

DEL AULA AL MERCADO: EL TRABAJO FIN DE ESTUDIOS COMO PROYECTO DE EMPRENDIMIENTO

Alba Correal-Olmo, alba.correal@uma.es, Universidad de Málaga
Carlos Javier de las Heras-Rosas, chr@uma.es, Universidad de Málaga

RESUMEN: Los Trabajos Fin de Estudios (TFE) representan una oportunidad estratégica para promover la cultura emprendedora en la formación en ingeniería, aunque su potencial como instrumento de innovación aplicada sigue siendo limitado. Este estudio presenta una metodología orientada a transformar los TFE en proyectos con proyección emprendedora, integrando los marcos del Design Thinking y los niveles de madurez tecnológica (TRL). La propuesta se fundamenta en una revisión bibliográfica y en el análisis de casos de TFE que evolucionaron hacia iniciativas empresariales, validando la coherencia entre las fases metodológicas y la trayectoria de los proyectos analizados. Los resultados evidencian la utilidad del enfoque para estructurar el desarrollo técnico, creativo y estratégico, al tiempo que señalan carencias en la tutoría empresarial y en los procesos de validación de mercado. En conjunto, el estudio redefine el TFE como una plataforma para la innovación, la transferencia de conocimiento y la implicación social de la universidad.

PALABRAS CLAVE: Design Thinking, Technology Readiness Level (TRL), Metodología didáctica, emprendimiento

KEYWORDS: Design Thinking, Technology Readiness Level (TRL), Teaching methodology, entrepreneurship

1. INTRODUCCIÓN

En el marco del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), el Trabajo Final de Estudios (TFE) constituye un requisito esencial para la obtención del título universitario. Este ejercicio académico busca integrar y demostrar las competencias adquiridas mediante un proyecto aplicado, autónomo y supervisado. Sin embargo, a pesar de su potencial formativo, el TFE suele mantenerse como una tarea procedimental, desconectada de los retos profesionales y empresariales a los que se enfrentarán los futuros ingenieros (Manjón y López, 2008).

Diversas tendencias en innovación educativa proponen replantear el TFE como una herramienta estratégica para fomentar la creatividad, la resolución de problemas reales y la iniciativa emprendedora (Parra et al., 2018). Enmarcar estos proyectos con un enfoque emprendedor incrementa la motivación y el compromiso estudiantil, al tiempo que impulsa propuestas con impacto social y económico (Terrón-López et al., 2017). La Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad de Málaga, por ejemplo, supervisa anualmente alrededor de 600 TFE, lo que evidencia el potencial innovador que podría activarse si se alinearan con el papel de la universidad como agente de innovación y plataforma de lanzamiento de nuevos modelos de negocio (Audretsch y Belitski, 2017; Tung, 2011).

Las empresas tecnológicas emergentes constituyen un vehículo idóneo para canalizar dicho talento, dada su capacidad para operar en entornos inciertos, generar valor mediante la innovación y escalar soluciones disruptivas (Mian et al., 2016). Favorecer la transición de los TFE hacia iniciativas empresariales basadas en la tecnología resulta, por tanto, no solo deseable, sino necesario. En esta línea, los proyectos orientados al emprendimiento permiten abordar problemas reales desde una perspectiva interdisciplinaria, combinando el rigor técnico con propuestas de valor. Estudios recientes confirman que la intención emprendedora puede desarrollarse mediante metodologías centradas en el diseño iterativo y la validación de soluciones (Barba-Sánchez, 2018; Zhang et al., 2015). Asimismo, la participación del alumnado en la resolución de problemas auténticos potencia la motivación, la autonomía y el sentido de pertenencia, factores decisivos para transformar ideas en iniciativas sostenibles (Beckman y Barry, 2007; Etkowitz y Leydesdorff, 2000; Guerrero et al., 2016).

La literatura reciente sobre ecosistemas emprendedores y universidades innovadoras ha crecido notablemente. Modelos como la Triple Hélice (Barba-Sánchez y Mitre-Aranda, 2022; Etzkowitz y Leydesdorff, 2000; Etzkowitz y Zhou, 2017) y los marcos de universidades emprendedoras (Guerrero et al., 2016; Radko et al., 2023) destacan la necesidad de conectar universidad, industria y gobierno para favorecer la transferencia de conocimiento. Las extensiones de Cuádruple y Quintuple Hélice (Carayannis et al., 2022) incorporan además la sociedad civil, el medio ambiente y la sostenibilidad, reforzando la pertinencia de los TFE orientados a la resolución de desafíos sociales. En paralelo, el aprendizaje basado en retos se consolida como estrategia pedagógica clave para la innovación en la educación en ingeniería (Martin & Bombaerts, 2024).

A pesar de estos avances, persiste una laguna significativa: la literatura aborda la relación entre universidades y ecosistemas de innovación o los programas de emprendimiento, pero rara vez considera el TFE como un instrumento estructurado para la creación de iniciativas emprendedoras o directamente startups. Aunque se ha investigado el desarrollo de competencias emprendedoras y la formación de spin-offs académicas (O'shea et al., 2005; Sciarelli et al., 2021), aún no se dispone de una metodología replicable que permita a los estudiantes seguir una trayectoria emprendedora a través del TFE.

Este vacío teórico y práctico motiva la presente propuesta: una metodología sistematizada que oriente los TFE de ingeniería hacia iniciativas empresariales basadas en la tecnología, apoyada en los marcos del Design Thinking y los Niveles de Madurez Tecnológica (Technology Readiness Level-TRL).

La metodología se desarrolla mediante una revisión bibliográfica y su aplicación práctica en programas de ingeniería, con el objetivo de alcanzar el TRL 3 (prueba de concepto). Su carácter replicable permite su adopción por docentes y coordinadores académicos para fomentar una cultura de innovación sostenible y orientada al impacto.

En consecuencia, los objetivos específicos de este trabajo son:

- Sistematizar una metodología educativa para orientar los TFE hacia el desarrollo de startups tecnológicas.
- Validar la metodología a través de casos reales de TFE que han evolucionado hacia startups.
- Proporcionar un marco teórico-pedagógico alineado con el reto de redefinir el papel de la universidad en los ecosistemas de innovación.

Este enfoque ofrece un valor educativo claro y responde a las demandas sociales y económicas contemporáneas. En un contexto en el que se espera que las universidades actúen como motores de la innovación (Brekke, 2021; de las Heras Rosas et al., 2020), la ingeniería —como disciplina aplicada— está especialmente posicionada para liderar esta transformación. Esta contribución refuerza esa misión al ofrecer una vía estructurada para convertir proyectos académicos en soluciones tecnológicas viables y con potencial empresarial, enriqueciendo la formación en ingeniería y facilitando la transición del ámbito académico al profesional.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 El trabajo Fin de Estudios: una oportunidad infrautilizada

El Trabajo Fin de Estudios (TFE) constituye un componente esencial en los planes de estudio del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) y representa la culminación académica de una titulación universitaria. Su propósito principal es permitir que el estudiante integre, aplique y demuestre las competencias adquiridas a lo largo del programa, normalmente mediante la resolución de un problema técnico o el desarrollo de un proyecto aplicado (Maffioli y Augusti, 2003).

No obstante, a pesar de su potencial formativo, diversos estudios han señalado que, en muchas universidades, el TFE continúa anclado en enfoques tradicionales, centrados más en la formalidad académica que en la aplicación práctica o el valor social (Parra et al., 2018; Seijas et al., 2018). Esta desconexión con los contextos profesionales, tecnológicos y empresariales limita su capacidad como vehículo para la transferencia de conocimiento, la innovación o el emprendimiento.

2.2 La educación emprendedora en ingeniería: una tendencia en evolución

Durante la última década, la educación superior ha mostrado un creciente interés por incorporar el emprendimiento como competencia transversal (Ferrerías-García et al., 2021; Lechuga-Jiménez et al., 2024).

Organismos como la OCDE, la Comisión Europea y la UNESCO han promovido activamente entornos educativos que fomenten el pensamiento emprendedor, la creación de valor y la innovación tecnológica desde las primeras etapas universitarias (Comisión Europea, s. f.; OCDE, 2015).

