tecnología ha alcanzado, al menos, el TRL2. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 183 cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 169.

Tabla 183. Resultados del Test f) para el cálculo de TRL2

Cumplimiento de TRL2 (A)			Resultado Test f) (TRL2)	
Criterio	Módulo	Condición	Resultado	
A	1. Módulo académico ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I1.1=1 y I1.2=1	I1.1=1 y I1.2=1 ✓	Sí pues hay 3 artículos (al menos 1) sobre la temática y uno de ellos ha sido publicado al menos una vez al año siguiente de su publicación.
<b>Conclusión:</b> A se cumple y por tanto se cumplen los criterios de TRL2.				

- **¿Cumple los criterios de TRL3?** Sí porque A (asociado a Módulo 1) se cumple, y con eso es suficiente para afirmar que se cumplen los criterios de TRL3. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 184, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 170.

Tabla 184. Resultados del Test f) para el cálculo de TRL3

Cumplimiento de TRL3 (A y/o B*) *B se cumple cuando se da b0 y si se da b1 y/o b2 y/o b3			Resultado Test f) (TRL3)	
Criterio	Módulo	Condición	Resultado	
A	1. Módulo académico ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas y de aplicabilidad.	I1.1>1 y I1.2=1	I1.1>1 y I1.2=1 ✓	Sí porque hay al menos dos artículos (más de uno) que cumplan con los criterios de <i>keywords</i> tecnológicas y no tecnológicas al realizar la búsqueda. Además, al menos uno de ellos ha sido citado por un autor en los siguientes años.
<b>Conclusión:</b> A se cumple ya que hay más de un artículo en la materia en el año objeto de estudio, aplicando en la búsqueda <i>keywords</i> tecnológicas y no tecnológicas y, además, al menos uno de ellos ha sido citado por un autor en los años siguientes. Por lo tanto, se cumplen los criterios de TRL3.				

- **¿Cumple los criterios de TRL4?** Sí porque se cumplen tres (A, B y C) de las cuatro premisas principales (A, B, C o D). No ha sido necesario calcular el criterio de desbloqueo E. Por lo que se puede concluir que esta tecnología cumple con los criterios de TRL4. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 185, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 170, Tabla 172 y Tabla 175.

Tabla 185. Resultados del Test f) para el cálculo de TRL4

Cumplimiento de TRL4 (al menos dos de A, B, C o D; E sólo para desbloqueo)			Resultado Test f) (TRL4)	
Criterio	Módulo	Condición	Resultado	
A	1. Módulo académico ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas y de aplicabilidad.	I1.1>1 y I1.2=1	I1.1>1 y I1.2=1 ✓	Sí porque hay al menos dos artículos (más de uno) que cumplan con los criterios de <i>keywords</i> tecnológicas y no tecnológicas al realizar la búsqueda. Además, al menos uno de ellos ha sido citado por un autor en los siguientes años.
B	2. Módulo de patentes ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I2.1=1	I2.1=1 ✓	Sí porque hay al menos una patente/solicitud de patente en la tecnología y ámbito de aplicación en el periodo objeto de estudio.
C	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con	I3.1=1 y I3.2=1	I3.1=1 y I3.2=1 ✓	Sí por lo indicado para TRL3, al haber un proyecto tecnológico

Cumplimiento de TRL4 (al menos dos de A, B, C o D; E sólo para desbloqueo)			Resultado Test f) (TRL4)	
Criterio	Módulo	Condición	Resultado	
	<i>keywords</i> tecnológicas			asociado en el mismo rango de TRL.
<b>D</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.6=1	I3.6=0 ✘	No porque no hay ninguna innovación asociada bajo la clasificación de “ <i>Exploring</i> ”.
<b>Conclusión:</b> cumple tres (A, B y C) de las cuatro premisas principales (A, B, C o D), por lo que se puede concluir que esta tecnología cumple con los criterios de TRL4. Por tanto, la tecnología se encuentra en TRL4 en 2016.				

- **¿Cumple los criterios de TRL5?** Sí porque se cumplen dos (A y B) de las 4 premisas o criterios principales (A, B, C y D) y, por tanto, se puede confirmar que se encuentra en TRL5. Por lo tanto, no ha sido necesario calcular el criterio de desbloqueo E. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 186, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 172 y Tabla 175.