En el ámbito de la ingeniería, este interés se ha materializado en metodologías como el aprendizaje basado en proyectos (PBL), el aprendizaje basado en retos (CBL), el marco CDIO (Concebir-Diseñar-Implementar-Operar) o enfoques como Lean Startup y Design Thinking (Jiang y Pang, 2023; Liedtka, 2015; Lin et al., 2021; Lumsdaine y Binks, 2003). Estas estrategias promueven competencias clave para el emprendimiento, como la creatividad, la resiliencia, la iteración de soluciones o la orientación al usuario.

Sin embargo, la mayoría de estas metodologías se aplican en asignaturas específicas, talleres o programas extracurriculares, sin una estrategia institucional clara que las integre en el desarrollo del TFE. Estudios recientes evidencian esta desconexión estructural entre los procesos de finalización de estudios y las trayectorias emprendedoras (Schuelke-Leech, 2020; Huang-Saad et al., 2018).

2.3 Startups tecnológicas: de la intención a la acción

Las startups tecnológicas se definen como organizaciones emergentes orientadas al crecimiento, basadas en la innovación escalable y que operan en entornos de alta incertidumbre (Blank, 2018). Su capacidad para transformar conocimiento en soluciones aplicadas y su papel como generadoras de empleo cualificado las posicionan como agentes clave en las economías del conocimiento (Autio et al., 2014; Horne y Fichter, 2022; Wong et al., 2005).

En el ámbito universitario, la transformación de ideas académicas en startups no es un fenómeno reciente. Casos emblemáticos como Google o Dropbox, surgidos de proyectos universitarios, ilustran el potencial del vínculo entre investigación aplicada y creación empresarial. Algunas universidades han desarrollado programas específicos para impulsar esta transición, como *Capstone to Startup* (Stanford) o *From Lab to Market* (MIT). Sin embargo, la conversión de los TFE en iniciativas emprendedoras continúa siendo una excepción (Immonen, 2021; Rideout y Gray, 2013).

2.4 La brecha metodológica: deficiencias en la bibliografía existente

Aunque la literatura sobre emprendimiento universitario es amplia, las revisiones recientes revelan una brecha metodológica significativa: la mayoría de los estudios se centran en programas extracurriculares, incubadoras o *spin-offs* derivadas de la investigación avanzada, mientras que son escasos los trabajos que abordan el TFE como plataforma estructurada para la creación de startups tecnológicas (Hammoda y Winkler, 2024; Nielsen y Stovang, 2015).

Esta carencia se refleja en:

- La falta de modelos que integren herramientas de innovación como el *Design Thinking* con marcos de validación tecnológica como los Niveles de Madurez Tecnológica (TRL).
- La ausencia de itinerarios formativos que faciliten la transición de un “problema académico” a una “oportunidad de mercado” dentro del ciclo del TFE.
- La limitada institucionalización de estrategias para orientar, evaluar y apoyar estos procesos en contextos universitarios.

Esta situación sustenta los objetivos de la presente investigación, que propone una metodología estructurada y replicable para orientar el desarrollo del TFE (en ingeniería u otras disciplinas) hacia proyectos con potencial de convertirse en startups.

2.5 Marco conceptual: el pensamiento de diseño y el TRL como herramientas clave

El modelo metodológico propuesto se fundamenta en dos pilares complementarios. El *Design Thinking* facilita la identificación empática de necesidades reales, la ideación creativa de soluciones y la iteración centrada en el usuario (Guaman-Quintanilla et al., 2023; Liedtka, 2015; Magistretti et al., 2021). Por su parte, el marco de los Niveles de Madurez Tecnológica (TRL), desarrollado por la NASA y adoptado por la Comisión Europea,

cuantifica la madurez tecnológica de un proyecto, estableciendo hitos desde la concepción de la idea hasta su validación en condiciones reales (Mankins, 2009; Olechowski et al., 2015). La integración pedagógica de ambos marcos ofrece una guía estructurada y medible para que el TFE no solo cumpla los requisitos académicos, sino que también genere impacto más allá del ámbito universitario.

2.6 La dimensión personal: actitud emprendedora y perfil del estudiante

Más allá de las estructuras institucionales, la literatura resalta la influencia de la disposición personal en la activación de trayectorias emprendedoras. Diversos estudios confirman que la intención emprendedora es un fuerte predictor del comportamiento futuro, especialmente en contextos universitarios (Huang-Saad et al., 2018; Zhang et al., 2015).

Esta intención está mediada por factores como la autoeficacia, la tolerancia al riesgo o la orientación a la innovación, vinculados a rasgos de personalidad que favorecen el emprendimiento, como la apertura a nuevas experiencias y la extraversión, mientras que el neuroticismo presenta correlaciones negativas (Miao et al., 2018; Zhao et al., 2010). Asimismo, Awwad y Al-Aseer (2021) introducen el concepto de alerta emprendedora como mecanismo mediador entre personalidad e intención emprendedora, en línea con la teoría del comportamiento planificado de Ajzen (2020).

No obstante, pocos estudios integran la evaluación del perfil emprendedor del estudiante en el diseño curricular del TFE. La mayoría aborda la intención emprendedora desde una perspectiva macro (programas, ecosistemas o incubadoras), sin instrumentos formales incorporados en el proceso de titulación (Huang-Saad et al., 2018; Rideout y Gray, 2013). Esta laguna teórica abre una oportunidad para desarrollar modelos educativos que incluyan explícitamente la dimensión individual como punto de partida para los procesos de innovación.

3. METODOLOGÍA

Esta investigación propone una metodología estructurada, con fundamento pedagógico, destinada a orientar los Trabajos Fin de Estudios (TFE) hacia su transformación en iniciativas emprendedoras de base tecnológica o en potenciales spin-offs. Lejos de apoyarse en evidencias anecdóticas o estudios de caso aislados, el modelo se sustenta en un enfoque de innovación educativa respaldado tanto por la literatura académica como por la experiencia docente en titulaciones de carácter tecnológico. La premisa central sostiene que, cuando los TFE se desarrollan en un marco estructurado que integra herramientas específicas para el emprendimiento, pueden evolucionar desde un ejercicio académico hacia una respuesta tangible a los retos del entorno real.

La metodología integra dos marcos conceptuales complementarios: el pensamiento de diseño (Design Thinking) y los niveles de madurez tecnológica (TRL). El primero, orientado a la innovación basada en la empatía y la creatividad, permite asegurar la pertinencia social y de mercado del proyecto. El segundo, desarrollado originalmente por la NASA (Mankins, 2009) y adoptado ampliamente por los programas europeos de investigación e innovación, ofrece una estructura para evaluar la evolución técnica de una idea desde su concepción hasta la validación experimental. En conjunto, ambos marcos permiten al estudiante avanzar de manera coordinada en los planos creativo y técnico, con el objetivo de alcanzar niveles de madurez tecnológica intermedios (TRL 3 o 4), equivalentes a una prueba de concepto viable.

3.1 Objetivo y marco educativo

El diseño metodológico se fundamenta en una revisión exhaustiva de la literatura reciente sobre pedagogía de la innovación, emprendimiento basado en el diseño y modelos de maduración tecnológica, integrando enfoques que combinan el rigor académico con la validación práctica en contextos formativos.

En consecuencia, la metodología se concibe como una guía estructurada y replicable destinada a los docentes interesados en promover la convergencia entre innovación y emprendimiento a través de los TFE. Su base pedagógica se alinea con los principios del aprendizaje experiencial, activo y orientado a retos (Daniel, 2016; Kolb, 1984), posicionando al estudiante como un agente que diseña soluciones y no como un receptor pasivo de conocimiento. Asimismo, responde a la creciente demanda de que las universidades actúen como motores

de innovación y transferencia (de las Heras Rosas et al., 2020; Etzkowitz y Leydesdorff, 2000; Guerrero et al., 2016), especialmente en aquellas disciplinas donde el desarrollo tecnológico y la creación de prototipos pueden generar valor económico y social. El proceso metodológico se articula en varias fases, cada una de las cuales culmina con un conjunto de tareas y hitos definidos. El cuadro general de estas fases se presenta íntegramente en el anexo.

3.2 Diseño de la investigación y fundamentos teóricos

La investigación adopta un enfoque de diseño-desarrollo, orientado al perfeccionamiento y validación progresiva del modelo. En consonancia con la investigación basada en el diseño educativo (McKenney y Reeves, 2019), la iteración, la retroalimentación y la mejora continua constituyen elementos centrales del proceso. Si bien existen marcos empresariales consolidados, como el método Lean Startup, la presente propuesta otorga mayor relevancia a la validación tecnológica, adaptándola a los objetivos y particularidades de los entornos universitarios.

Fase 0: Intención

Antes de iniciar la formulación de cualquier Trabajo Fin de Estudios (TFE), resulta esencial reforzar la intención emprendedora del estudiante (Heinonen y Poikkijoki, 2006). Diversos estudios han analizado los rasgos de personalidad asociados al espíritu emprendedor, y algunos de los enfoques más recientes se centran en la correlación entre los “cinco grandes” rasgos de la personalidad (apertura, conciencia, extraversión, amabilidad y neuroticismo) y la intención emprendedora (IE). La evidencia empírica sugiere que la apertura, la conciencia y la extraversión se correlacionan positivamente con la IE, mientras que el neuroticismo presenta un efecto negativo y la influencia de la amabilidad continúa siendo debatida (Laurisz y Sanak-Kosmowska, s. f.; Li et al., 2022; Pandey et al., 2023).

Dada la naturaleza individual del TFE, resulta particularmente relevante analizar la aplicabilidad de estos factores en startups fundadas por una sola persona. Investigaciones recientes confirman que la conciencia emprendedora se manifiesta más como flexibilidad y adaptación que como una adhesión estricta a los planes establecidos (Hagenauer y Zipko, 2024). Sin embargo, la falta de interconectividad entre los “cinco grandes factores” (Laouiti et al., 2022) ha llevado a identificar mecanismos mediadores adicionales que inciden en la predicción de la intención emprendedora, entre los cuales destacan:

- Alerta emprendedora, entendida como la capacidad de detectar oportunidades de negocio que otros pueden pasar por alto, la cual actúa como mediador entre los rasgos de personalidad —especialmente la extraversión y la apertura— y la intención emprendedora (Awwad y Al-Aseer, 2021).
- Autoeficacia, definida como la creencia en la propia capacidad para ejecutar con éxito tareas específicas, identificada como un rasgo clave en la literatura sobre emprendimiento (Kerr et al., 2017).
- Propensión al riesgo y orientación a la innovación, factores característicos de distintos perfiles emprendedores y considerados esenciales para explicar el comportamiento emprendedor individual (Hagenauer y Zipko, 2024; Kerr et al., 2017).

Con base en estos planteamientos, la metodología propone que los estudiantes realicen una autoevaluación inicial mediante una encuesta de intención emprendedora que permita identificar sus capacidades y predisposición hacia el emprendimiento. Este diagnóstico constituye un requisito previo para aplicar la metodología “Del TFE a la startup”.

En ausencia de instrumentos propios, se sugiere utilizar un cuestionario que combine el análisis de los “cinco grandes” rasgos con los tres mecanismos mediadores señalados. En el caso de la Universidad de Málaga, puede emplearse la encuesta desarrollada por su Servicio de Empleabilidad y Emprendimiento, que cumple esta función de diagnóstico inicial.

De este modo, la primera tarea del proceso se resume en la Tabla 1, correspondiente a la evaluación del perfil emprendedor del estudiante.

Tabla 1. Tareas y hitos de la fase 0

T0	Los estudiantes completan una encuesta sobre intenciones emprendedoras
----	--

Fase 1: Identificación de oportunidades

Esta fase se inicia con la aplicación de las etapas de empatía y definición del Design Thinking (Beckman y Barry, 2007; Brown, 2019), orientadas a la detección de problemas del mundo real que puedan convertirse en oportunidades para la intervención tecnológica. Este enfoque fomenta la observación, el diálogo y la inmersión en el contexto, priorizando la comprensión profunda de las necesidades sobre la resolución inmediata de problemas. Los retos pueden surgir de intereses personales, demandas de la industria o necesidades sociales, lo que refuerza la implicación y motivación del estudiante.

La formulación del problema constituye un ejercicio de diseño crítico, en el que los estudiantes elaboran preguntas del tipo «¿cómo podríamos...?» que guían las etapas posteriores de ideación y prototipado. Diversas herramientas del Design Thinking, como la observación participante, el journey mapping o la lluvia de ideas, pueden emplearse para enriquecer este proceso (Liedtka, 2015).

Las oportunidades identificadas deben alinearse con los principios del aprendizaje basado en retos (CBL), de modo que los proyectos cumplan con sus siete características esenciales: autenticidad, estructura abierta, ambigüedad, naturaleza sociotécnica, integración, encarnación e interactividad (Martin y Bombaerts, 2024).

Al concluir esta fase, los estudiantes habrán definido un desafío bien articulado y reflexionado sobre su viabilidad y potencial tecnológico. En este punto, los proyectos suelen situarse en el TRL 1, correspondiente a la observación de principios básicos. En consecuencia, se añaden dos tareas y un hito a la metodología (Tabla 2).

Tabla 2. Tareas e hitos de la fase 1

T1.1	Los estudiantes aplican las herramientas del Design Thinking para las etapas de empatía y definición.
T1.2	Las oportunidades identificadas y los proyectos posteriores siguen las 7 características del CBL
M1	Al final de la fase, el proyecto ha alcanzado el TRL1.

Fase 2: Formulación del proyecto

Una vez definido el problema, los estudiantes lo transforman en un proyecto estructurado, empleando el aprendizaje basado en retos (CBL), en el que el Trabajo Fin de Estudios (TFE) se concibe como una misión aplicable, más que como un informe académico tradicional (Nichols y Cator, 2008). Mediante la etapa de ideación del Design Thinking, se generan y refinan múltiples alternativas de solución.

Durante este proceso, se aplican patrones cíclicos de divergencia y convergencia (Cocchi et al., 2023). Los primeros permiten ampliar el espectro creativo de las ideas, mientras que los segundos las concretan mediante criterios de viabilidad y realismo. Con base en ello, esta fase se divide en tres subfases.

Fase 2.1. Espacio de soluciones

El objetivo inicial es definir un conjunto amplio de posibles respuestas al problema mediante ideación divergente. En este punto, las técnicas del Design Thinking resultan fundamentales. La lluvia de ideas estructurada, validada en experiencias de CBL (Romero Caballero et al., 2025), emplea el principio “Sí, y” para fomentar la construcción colaborativa de ideas. Con esta metodología, los estudiantes pueden generar más de cien conceptos en menos de treinta minutos, en línea con el enfoque de creatividad rápida propuesto por Nichols y Cator (2008). Como alternativa, la lluvia de ideas inversa plantea inicialmente cómo agravar el problema, permitiendo perspectivas innovadoras y poco convencionales (Sanders y Stappers, 2014).

Fase 2.2. Definición de la solución

Esta subfase requiere una perspectiva convergente para seleccionar la alternativa más adecuada. Una herramienta útil es la matriz impacto–esfuerzo, ampliamente utilizada en el CBL, que clasifica las ideas en “ganancias rápidas” (alto impacto y bajo esfuerzo) y “proyectos estratégicos” (alto impacto y alto esfuerzo).

Fase 2.3. Formulación de la hoja de ruta del proyecto

Finalmente, se elabora una hoja de ruta para planificar y calendarizar el trabajo de investigación y desarrollo. En el contexto español, y concretamente en la Universidad de Málaga, es obligatorio presentar un calendario orientativo definido por el estudiante y su tutor, que sirve como guía para la evaluación del TFE. Esta hoja de ruta traduce los conceptos en tareas, funciones y plazos, apoyándose en el mapeo de hitos basado en los tres pilares del CBL:

- Investigar: revisión bibliográfica y desarrollo metodológico.
- Actuar: experimentación, prototipado y recogida de datos.
- Reflexionar: integración de resultados y evaluación de la escalabilidad.

Los diagramas de Gantt permiten representar esta planificación, mostrando los hitos y verticales del proyecto alineados con los principios del CBL. En esta etapa, los estudiantes alcanzan el TRL 2, donde se formula la aplicación tecnológica y se realiza una primera evaluación de su viabilidad, relevancia social y potencial de escalabilidad, estableciendo así las bases para fases posteriores de desarrollo (Tabla 3).