Tabla 186. Resultados del Test f) para el cálculo de TRL5

Cumplimiento de TRL5 (al menos dos de A, B, C o D; E sólo para desbloqueo) *E se cumple cuando se da e1 y/o e2			Resultado Test f) (TRL5)	
Criterio	Módulo(s)	Condición	Resultados	
<b>A</b>	2. Módulo de patentes ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I2.1=1	I2.1=1 ✓	Sí porque hay al menos una patente/solicitud de patente en la tecnología y ámbito de aplicación en el periodo objeto de estudio.
<b>B</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.1=1 y I3.2=1	I3.1=1 y I3.2=1 ✓	Sí por lo indicado para TRL3, al haber un proyecto tecnológico asociado en el mismo rango de TRL.
<b>C</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.4=1	I3.4=0 ✘	No porque no hay ninguna innovación asociada bajo la clasificación de “ <i>Tech ready</i> ”.
<b>D</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.6=1	I3.6=0 ✘	No porque no hay ninguna innovación asociada bajo la clasificación de “ <i>Exploring</i> ”.
<b>Conclusión:</b> cumple dos (A y B) de las cuatro premisas principales (A, B, C y D), por lo que se puede concluir que esta tecnología cumple con los criterios de TRL5. Por tanto, la tecnología se encuentra en TRL5 en 2016.				

- **¿Cumple los criterios de TRL6?** Sí porque se cumplen cuatro (A, B, D y E) de las cinco premisas principales (A, B, C, D o E), por lo que se puede confirmar que esta tecnología se encuentra en TRL6 en 2016. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 187, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 172, Tabla 175, Tabla 179 y Tabla 181.

Tabla 187. Resultados del Test f) para el cálculo de TRL6

Cumplimiento de TRL6 (al menos dos de A, B, C, D o E)			Resultado Test f) (TRL6)	
Criterio	Resultados	Condición	Resultados	
<b>A</b>	2. Módulo de patentes ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I2.1=1	I2.1=1 ✓	Sí porque hay al menos una patente/solicitud de patente en la tecnología y ámbito de aplicación en el periodo objeto de estudio.
<b>B</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.1=1 y I3.2=1	I3.1=1 y I3.2=1 ✓	Sí por lo indicado para TRL3, al haber un proyecto tecnológico asociado en el mismo rango de TRL.
<b>C</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.4=1	I3.4=0 ✗	No porque no hay ninguna innovación asociada bajo la clasificación de “ <i>Tech ready</i> ”.
<b>D</b>	4. Módulo de Negocios ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I4.1=1 y/o I4.2=1	I4.1=1 y/o I4.2=0 ✓	Sí porque hay reglamentos y/o grupos de trabajo asociados, si bien no hay empresas asociadas a la tecnología y ámbito de aplicación objeto de estudio cotizadas en bolsa.
<b>E</b>	5. Módulo de Noticias/Redes Sociales ( <i>cálculo exclusivamente para desbloqueo</i> )	I5.1=1	I5.1=1 ✓	Sí porque hay noticias y/o publicaciones asociadas al proyecto para esta tecnología y aplicación en el periodo de estudio.
<b>Conclusión:</b> cumple cuatro (A, B, D y E) de las cinco premisas principales (A, B, C, D y E), por lo que se puede concluir que esta tecnología cumple con los criterios de TRL6. Por tanto, la tecnología se encuentra en TRL6 en 2016.				

- **¿Cumple los criterios de TRL7?** Sí porque se cumplen cuatro (A, B, F y G) de las siete premisas principales (A, B, C, D, E, F y G), por lo que se puede confirmar que esta tecnología se encuentra en TRL7 en 2016. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 188, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 172, Tabla 175, Tabla 179 y Tabla 181.