Tabla 3. Tareas y hitos de la fase 2

T2.1	Aplicar técnicas divergentes de pensamiento de diseño para definir el espacio de soluciones.
T2.2	Aplicar técnicas de ideación de pensamiento de diseño convergentes para la definición de soluciones (matriz de impacto frente a esfuerzo).
T2.3	Definir una hoja de ruta basada en los tres pilares del CBL.
M2	Se ha alcanzado el TRL2

Fase 3: Desarrollo técnico

Durante esta fase, los estudiantes trabajan bajo la orientación de tutores académicos y, cuando es posible, de mentores externos provenientes de la industria o del ecosistema emprendedor. Estos mentores aportan conocimiento práctico que ayuda a optimizar las decisiones técnicas y a comprender las limitaciones más allá del ámbito académico (Kolmos et al., 2016).

La literatura destaca los beneficios de emplear iteraciones cíclicas entre el desarrollo técnico y la validación en contextos de aprendizaje. El uso de prototipos iterativos en el aprendizaje basado en retos (CBL) o de ciclos de proyecto en el aprendizaje basado en proyectos (PBL) fomenta la creatividad, la experimentación, el pensamiento de diseño, la resolución de problemas y las competencias técnicas (Arce et al., 2022; Prince y Felder, 2006). Asimismo, los bucles de retroalimentación, esenciales para la iteración, mejoran significativamente los resultados del aprendizaje (Hattie, 2009).

Aunque estos ciclos no siempre se documentan, deben incorporar mecanismos de autoevaluación y heteroevaluación. De este modo, los estudiantes valoran tanto el progreso del proyecto como su implicación, mientras los profesores o mentores evalúan los aspectos técnicos (Arce et al., 2022). En esta línea, la fase de prototipado del Design Thinking integra herramientas que facilitan estos procesos, como el mapeo de impacto, junto con entornos de validación como la inmersión cognitiva, especialmente útil cuando no se dispone de mentor externo.

Durante esta etapa, los estudiantes deben alcanzar el TRL 3, correspondiente al desarrollo de una prueba de concepto que demuestre la viabilidad de la tecnología en entornos experimentales. Este paso incluye pruebas preliminares de los supuestos técnicos y principios de diseño, sin requerir aún una funcionalidad completa. En el contexto educativo, esto constituye un punto sólido de validación, al evidenciar tanto el razonamiento científico como la competencia en ingeniería.

La fase culmina con la elaboración de la documentación de diseño, que demuestra la viabilidad, usabilidad y aplicabilidad del prototipo respecto al problema inicial (Tabla 4).

Tabla 4. Tareas y hitos de la fase 3

T3.1	Asignar un tutor académico y (si es posible) un mentor externo.
T3.2	Definir iteraciones entre el desarrollo técnico y la validación con técnicas de prototipado de Design Thinking.
T3.3	Utilizar mecanismos de autoevaluación y heteroevaluación al final de cada iteración.
T3.4	Elaborar documentación.
M3	Se ha alcanzado el TRL3

Fase 4: Demostración y validación

En esta etapa se distinguen dos subfases principales que consolidan el desarrollo del proyecto y su validación final.

Fase 4.1 – Prueba del prototipo

Los estudiantes construyen y prueban un prototipo funcional en un entorno académico o de laboratorio. El propósito no es generar un producto comercial, sino validar los aspectos funcionales básicos de la tecnología, en consonancia con el TRL 4 (Mankins, 2009). Este proceso puede implicar simulaciones de software, modelos de banco o montajes experimentales que permitan comprobar los parámetros técnicos en condiciones controladas. No obstante, se considera exitoso si el TRL 3 constituye el nivel máximo alcanzado, al demostrar una prueba de concepto sólida y coherente con los objetivos educativos.

Fase 4.2 – Validación

En esta subfase se sintetizan y evalúan los resultados de todas las etapas previas, configurando un Trabajo Fin de Estudios presentable y validado. Para la evaluación del proceso y las competencias desarrolladas, se recomienda utilizar rúbricas específicas. Destaca la propuesta de López et al. (2024), cuyas dimensiones de evaluación se alinean estrechamente con las fases de esta metodología y ofrecen un marco detallado para valorar tanto el desarrollo como el aprendizaje.

Dado que estos TFE persiguen también un propósito emprendedor, se añade una dimensión adicional basada en la metodología Product Innovation Readiness Level (P-IRL), un sistema multicriterio que integra la planificación del proyecto, el análisis de mercado, la planificación del producto y la madurez tecnológica, con hitos similares al modelo TRL (Ozcan et al., 2024). El Apéndice A incluye una rúbrica adaptada a partir de ambos marcos.

Esta fase se corresponde con la etapa de prueba del Design Thinking, donde pueden aplicarse herramientas como la matriz de retroalimentación o las pruebas de usabilidad, fortaleciendo el vínculo del proyecto con su entorno. Con la culminación en TRL 3 o 4, el TFE alcanza un grado de madurez académica y tecnológica considerable, reflejando la integración de conocimiento aplicado, razonamiento científico y capacidad para afrontar la complejidad del mundo real (Beckman y Barry, 2007; Daniel, 2016). Finalmente, la madurez tecnológica se verificará mediante una lista de control del TRL (Gobierno de Canadá, 2021) (Tabla 5).

Tabla 5. Tareas y hitos de la fase 4

T4.1	Desarrollar un prototipo funcional de laboratorio.
T4.2	Evaluar el proyecto para cada fase con rúbricas y P-IRL.
T4.3	Utilizar herramientas de la fase de pruebas del Design Thinking
T4.4	Evaluar la madurez tecnológica con una lista de verificación TRL.
M4	Se ha alcanzado el TRL 3 o 4.

Fase 5: Integración en el ecosistema y próximos pasos

Aunque la metodología no exige que los estudiantes continúen sus proyectos más allá del Trabajo Fin de Estudios (TFE), fomenta activamente mecanismos institucionales que facilitan su proyección empresarial. Los resultados del estudio de caso evidencian que las universidades actúan como un puente esencial entre el entorno académico y el ecosistema de innovación, posicionando estratégicamente al estudiante dentro de él y facilitando su acceso a herramientas de apoyo reales.

Los proyectos con mayor madurez tecnológica y potencial de mercado pueden orientarse hacia incubadoras universitarias, programas de aceleración, concursos de emprendimiento o redes de mentores y antiguos alumnos. Este proceso genera una transición natural entre el aula y el mercado, fortaleciendo la identidad del estudiante como agente innovador.

Asimismo, esta fase refuerza la comprensión del papel de la universidad como nodo dentro de los modelos de innovación de la Cuádruple y la Quintuple Hélice, donde convergen universidad, industria, gobierno, sociedad civil y sostenibilidad. Al ofrecer vías concretas de conexión —financiación inicial, espacios de coworking, oficinas de transferencia o convocatorias públicas— la metodología integra los proyectos en circuitos reales de creación de valor, manteniendo su esencia educativa.

Finalmente, la metodología busca desarrollar una auténtica agencia tecnológica en los estudiantes, promoviendo una visión de sí mismos como innovadores capaces de escalar soluciones y generar impacto. Este enfoque se alinea con el nuevo paradigma de la educación superior, que concibe al alumnado como protagonista activo de la transformación profesional, económica y social (Tabla 6).