Tabla 188. Resultados del Test f) para el cálculo de TRL7

Cumplimiento de TRL7 (al menos cuatro de A, B, C, D, E, F o G)			Resultado Test f) (TRL7)	
Criterio	Resultados	Condición	Resultados	
<b>A</b>	2. Módulo de patentes ( <i>cálculo estándar</i> ) con keywords tecnológicas	I2.1=1	I2.1=1 ✓	Sí porque hay al menos una patente/solicitud de patente en la tecnología y ámbito de aplicación en el periodo objeto de estudio.
<b>B</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con keywords tecnológicas	I3.1=1 y I3.2=1	I3.1=1 y I3.2=1 ✓	Sí por lo indicado para TRL3, al haber un proyecto tecnológico asociado en el mismo rango de TRL.
<b>C</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con keywords tecnológicas	I3.3=1	I3.3=0 ✗	No porque no hay ninguna innovación asociada bajo la clasificación de “ <i>Market ready</i> ”.
<b>D</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con keywords tecnológicas	I3.4=1	I3.4=0 ✗	No porque no hay ninguna innovación asociada bajo la clasificación de “ <i>Tech ready</i> ”.
<b>E</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con keywords tecnológicas	I3.5=1	I3.5=0 ✗	No porque no hay ninguna innovación asociada bajo la clasificación de “ <i>Business ready</i> ”.
<b>F</b>	4. Módulo de Negocios ( <i>cálculo estándar</i> ) con keywords tecnológicas	I4.1=1 y/o I4.2=1	I4.1=1 y/o I4.2=0 ✓	Sí porque hay reglamentos y/o grupos de trabajo asociados, si bien no hay empresas asociadas a la tecnología y ámbito de aplicación objeto de estudio cotizadas en bolsa.
<b>G</b>	5. Módulo de Noticias/Redes Sociales ( <i>cálculo estándar</i> ) con keywords tecnológicas	I5.1=1	I5.1=1 ✓	Sí porque hay noticias y/o publicaciones asociadas al proyecto para esta tecnología y aplicación en el periodo de estudio.
<b>Conclusión:</b> cumple cuatro (A, B, F y G) de las siete premisas principales (A, B, C, D, E, F y G), por lo que se puede concluir que esta tecnología cumple con los criterios de TRL7. Por tanto, la tecnología se encuentra en TRL7 en 2016.				

- **¿Cumple los criterios de TRL8?** Sí porque se cumplen dos (C y D) de las dos premisas principales (A, B, C y D), por lo que se puede confirmar que esta tecnología se encuentra en TRL8 en 2016. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 189, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 175, Tabla 179 y Tabla 181.

Tabla 189. Resultados del Test f) para el cálculo de TRL8

Cumplimiento de TRL8 (al menos dos de A, B, C o D)			Resultado Test f) (TRL8)	
Criterio	Módulo(s)	Condición	Resultados	
<b>A</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.3=1	I3.3=0 ✘	No porque no hay ninguna innovación asociada bajo la clasificación de “ <i>Market ready</i> ”.
<b>B</b>	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.5=1	I3.5=0 ✘	No porque no hay ninguna innovación asociada bajo la clasificación de “ <i>Business ready</i> ”.
<b>C</b>	4. Módulo de Negocios ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I4.1=1 y/o I4.2=1	I4.1=1 y/o I4.2=0 ✔	Sí porque hay reglamentos y/o grupos de trabajo asociados, si bien no hay empresas asociadas a la tecnología y ámbito de aplicación objeto de estudio cotizadas en bolsa.
<b>D</b>	5. Módulo de Noticias/Redes Sociales ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I5.1=1	I5.1=1 ✔	Sí porque hay noticias y/o publicaciones asociadas al proyecto para esta tecnología y aplicación en el periodo de estudio.
<b>Conclusión:</b> cumple dos (C y D) de las dos premisas principales (A, B, C y D), por lo que se puede concluir que esta tecnología cumple con los criterios de TRL8. Por tanto, la tecnología se encuentra en TRL8 en 2016.				

- **¿Cumple los criterios de TRL9?** Sí, se cumplen dos (B y C) de las tres premisas principales (A, B y C), por lo que se puede concluir que esta tecnología cumple con los criterios de TRL9. Por tanto, la tecnología se encuentra en TRL9 en 2016 y la metodología ha demostrado que es capaz de determinar el TRL y coincide con el encontrado en la bibliografía. La justificación ampliada se encuentra en la Tabla 190, cuyos valores de indicadores son los explicados en la Tabla 175, Tabla 179 y Tabla 181.

Tabla 190. Resultados del Test f) para el cálculo de TRL9

Cumplimiento de TRL9 (al menos dos de A, B o C)			Resultado Test f) (TRL9)	
Criterio	Módulo(s)	Condición	Resultados	
A	3. Módulo de proyectos ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I3.3=1	I3.3=0 ✘	No porque no hay ninguna innovación asociada bajo la clasificación de “Market ready”.
B	4. Módulo de Negocios ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas y <i>keywords</i> de aplicabilidad	I4.1=1 y/o I4.2=1	I4.1=1 y/o I4.2=0 ✔	Sí porque hay reglamentos y/o grupos de trabajo asociados, si bien no hay empresas asociadas a la tecnología y ámbito de aplicación objeto de estudio cotizadas en bolsa.
C	5. Módulo de Noticias/Redes Sociales ( <i>cálculo estándar</i> ) con <i>keywords</i> tecnológicas	I5.1=1	I5.1=1 ✔	Sí porque hay noticias y/o publicaciones asociadas al proyecto para esta tecnología y aplicación en el periodo de estudio.
<b>Conclusión:</b> cumple dos (B y C) de las tres premisas principales (A, B y C), por lo que se puede concluir que esta tecnología cumple con los criterios de TRL9. Por tanto, la tecnología se encuentra en TRL9 en 2016 y la metodología ha demostrado que es capaz de determinar el TRL y coincide con el encontrado en la bibliografía.				

### Test f). Análisis de la robustez de la metodología más allá de TRL7-TRL9

En este caso la comprobación no tiene lugar ya que el objetivo era comprobar el TRL9 (extremo superior de la escala).

### Test f). Conclusiones sobre los resultados de la validación

Tras haber realizado la prueba de validación de Test f), y tal y como se deduce de las conclusiones detalladas en la Tabla 191, se puede concluir que la metodología ha demostrado que puede calcular el TRL para la tecnología y campo de aplicación seleccionado para un año dado. En este caso no aplica probar el “caso frontera” ya que TRL9 es el extremo superior de la escala. En cualquier caso, esta prueba permite verificar que la metodología demuestra el cambio de paradigma planteado: para llegar a TRL9 se debe haber pasado por los niveles anteriores, es decir que se cumplen las características de los TRLs anteriores.

Tabla 191. Test f) Conclusiones de los resultados de validación de la metodología

	Test f) -bibliografía	Test f) -metodología	Conclusión
Año	2016	2016	✔
Rango de TRL	TRL9 (TRL7-9)	TRL9 (TRL7-9)	Cumple.

<b>Tecnología / aplicación</b>	Incineración y enterramiento para reciclaje de composite o materiales compuestos	Incineración y enterramiento para reciclaje de composite o materiales compuestos	
--------------------------------	--	--	--

## 12.2 ANEXO 1. Listado de las principales herramientas de Inteligencia Artificial (IA)

A continuación, se presenta una lista resumida de algunas de las herramientas de Inteligencia Artificial existentes en la actualidad, creadas con la información encontrada en el artículo (<https://ediscoverytoday.com/2023/07/21/120-mind-blowing-ai-tools-artificial-intelligence-trends/>) junto con fuentes de búsquedas propias, a modo de ejemplo. Según su aplicación, dichas herramientas se pueden clasificar en distintos tipos: 1. Chatbot, 2. Escritura, 3. Productividad, 4. Investigación científica, 5. Vídeo, 6. Diseño y 7. Marketing. Por el alcance y estudio de este trabajo de investigación, el estudio se limita únicamente a los 4 primeros tipos.

Tabla 192. Listado de las principales herramientas de IA por tipo (1. Chatbot, 2. Escritura, 3. Productividad y 4. Investigación científica)

	Nº	Nombre	Descripción	Gratuita	Link
1. Chatbot	1.1	Perplexity.ai	IA generativa que utiliza ChatGPT e incluye funciones propias de buscador. Se autodefine en sus FAQs como “AI research assistant” y además proporciona fuentes de internet utilizadas para los resultados.	Sí (incluso sin registro)	<a href="https://www.perplexity.ai/">https://www.perplexity.ai/</a>
	1.2	ChatGPT+	Chatbot de inteligencia artificial desarrollado en 2022 por OpenAI que se especializa en el diálogo.	Sí (con registro)	<a href="https://chat.openai.com/auth/login">https://chat.openai.com/auth/login</a>
	1.3	Google Bard	Chatbot de inteligencia artificial desarrollado por Google en 2023 y desarrollado para hacer frente al auge de ChatGPT de OpenAI.	Sí (con registro)	<a href="https://bard.google.com/?hl=es">https://bard.google.com/?hl=es</a>
	1.4	Jasper	Chatbot de IA autodefinido como “AI copywriter assistant”. Se autopromocionan como más específico y menos genérico que ChatGPT+.	Sí* (sólo una prueba)	<a href="https://www.jasper.ai">https://www.jasper.ai</a>
	1.5	Otras	Por ejemplo: ChatSonic; Poe by Quora; C.ai; YouChat; HuggingChat; Bing AI; ChatSpot; Claude; Kommunicate.		
2. Escri	2.1	Diib	Ayuda a posicionar el SEO de una web de forma automática.	Sí (con registro)	<a href="https://diib.com/">https://diib.com/</a>