Tabla 6. Fase 5: Integración del ecosistema y próximos pasos

T5.1	Identificar el apoyo institucional disponible
T5.2	Presentación del proyecto a las partes interesadas externas
T5.3	Redactar un plan de desarrollo posterior a la tesis
M5	Participar en al menos un recurso del ecosistema

En general, se puede observar la estructura completa del proceso metodológico (Fig. 1)

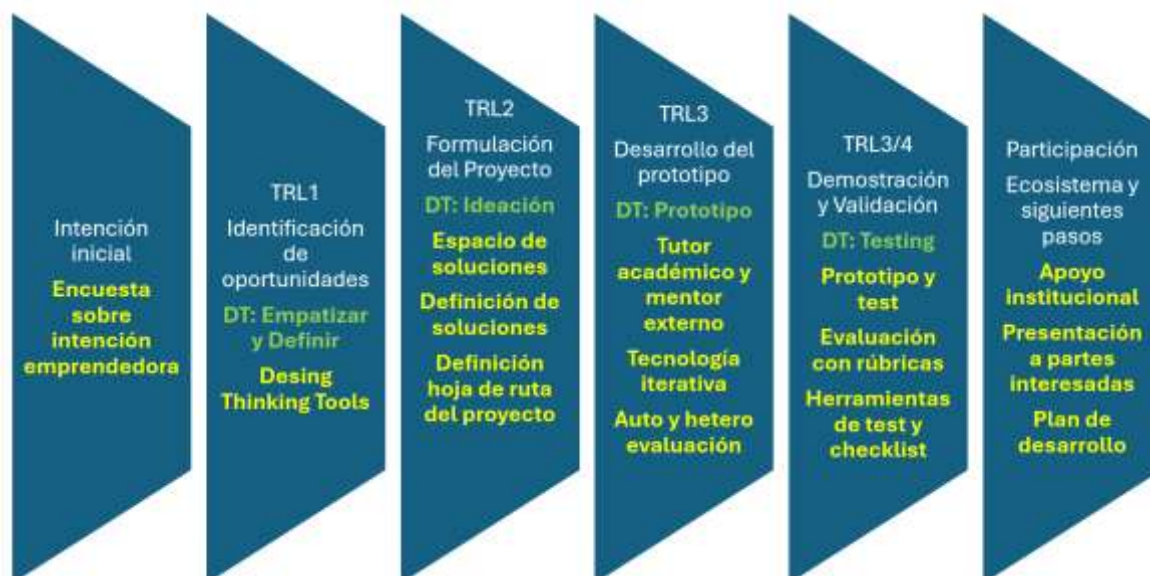


Fig. 1. Diagrama de flujo de la metodología

4. RESULTADOS

El resultado central de este trabajo es el desarrollo estructurado de una metodología orientada a transformar el Trabajo Fin de Estudios (TFE) en una posible startup tecnológica. Como se ha señalado, esta metodología se diseñó mediante un enfoque de investigación basada en diseño y desarrollo (design-based research), sustentado

en marcos de innovación educativa como el Design Thinking, el Challenge Based Learning (CBL) y los Technology Readiness Levels (TRL).

Para validar su estructura, se llevó a cabo una comparación empírica con tres casos reales de startups originadas en proyectos finales de ingeniería. Los casos fueron seleccionados conforme a tres criterios: (1) origen académico demostrable, (2) continuidad empresarial más allá de la etapa universitaria y (3) disponibilidad de los fundadores para entrevistas y revisión documental.

4.1 Técnicas de recopilación de información

El análisis se sustentó en tres fuentes principales:

- Revisión documental de los TFE: Se examinaron los informes originales y materiales complementarios (anexos, rúbricas de evaluación, documentación técnica y de diseño). Este análisis permitió reconstruir la trayectoria académica formal de cada proyecto, identificando evidencias relevantes sobre la formulación del problema, la definición de soluciones y la planificación del desarrollo.
- Entrevistas semiestructuradas: Se realizaron entrevistas en dos partes. La primera fue cuantitativa, con 20 ítems estructurados según las fases de la metodología, valorados mediante una escala Likert de 5 puntos (1 = bajo acuerdo; 5 = alto acuerdo). La segunda parte consistió en una entrevista cualitativa abierta, centrada en las experiencias de los fundadores. Entre las preguntas comunes destacaron: «¿Cómo podría haberse mejorado su proceso de TFE para facilitar la fundación de su startup?» y «¿Cómo apoyó su universidad la transición hacia el emprendimiento?». Esta información permitió identificar fortalezas, carencias y oportunidades de mejora del modelo propuesto.
- Documentación complementaria sobre las startups: Se recopilaron materiales públicos —sitios web, presentaciones, solicitudes de financiación y menciones en prensa— con el fin de triangular la información aportada por los participantes y rastrear la evolución de cada proyecto dentro del ecosistema emprendedor.

4.2 Análisis de los casos

El examen conjunto de las fuentes permitió identificar coincidencias, divergencias y elementos emergentes (fig. 2). El contraste entre la metodología propuesta y los recorridos reales de los fundadores posibilitó valorar la pertinencia de cada fase, el grado de correspondencia entre teoría y práctica, y el potencial de la metodología para guiar el tránsito del TFE hacia la creación de empresas tecnológicas.

Fig. 2. Resultados de las entrevistas cualitativas en la evaluación tipo Likert



Fase 1

Las startups analizadas identificaron de forma unánime problemas del mundo real (puntuación 5), percibidos como inicialmente ambiguos (3–4) y abiertos (4–5). Todas coincidieron en la relevancia personal del reto (4–5), cumpliendo así los criterios metodológicos para la formulación de problemas auténticos. No obstante, el uso de técnicas exploratorias (lluvia de ideas, encuestas, customer journey mapping) fue irregular: una startup lo valoró positivamente (5), mientras que las otras dos lo hicieron de forma más baja (3 y 3). La integración de la dimensión sociotécnica fue de moderada a baja (2–3), evidenciando un escaso enfoque interdisciplinar. En conjunto, esta fase muestra una coherencia metodológica alta, aunque con margen de mejora en el descubrimiento estructurado y la integración multidisciplinaria.

Fase 2

Se observó una clara divergencia en el uso de herramientas de ideación. Una startup valoró su aplicación como eficaz (4), otra con puntuación media (3) y la tercera reconoció un uso mínimo (1). Sin embargo, todas coincidieron en la necesidad de acotar soluciones (5, 5 y 4) y en la definición de una hoja de ruta clara (4, 5 y 5). Estos resultados indican que, incluso con un empleo limitado de técnicas creativas, los equipos avanzaron hacia una planificación estructurada. La fase revela, por tanto, una brecha metodológica relacionada con la promoción y aplicación de herramientas sistemáticas de creatividad e innovación.

Fase 3

Las tres empresas confirmaron disponer de mentores técnicos (5, 4 y 5) y validar sus enfoques con usuarios o mediante iteraciones basadas en retroalimentación (4, 5 y 4). En cambio, la mentoría empresarial fue escasa (1, 1 y 2), lo que refleja una carencia recurrente en la orientación emprendedora. La alta implicación de los mentores técnicos (5, 4 y 4) refuerza la relevancia de la supervisión académica, pero también evidencia la necesidad de incorporar una guía empresarial más sólida en futuras iteraciones metodológicas.

Las entrevistas cualitativas profundizaron en esta fase. Dos fundadores señalaron que la ausencia de un mentor emprendedor limitó el desarrollo de su proyecto; uno de ellos reconoció que «no saber lo que significaba una startup antes de iniciar el TFE dificultó significativamente la evolución hacia el éxito empresarial». Otro participante subrayó la desconexión entre la formación universitaria y la realidad del emprendimiento:

«Las materias de este tipo se centran principalmente en las grandes empresas. No tienen en cuenta que muchos ingenieros trabajarán en pequeñas empresas o fundarán la suya propia. El emprendimiento no se trata lo suficiente en estas materias».

Asimismo, un entrevistado advirtió que un exceso de apoyo puede reducir la curiosidad y la autonomía de los alumnos, resaltando que la crítica constructiva es esencial para mantener la motivación en las etapas iniciales. En cuanto a los bucles de retroalimentación, uno de los fundadores validó sus avances técnicos tanto con investigadores de distintas disciplinas universitarias como con perfiles externos sin formación técnica.

Fase 4

Todas las startups alcanzaron un MVP funcional, realizaron pruebas de prototipos y aplicaron indicadores de rendimiento. Sin embargo, el conocimiento y uso de los TRL como herramienta de validación fue desigual: dos empresas obtuvieron puntuaciones de 3 y una de 5. Aunque se logró la validación técnica, el uso sistemático de métricas TRL no se consolidó de forma homogénea, lo que sugiere la necesidad de reforzar su integración en la práctica académica.