	Nº	Nombre	Descripción	Gratuita	Link
	2.2	CanIRank	Software SEO combinado con IA para posicionar webs.	Sí (con registro)	<a href="https://www.canirank.com/">https://www.canirank.com/</a>
	2.3	KeywordTool	Herramienta de búsqueda de palabras clave potenciadas por medio de IA para que las web se clasifican de forma rápida y alta.	Sí (con registro)	<a href="https://keywordtool.io/es">https://keywordtool.io/es</a>
	2.4	Jasper	Copiloto basado en IA para que los equipos de marketing de las empresa tengan mejores resultados y más rápido.	Sí (con registro)	<a href="https://www.jasper.ai/">https://www.jasper.ai/</a>
	2.5	ProRankTracker	Herramienta SEO para un seguimiento del posicionamiento diario así como análisis e informes.	Sí (con registro)	<a href="https://proranktracker.com/">https://proranktracker.com/</a>
	2.6	Ink	Asistente de contenido basado en IA para marketing y optimización de SEO.	Sí (con registro)	<a href="https://inkforall.com/">https://inkforall.com/</a>
	2.7	SEO.ai	Creador y optimizador de contenido con una IA entrenada para SEO.	Sí (con registro, 7 días)	<a href="https://seo.ai/">https://seo.ai/</a>
	2.8	Surfer SEO	Mejora la estrategia SEO basándose en IA, buscando las mejores keywords, etc.	Sí (con registro)	<a href="https://surferseo.com/">https://surferseo.com/</a>
	2.9	Scalenut	Plataforma de contenido de marketing y SEO basada en IA.	No	<a href="https://www.scalenut.com/">https://www.scalenut.com/</a>
	2.10	Otras	Grammarly; Tomme.app; Tytr; Copy.ai; Anyword; Wordtune; Simplified; Text Metrics; Prowritinggaid; ChatGPT; Writecream; QuillBot; DeepL; Writesonic; Smart Copy; WordAI; ContentForge; Hypotenuse AI.		
<b>3. Productividad</b>	3.1	Hints AI	Es la mejor manera de usar un CRM – <i>Customer Relationship Management</i> .	Sí (con registro)	<a href="https://hints.so/">https://hints.so/</a>
	3.2	Magical AI	Automatización de tareas desde un único lugar para aumentar la productividad.	Sí (con registro)	<a href="https://www.getmagical.com/ai">https://www.getmagical.com/ai</a>
	3.3	Quest AI	Pensado para desarrolladores, automatiza partes tediosas de construir una app.	No	<a href="https://www.quest.ai/">https://www.quest.ai/</a>
	3.4	AlanAI	Por medio de la IA unifica todos los datos de la empresa (documentos estáticos	Sí (con registro)	<a href="https://www.alan.app/">https://www.alan.app/</a>