Fase 5

Las tres startups accedieron a programas de incubación universitaria (puntuación 5) y presentaron sus proyectos públicamente (5, 4 y 5). También elaboraron un plan de negocio posterior (5, 4 y 4), lo que refleja una fuerte alineación institucional con la fase de ecosistema de la metodología. Esto confirma que la universidad constituye un entorno propicio para la transición del ámbito académico al emprendimiento.

En conjunto, los resultados muestran que la metodología propuesta reproduce fielmente las trayectorias de las startups analizadas. Sus principales fortalezas se concentran en la identificación de oportunidades, el desarrollo de prototipos y la conexión con el ecosistema emprendedor. No obstante, la mentoría empresarial, la ideación estructurada y el uso coherente de métricas de validación requieren mayor desarrollo. Estos aprendizajes se integrarán en futuras versiones del modelo, con el propósito de ofrecer un apoyo integral a los estudiantes que deseen transformar su TFE en una empresa tecnológica viable.

5. DISCUSIÓN

El análisis de tres casos prácticos de proyectos finales de grado transformados en startups valida en gran medida el marco metodológico propuesto, demostrando su pertinencia y señalando áreas de mejora. La correspondencia entre las fases del modelo y las trayectorias seguidas por los proyectos refuerza la solidez del enfoque, especialmente en la identificación de oportunidades (fase 1), el desarrollo técnico (fase 3) y la integración en el ecosistema emprendedor (fase 5).

No obstante, el estudio revela ciertas lagunas en la aplicación práctica de herramientas clave. El uso irregular de técnicas de ideación en la fase 2 y el conocimiento limitado de los niveles de madurez tecnológica (TRL) en etapas avanzadas evidencian la necesidad de reforzar la formación en metodologías específicas. Además, la falta sistemática de tutoría empresarial, pese al sólido acompañamiento técnico, sugiere que los modelos de tutoría en ingeniería continúan priorizando los aspectos tecnológicos sobre los de gestión. Esta tendencia coincide con lo señalado por Huang-Saad et al. (2018) y Schuelke-Leech (2021), quienes destacan la escasa formalización de la orientación emprendedora en los proyectos finales de ingeniería.

Otra conclusión relevante es la percepción de los fundadores de que la formación empresarial universitaria sigue centrada en entornos corporativos tradicionales, sin atender suficientemente las dinámicas de las startups o los proyectos individuales. Esta brecha curricular exige revisar determinados contenidos para reflejar mejor los mercados emergentes y las nuevas formas de empleabilidad.

Desde una perspectiva metodológica, los resultados respaldan la integración del Design Thinking y los Technology Readiness Levels como marcos complementarios. Mientras el primero promueve la empatía y el enfoque centrado en el usuario, el segundo ofrece una estructura progresiva y medible para la madurez tecnológica. Su combinación equilibra la validación conceptual con la evaluación técnica, en línea con las recomendaciones de la literatura sobre pedagogía innovadora (Guaman-Quintanilla et al., 2023; Liedtka, 2015).

Asimismo, los hallazgos confirman que la actitud emprendedora del estudiante constituye un factor decisivo, tal como plantea la fase 0 de la metodología. Las entrevistas muestran que la falta de conciencia o preparación previa para el emprendimiento puede limitar la evolución del proyecto, lo que subraya la importancia de incorporar herramientas de diagnóstico temprano y actividades de sensibilización.

En conjunto, los resultados avalan la validez del modelo propuesto y orientan su perfeccionamiento futuro. Se recomienda reforzar la mentoría empresarial, promover la ideación estructurada, adaptar los planes de estudio e implementar evaluaciones más rigurosas mediante instrumentos combinados, como listas de verificación TRL y rúbricas híbridas.

6. CONCLUSIONES

Este estudio presenta una metodología estructurada y replicable orientada a transformar los Trabajos Fin de Estudios (TFE) de ingeniería en posibles startups tecnológicas. La validación empírica mediante casos reales evidencia una alta correspondencia entre el modelo propuesto y las trayectorias seguidas por empresas exitosas impulsadas por estudiantes, especialmente en las fases de identificación de oportunidades, desarrollo técnico e integración en el ecosistema emprendedor. Sin embargo, el análisis también revela áreas críticas de mejora, entre las que destacan la ausencia de una mentoría empresarial sistemática y el uso limitado de herramientas de ideación y validación. Estas carencias subrayan la necesidad de fortalecer los componentes formativos

vinculados al emprendimiento y de consolidar un acompañamiento más equilibrado entre las dimensiones técnicas y de gestión. Una conclusión clave de este trabajo es el papel determinante de la mentalidad emprendedora del estudiante, lo que justifica la incorporación de una fase inicial de diagnóstico centrada en la intención y disposición hacia el emprendimiento. Asimismo, la combinación metodológica del Design Thinking y los Niveles de Madurez Tecnológica (TRL) se confirma como un enfoque eficaz para integrar el diseño centrado en el usuario con la evaluación progresiva de la madurez técnica del proyecto. En última instancia, esta propuesta contribuye a reconfigurar el TFE no solo como un requisito académico, sino como una plataforma estratégica para la innovación, el emprendimiento y la generación de impacto real, en consonancia con las demandas actuales de la educación en ingeniería y con el papel de la universidad dentro del ecosistema de innovación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Antonio Peñafiel Velasco, así como al resto del Servicio de Empleabilidad y Emprendimiento de la Universidad de Málaga, su apoyo. Financiación de la tasa de acceso abierto: Universidad de Málaga / CBUA

REFERENCES

- Arce, E., Suárez-García, A., López-Vázquez, J. A., & Fernández-Ibáñez, M. I. (2022). Design Sprint: Enhancing STEAM and engineering education through agile prototyping and testing ideas. *Thinking Skills and Creativity*, 44, 101039. <https://doi.org/10.1016/J.TSC.2022.101039>
- Audretsch, D. B., & Belitski, M. (2017). Entrepreneurial ecosystems in cities: establishing the framework conditions. *The Journal of Technology Transfer*, 42(5), 1030–1051. <https://doi.org/10.1007/S10961-016-9473-8>
- Autio, E., Kenney, M., Mustar, P., & Siegel, D. (2014). Entrepreneurial innovation: The importance of context. *Research Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2014.01.015>
- Awwad, M. S., & Al-Aseer, R. M. N. (2021). Big Five personality traits impact on entrepreneurial intention: the mediating role of entrepreneurial alertness. *Asia Pacific Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 15(1), 87–100. <https://doi.org/10.1108/APJIE-09-2020-0136>
- Barba-Sánchez, V. (2018). Entrepreneurial intention among engineering students: The role of entrepreneurship education. *European research on management and business economics*, 24(1), 53-61. <https://doi.org/10.1016/j.iedeen.2017.04.001>
- Barba-Sánchez, V., & Mitre-Aranda, M. (2022). The entrepreneurial intention of university students: An environmental perspective. *European research on management and business economics*, 28(2). <https://doi.org/10.1016/j.iedeen.2021.100184>
- Beckman, S. L., & Barry, M. (2007). Innovation as a learning process: Embedding design thinking. *California Management Review*, 50(1). <https://doi.org/10.2307/41166415>
- Blank, S. (2018). *Why the lean start-up changes everything*. https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w24918w/Recursos/Lean_startup.pdf
- Brekke, T. (2021). What Do We Know about the University Contribution to Regional Economic Development? A Conceptual Framework. *International Regional Science Review*, 44(2), 229–261. <https://doi.org/10.1177/0160017620909538>
- Brown, T. (2019). *Change by Design How Design Thinking Creates New Alternatives for Business and Society*. Harper Business.
- Carayannis, E. G., Campbell, D. F. J., & Grigoroudis, E. (2022). Helix trilogy: The triple, quadruple, and quintuple innovation helices from a theory, policy, and practice set of perspectives. *Journal of the Knowledge Economy*, 13(3), 2272-2301, <https://doi.org/10.1007/S13132-021-00813-X>
- Cocchi, N., Dosi, C., & Vignoli, M. (2023). Tech to Market. Finding and Designing Suitable Technology Applications with Design Thinking. *International Conference on Engineering Design*, 24–28. <https://doi.org/10.1017/pds.2023.332>
- Correal, A., & Ríos, F. (2024). Design, Characterization, Prototyping and Digital Twin of a Stewart Platform. *XVI Congreso TAEE, IEEEExplore*. <https://doi.org/10.1109/TAEE59541.2024.10604977>