	Nº	Nombre	Descripción	Gratuita	Link
			y fuentes dinámicas como Apps, IoT o <i>Data Lakes</i> ).		
	3.5	Noty.ai	Por medio de IA, transforma cualquier reunión en una lista de “temas pendientes” para mantenerse productivo.	Sí (con registro)	<a href="https://noty.ai/">https://noty.ai/</a>
	3.6	Futurespedia	Sitio gratuito donde encontrar las mejores herramientas de IA y software para hacer el trabajo más eficiente y productivo.	Sí (con registro)	<a href="https://www.futurepedia.io/">https://www.futurepedia.io/</a>
	3.7	SheetAi.app	Indicar a la IA que se quiere obtener y ver en cómo e hace automáticamente en las hojas de cálculo de google.	Sí (con registro)	<a href="https://www.sheetai.app/">https://www.sheetai.app/</a>
	3.8	Beautiful ai	Ccrear presentaciones basadas en IA generativa, más rápidamente.	No	<a href="https://www.beautiful.ai/">https://www.beautiful.ai/</a>
	3.9	Otras	ChatGPT for Google sheets, Support Board; Xembly, Taskade; Nanonet; Genei; AI intern; Fireflies Ai; WhatThe Ai; Fibert AI; Mayday; Rewind; Vowel; Audioread; Gitmind AI; CoGram.		
<b>4. Artículos científicos</b>	4.1	Perplexity.ai	Ampliando la información reflejada en la fila 1.1, y según otros <a href="#">autores</a> , otros aspectos que hacen de esta herramienta adecuada para estos fines, es que además de proporcionar las fuentes de internet utilizadas, dispone de un modo “Focus” para centrar los resultados en fuentes académicas, permite analizar documentos PDF subidos por el propio usuario, permite crear enlaces de cada respuesta y facilitar la difusión de los resultados además de poder crear colecciones de resultados con el menú “Library”.	Sí	<a href="https://www.perplexity.ai/">https://www.perplexity.ai/</a>

## 12.3 ANEXO 2. Listado de buscadores y fuentes de información gratuitas

En este anexo se presenta un listado de posibles buscadores y fuentes de información gratuitas o de acceso abierto, que se hicieron como parte del análisis preliminar de fuentes realizado como paso previo del desarrollo de la metodología.

Tabla 193. Fuentes de datos gratuitas para crear las bases de datos de los módulos (Fuente: elaboración propia).

Módulo	Indicador	Fuente de datos gratuita / open	Comentarios	Enlace
1. <i>Scholarly module</i> o Módulo Académico	Artículos científicos, citas y/o autores	<i>Google Scholar</i>	Google Académico ( <i>Google Scholar</i> ) es un motor de búsqueda de Google enfocado y especializado en la búsqueda de contenido y bibliografía científico-académica (artículos científicos, principalmente).	<a href="https://scholar.google.es/">https://scholar.google.es/</a>
		RIA (Asturias)	Repositorio Institucional de Asturias (RIA). Acceso abierto al conocimiento. RIA es el Repositorio Institucional de Asturias creado para albergar y gestionar documentación digital en acceso abierto. El RIA recolecta, archiva y difunde la producción científica generada en el Principado de Asturias.	<a href="https://ria.asturias.es/RIA/">https://ria.asturias.es/RIA/</a>
		<i>European Open Repositories - Fraunhofer</i>	Fraunhofer-Publica es una plataforma pública que lleva documentando los resultados de investigación de Fraunhofer desde hace 30 años, permitiendo además difundirlos entre la comunidad científica internacional. Además se transfiere el conocimiento y know-how a la industria y a la sociedad.	<a href="https://publica.fraunhofer.de/explore/researchoutputs">https://publica.fraunhofer.de/explore/researchoutputs</a>
		<i>European Open Repositories - UNIOVI</i>	Repositorio documental de acceso abierto de la Universidad de Oviedo.	<a href="https://digibuo.uniovi.es/dspace/">https://digibuo.uniovi.es/dspace/</a>
		<i>Publish or Perish</i>	Buscador de artículos científicos usando diversas fuentes de datos gratuitas como <i>Google Scholar</i> , <i>OpenAlex</i> o <i>Crossref</i> .	<a href="https://harzing.com/resources/publish-or-perish">https://harzing.com/resources/publish-or-perish</a>
2. <i>Patents module</i> o Módulo de patentes	Patentes	Espacenet (EPO).	Servicio en línea de búsqueda de patentes y solicitudes de patentes, desarrollado por la Agencia Europea de Patentes (EPO). Incluye traducciones automáticas de algunas patentes para ciertos idiomas.	<a href="https://worldwide.espacenet.com/patent/search">https://worldwide.espacenet.com/patent/search</a>
		<i>Patentscope</i> (WIPO).	Servicio en línea de búsqueda de patentes tanto dentro de la base de datos de las PCTs (por sus siglas del inglés <i>Patent Cooperation Treaty</i> ) como de la base de datos de patentes mundiales.	<a href="https://patentscope.wipo.int/search/en/search.jsf">https://patentscope.wipo.int/search/en/search.jsf</a>