- Daniel, A. D. (2016). Fostering an entrepreneurial mindset by using a design thinking approach in entrepreneurship education. *Industry and Higher Education*, 30(3), 215–223. <https://doi.org/10.1177/0950422216653195>
- de las Heras Rosas, C. J., Trujillo Conejo, R., García de Diego, J. M., & Zamora Roselló, M. R. (2020, November 19). La triple hélice de la innovación educativa: ¡muévete frente a un reto social! *VII Jornadas Iberoamericanas de Innovación Educativa En El Ámbito de Las TIC*. https://www.researchgate.net/publication/348153111_La_triple_helice_de_la_innovacion_educativa_muevet_e_frente_a_un_reto_social
- Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (2000). The dynamics of innovation: from National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university–industry–government relations. *Research Policy*, 29(2), 109–123. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00055-4](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00055-4)
- Etzkowitz, H., & Zhou, C. (2017). The triple helix: University–industry–government innovation and entrepreneurship. In *The Triple Helix: University-Industry-Government Innovation and Entrepreneurship*. Taylor and Francis. <https://doi.org/10.4324/9781315620183>
- European Commission. (n.d.). *EntreComp: The entrepreneurship competence framework*. https://joint-research-centre.ec.europa.eu/entrecomp-entrepreneurship-competence-framework_en
- Ferreras-García, R., Sales-Zaguirre, J., & Serradell-López, E. (2021). Developing entrepreneurial competencies in higher education: a structural model approach. *Education+ Training*, 63(5), 720–743. <https://doi.org/10.1108/ET-09-2020-0257>
- Government of Canada. (2021, April 6). *Technology Readiness Level (TRL) Assessment Tool*. <https://ised-isde.canada.ca/site/clean-growth-hub/en/technology-readiness-level-trl-assessment-tool>
- Guaman-Quintanilla, S., Everaert, P., Chiluita, K., & Valcke, M. (2023). Impact of design thinking in higher education: a multi-actor perspective on problem solving and creativity. *Journal of Technology and Design Education*, 33(1), 217–240. <https://doi.org/10.1007/S10798-021-09724-Z>
- Guerrero, M., Urbano, D., Fayolle, A., Klofsten, M., & Mian, S. (2016). Entrepreneurial universities: emerging models in the new social and economic landscape. *Small Business Economics*, 47(3), 551–563. <https://doi.org/10.1007/s11187-016-9755-4>
- Hagenauer, W., & Zipko, H. T. (2024). The relationship between entrepreneurial personality patterns linked to risk, innovation and gender across industrial sectors. *Scientific Reports 2024 14:1*, 14(1), 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-71794-5>
- Hammoda, B., & Winkler, C. (2024). Active methods in Entrepreneurship Education: a case study with engineering students. *European Journal of Engineering Education*. <https://doi.org/10.1080/03043797.2024.2384893>
- Hattie, J. (2009). Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement. In *Visible Learning: A Synthesis of Over 800 Meta-Analyses Relating to Achievement*. Routledge Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.4324/9780203887332>
- Heinonen, J., & Poikkijoki, S. A. (2006). An entrepreneurial-directed approach to entrepreneurship education: Mission impossible? *Journal of Management Development*, 25(1), 80–94. <https://doi.org/10.1108/02621710610637981>
- Horne, J., & Fichter, K. (2022). Growing for sustainability: Enablers for the growth of impact startups—A conceptual framework, taxonomy, and systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131163>
- Huang-Saad, A. Y., Morton, C. S., & Libarkin, J. C. (2018). Entrepreneurship assessment in higher education: A research review for engineering education researchers. *Journal of Engineering Education*, 107(2), 263–290. <https://doi.org/10.1002/JEE.20197>
- Immonen, H. (2021). *Application of object-process methodology in the study of entrepreneurship programs in higher education*. <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/162393>
- Jiang, C., & Pang, Y. (2023). Enhancing design thinking in engineering students with project-based learning. *Computer Applications in Engineering Education*, 31(4), 814–830. <https://doi.org/10.1002/CAE.22608>
- Kerr, S. P., Kerr, W. R., & Xu, T. (2017). *Personality Traits of Entrepreneurs: A Review of Recent Literature*.
- Kolb, D. A. (1984). Experiential learning: Experience as the source of learning and development. *Journal of Organizational Behavior* 8,(4). Prentice Hall.
- Kolmos, A., Hadgraft, R. G., & Holgaard, J. E. (2016). Response strategies for curriculum change in engineering. *International Journal of Technology and Design Education*, 26(3), 391–411. <https://doi.org/10.1007/S10798-015-9319-Y>
- Laouiti, R., Haddoud, M. Y., Nakara, W. A., & Onjewu, A. K. E. (2022). A gender-based approach to the influence of personality traits on entrepreneurial intention. *Journal of Business Research*, 142, 819–829. <https://doi.org/10.1016/J.JBUSRES.2022.01.018>

- Laurisz, N., & Sanak-Kosmowska, K. (n.d.). *Preparing for adulthood : a comparative analysis of students' attitudes toward labor market challenges across school types*. <https://doi.org/10.29119/1641-3466.2025.217.16>
- Lechuga-Jimenez, C., Barroso, M. B., Alastor, E., & Tójar-Hurtado, J. C. (2024). Promoting social and blue entrepreneurship and sustainability skills in higher education by transversal competencies. *Cogent Education*, *11*(1). <https://doi.org/10.1080/2331186X.2024.2309412>
- Li, L. N., Huang, J. H., & Gao, S. Y. (2022). The Relationship Between Personality Traits and Entrepreneurial Intention Among College Students: The Mediating Role of Creativity. *Frontiers in Psychology*, *13*, 822206. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.822206>
- Liedtka, J. (2015). Perspective: Linking Design Thinking with Innovation Outcomes through Cognitive Bias Reduction. *Journal of Product Innovation Management*, *32*(6), 925–938. <https://doi.org/10.1111/JPIM.12163>
- Lin, K. Y., Wu, Y. T., Hsu, Y. T., & Williams, P. J. (2021). Effects of infusing the engineering design process into STEM project-based learning to develop preservice technology teachers' engineering design thinking. *International Journal of STEM Education*, *8*(1). <https://doi.org/10.1186/S40594-020-00258-9>
- Lopez, A., Castaño, M. A., Ibáñez, M. V., Sanz, I., Museros, L., & Grangel, R. (2024). Improving the Assessment of Capstone Projects in the Bachelor's Degree in Computer Engineering. *ACM Transactions on Computing Education*. <https://doi.org/10.1145/3722230>
- Lumsdaine, E., & Binks, M. (2003). Teaching entrepreneurship to engineers. *Ipmall.Info*. https://www.ipmall.info/sites/default/files/hosted_resources/Teaching_IP/Edward_Lumsdaine_2003.pdf
- Maffioli, F., & Augusti, G. (2003). Tuning engineering education into the European higher education orchestra. *Journal of Engineering Education*, *28*(3), 251–273. <https://doi.org/10.1080/0304379031000098832>
- Magistretti, S., Ardito, L., & Petruzzelli, A. M. (2021). Framing the microfoundations of design thinking as a dynamic capability for innovation: Reconciling theory and practice. *Journal of Product Innovation Management*, *38*(6), 645–667. <https://doi.org/10.1111/JPIM.12586>
- Manjón, J. V. G., & López, M. C. P. (2008). Espacio Europeo de Educación Superior, competencias profesionales y empleabilidad. *Revista Iberoamericana de Educación*, *46*(9), 1–12. <https://doi.org/10.35362/RIE4691886>
- Mankins, J. C. (2009). Technology readiness assessments: A retrospective. *Acta Astronautica*, *65*(9–10), 1216–1223. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2009.03.058>
- Martin, D. A., & Bombaerts, G. (2025). What is the structure of a Challenge Based Learning project? A shortitudinal trajectory analysis of student process behaviours in an interdisciplinary engineering course. *European Journal of Engineering Education*, *50*(1), 51-81. <https://doi.org/10.1080/03043797.2024.2376222>
- McKenney, S. E. ., & Reeves, T. C. . (2019). *Conducting educational design research*. Routledge/Taylor & Francis Group.
- Mian, S., Lamine, W., & Fayolle, A. (2016). Technology Business Incubation: An overview of the state of knowledge. *Technovation*, *50*, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2016.02.005>
- Miao, C., Humphrey, R. H., Qian, S., & Pollack, J. M. (2018). Emotional intelligence and entrepreneurial intentions: An exploratory meta-analysis. *Career Development International*, *23*(5), 497–512. <https://doi.org/10.1108/CDI-01-2018-0019>
- Nichols, M. H., & Cator, K. (2008). *Challenge Based Learning Take action and make a difference*. White Paper.
- Nielsen, S. L., & Stovang, P. (2015). DesUni: university entrepreneurship education through design thinking. *Education and Training*, *57*(8–9), 977–991. <https://doi.org/10.1108/ET-09-2014-0121>
- OECD. (2015). *Entrepreneurship at a Glance 2015*. https://doi.org/10.1787/ENTREPRENEUR_AAG-2015-EN
- Olechowski, A., Eppinger, S., & Joglekar, N. (2015). Technology readiness levels at 40: A study of state-of-the-art use, challenges, and opportunities. *IEEEExplore*. <https://doi.org/10.1109/PICMET.2015.7273196>
- O'shea, R. P., Allen, T. J., Chevalier, A., & Roche, F. (2005). Entrepreneurial orientation, technology transfer and spinoff performance of US universities. *Research Policy*, *34*(7), 994–1009. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2005.05.011>
- Ozcan, S., Stornelli, A., & Simms, C. (2024). A Product Innovation Readiness Level Framework. *IEEE Transactions on Engineering Management*, *71*, 9920–9937. <https://doi.org/10.1109/TEM.2023.3312595>
- Pandey, D. L., Uprety, S. K., & Risal, N. (2023). Personality traits and their impact on the social entrepreneurial intentions of management students: a test of big five personality approach. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, *12*(1), 1–25. <https://doi.org/10.1186/s13731-023-00342-8>
- Parra, M. E. G., Rodríguez, R. S., Educar, C. A. H. A.-, & undefined 2018. (2018). Los trabajos de fin de grado (FDP) como innovación en el EEES. Una propuesta de tarea colaborativa basada en la tutoría piramidal. *EDUCAR*, *54*, 369–389. <https://doi.org/10.5565/rev/educar.829>