Módulo	Indicador	Fuente de datos gratuita / open	Comentarios	Enlace
		<i>Patent Public Search (USPTO).</i>	Servicio en línea de búsqueda de patentes en EE. UU..	<a href="https://ppubs.uspto.gov/pubwebapp/">https://ppubs.uspto.gov/pubwebapp/</a>
		<i>Japan Patent Office (JPO)</i>	Servicio en línea de búsqueda de patentes en Japón.	<a href="https://www.j-platpat.inpit.go.jp/">https://www.j-platpat.inpit.go.jp/</a>
		<i>Korean Intellectual Property Rights Information Service (KIPRIS)</i>	Servicio en línea de búsqueda de patentes en Corea del Sur.	<a href="http://eng.kipris.or.kr/enghome/main.jsp">http://eng.kipris.or.kr/enghome/main.jsp</a>
		<i>China National Intellectual Property Administration (CNIPA)</i>	Servicio en línea de búsqueda de patentes en China. Incluye también traducción automática de las patentes chinas.	<a href="https://pss-system.cponline.cnipa.gov.cn/conventionalSearchEn">https://pss-system.cponline.cnipa.gov.cn/conventionalSearchEn</a>
		Otras oficinas*	Otras oficinas internacionales de Propiedad Intelectual que proporcionan información que se puede buscar en bases de datos que incluyen países como Australia, Canadá, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Gran Bretaña, India, Israel, Países Bajos, Noruega, Suecia, Suiza y Taiwán.	<a href="https://www.uspto.gov/patents/search">https://www.uspto.gov/patents/search</a>
		<i>Google patents</i>	Motor de búsqueda de Google que indexa patentes y solicitudes de patentes de 17 oficinas: USPTO, EPO, CNIPA; JPO, KIPO, OMPU, DPMA, etc.	<a href="https://patents.google.com/advanced">https://patents.google.com/advanced</a>
3. <i>Projects module</i> o Módulo de proyectos	Proyectos	<i>EC Quick Tools (Horizon Dashboard)</i>	Cuadro de mando que presenta datos sobre los "grant agreements" firmados en los programas de I+D+i europeos. Es editable y se pueden hacer filtros propios.	<a href="https://webgate.ec.europa.eu/dashboard/sense/app/98dcd94d-ca66-4ce0-865b-48ffe7f19f35/sheet/7a2acdb7-ee97-4161-affe-302abc4888bb/state/analysis">https://webgate.ec.europa.eu/dashboard/sense/app/98dcd94d-ca66-4ce0-865b-48ffe7f19f35/sheet/7a2acdb7-ee97-4161-affe-302abc4888bb/state/analysis</a>
		CORDIS	Proporciona información de todas las actividades de I+D+i apoyadas por la Comisión Europea, incluyendo programas como <i>Horizon Europe</i> , H2020 o anteriores, proyectos, resultados, publicaciones, etc.	<a href="https://cordis.europa.eu/">https://cordis.europa.eu/</a>
		<i>Innovation Radar</i>	Iniciativa de la Comisión Europea para identificar innovaciones e innovadores de alto potencial en proyectos de investigación e innovación financiados por la UE (incluye programas como <i>Horizon Europe</i> , <i>Horizon 2020</i> , <i>LIFE Programme</i> , <i>Framework Programme 7 (FP7)</i> o <i>the Competitiveness and Innovation Programme (CIP)</i> ).	<a href="https://www.innoradar.eu/">https://www.innoradar.eu/</a>
4. <i>Business</i>	Están dadas /	CEN CENELEC	CEN ( <i>European Committee for Standardization</i> ) es uno de los 3 organismos (junto con CENELEC y EBSI) que han sido reconocidos oficialmente por la UE ( <i>European Union</i> ) y EFTA	Páginas de referencia de las entidades indicadas: <a href="https://www.cencenelec.eu/">https://www.cencenelec.eu/</a>

Módulo	Indicador	Fuente de datos gratuita / open	Comentarios	Enlace
			( <i>European Free Trade Association</i> ) como responsables del desarrollo y definición de los estándares voluntarios en Europa. CENELEC ( <i>European Electrotechnical Committee for Standardization</i> ).	<a href="https://www.cencenelec.eu/areas-of-work/cenelec-sectors/digital-society-cenelec/emerging-technologies/">https://www.cencenelec.eu/areas-of-work/cenelec-sectors/digital-society-cenelec/emerging-technologies/</a> <a href="https://standards.cencenelec.eu/dyn/www/f?p=205:7:0:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:2702172.25&amp;cs=16E2ADC46E2536C73D74C407A6FE4B3FD">https://standards.cencenelec.eu/dyn/www/f?p=205:7:0:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:2702172.25&amp;cs=16E2ADC46E2536C73D74C407A6FE4B3FD</a>
		ETSI	ETSI ( <i>European Telecommunications Standards Institute</i> ) organización relacionada con los estándares globales aplicables para sistemas, aplicaciones y servicios basados en TIC. Centrados también en tecnologías emergentes y en todos los sectores de la industria y a sociedad.	<a href="https://www.etsi.org/">https://www.etsi.org/</a>
		IAEA	Estándares en el ámbito nuclear.	<a href="https://www.iaea.org/resources/safety-standards/draft-standards">https://www.iaea.org/resources/safety-standards/draft-standards</a>
		Estándares / Regulaciones.	Estándares y regulación en el sector aeroespacial, desde EUCIA ( <i>The European Composites Industry Association</i> ) hasta un documento técnico para proveedores de uno de los principales fabricantes de aviones (Boeing).	Nota técnica para proveedores de Boeing, de 2003, donde habla de la incineración y vertedero de composites en esta industria: <a href="https://www.boeingsuppliers.com/environmental/TechNotes/TechNotes2003-11.pdf">https://www.boeingsuppliers.com/environmental/TechNotes/TechNotes2003-11.pdf</a> . EUCIA - <i>The European Composites Industry Association</i> , documento sobre regulaciones para aplicar composites y su reciclaje en el sector para el periodo 2011-2013: <a href="https://www.avk-tv.de/files/20130212_recycling_made_easy.pdf">https://www.avk-tv.de/files/20130212_recycling_made_easy.pdf</a> .
		Inversión	Mercado alternativo europeo y premios relacionados con PYMEs tecnológicas asociadas con estos premios.	La información de este mercado a nivel europeo está aquí: <a href="https://single-market-economy.ec.europa.eu/access-finance/policy-areas/growth-stock-markets_en">https://single-market-economy.ec.europa.eu/access-finance/policy-areas/growth-stock-markets_en</a> . Desde Europa también promueven una serie de premios, disponibles aquí: <a href="https://europeansmallandmidcapawards.eu/2017-edition">https://europeansmallandmidcapawards.eu/2017-edition</a> .
		Capital semilla	Información sobre las tendencias tecnológicas relacionadas con el capital semilla.	Información sobre capital semilla a nivel nacional: <a href="https://www.bbva.com/es/innovacion/que-es-la-fase-pre-seed-o-presemilla-de-una-startup/">https://www.bbva.com/es/innovacion/que-es-la-fase-pre-seed-o-presemilla-de-una-startup/</a> .

Módulo	Indicador	Fuente de datos gratuita / open	Comentarios	Enlace
				También existe AEBAN (Asociación española de <i>Business Angels</i> ) y su publicación accesible más reciente es del 2022 para no asociados ( <a href="https://media.iese.edu/research/pdfs/76039">https://media.iese.edu/research/pdfs/76039</a> ). Alguna otra información disponible sin ser asociado es la de sus premios ( <a href="https://www.aeban.es/premios-aeban/">https://www.aeban.es/premios-aeban/</a> ). La <i>Asociación Española de Startup</i> ofrece un mapa de incubadoras en España ( <a href="https://asociacionstartups.es/primer-mapa-incubadoras-aceleradoras-espana/">https://asociacionstartups.es/primer-mapa-incubadoras-aceleradoras-espana/</a> ).
5.News/Social media module o Módulo de noticias y redes	Publicaciones / noticias	Twitter	Red social de microblogging.	<a href="https://twitter.com">https://twitter.com</a>
		LinkedIn	Red social profesional, orientada al uso empresarial, a los negocios y al empleo.	<a href="https://es.linkedin.com/">https://es.linkedin.com/</a>
		TikTok	Red social para compartir videos cortos y en formato vertical	<a href="https://www.tiktok.com/es/">https://www.tiktok.com/es/</a>
		Google News	Agregador y buscador de noticias automatizado que rastrea de forma constante la información de los principales medios de comunicación en línea.	<a href="https://news.google.com/">https://news.google.com/</a>