Prince, M. J., & Felder, R. M. (2006). Inductive teaching and learning methods: Definitions, comparisons, and research bases. *Journal of Engineering Education*, 95(2), 123–138. <https://doi.org/10.1002/J.2168-9830.2006.TB00884.X>

Radko, N., Belitski, M., & Kalyuzhnova, Y. (2023). Conceptualising the entrepreneurial university: the stakeholder approach. *Journal of Technology Transfer*, 48(3), 955–1044. <https://doi.org/10.1007/S10961-022-09926-0>

Rideout, E. C., & Gray, D. O. (2013). Does entrepreneurship education really work? A review and methodological critique of the empirical literature on the effects of university-based entrepreneurship education. *Journal of Small Business Management*, 51(3), 329–351. <https://doi.org/10.1111/jsbm.12021>

Romero Caballero, S., Canquiz Rincón, L., Rodríguez Toscano, A., Valencia Pérez, A., & Moreno Gómez, G. (2025). Challenge-based learning and design thinking in higher education: Institutional strategies for linking experiential learning, innovation, and academic performance. *Innovations in Education and Teaching International*. <https://doi.org/10.1080/14703297.2024.2326191>

Sanders, E. B. N., & Stappers, P. J. (2014). Probes, toolkits and prototypes: Three approaches to making in codesigning. *CoDesign*, 10(1), 5–14. <https://doi.org/10.1080/15710882.2014.888183>

Schuelke-Leech, B.-A. (2021). Engineering Entrepreneurship Teaching and Practice in the United States. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 6, 1570–1589. <https://doi.org/10.1109/TEM.2020.2985350>

Sciarelli, M., Landi, G. C., Turriziani, L., & Tani, M. (2021). Academic entrepreneurship: founding and governance determinants in university spin-off ventures. *The Journal of Technology Transfer*, 46(4), 1083–1107. <https://doi.org/10.1007/S10961-020-09798-2>

Seijas, E. J., Val, J. C., Antelo, B. G., & Rodríguez, E. (2018). Percepciones del profesorado universitario sobre los procesos de organización y tutorización de los Trabajos Fin de Grado. *Revistas.Um.Es*. <https://revistas.um.es/reifop/article/view/332051>

Terrón-López, M. J., García-García, M. J., Velasco-Quintana, P. J., Ocampo, J., Montaña, M. R. V., & Gaya-López, M. C. (2017). Implementation of a project-based engineering school: increasing student motivation and relevant learning. *European Journal of Engineering Education*, 42(6), 618–631. <https://doi.org/10.1080/03043797.2016.1209462>

Tung, L. (2011). The impact of entrepreneurship education on entrepreneurial intention of engineering students. *Run Run Shaw Library - City University of Hong Kong*. <http://lbms03.cityu.edu.hk/theses/abt/phd-meemb40869337a.pdf>

Wong, P. K., Ho, Y. P., & Autio, E. (2005). Entrepreneurship, innovation and economic growth: Evidence from GEM data. *Small Business Economics*, 24(3), 335–350. <https://doi.org/10.1007/S11187-005-2000-1>

Zhang, P., Wang, D. D., & Owen, C. L. (2015). A study of entrepreneurial intention of university students. *Degruyter.Com*, 5(1), 61–82. <https://doi.org/10.1515/ERJ-2014-0004>

Zhao, H., Seibert, S. E., & Lumpkin, G. T. (2010). The relationship of personality to entrepreneurial intentions and performance: A meta-analytic review. *Journal of management*, 36(2), 381–404. <https://doi.org/10.1177/0149206309335187>

APÉNDICE A. Evaluación de los resultados del proyecto

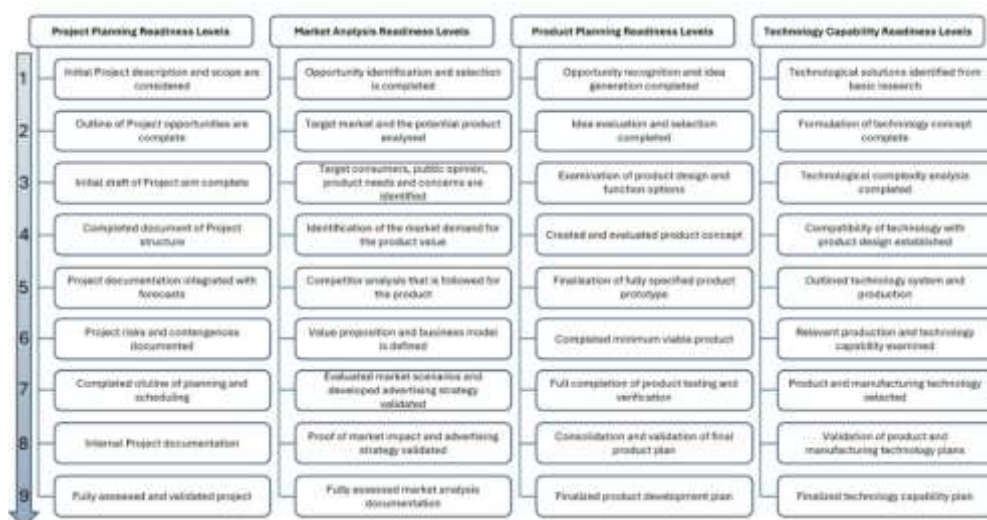


Fig. APÉNDICE A. Rúbrica de la fase 4.2 (Ozcan et al., 2024)

TABLA APÉNDICE A. Fase 4.2 Rúbrica

Dimensión 1: Rendimiento de las competencias de los estudiantes (fases 0-3)
¿En qué medida demostró el estudiante la aplicación de conocimientos técnicos en el proyecto?
¿El estudiante gestionó de forma independiente sus responsabilidades y tomó decisiones de manera eficaz?
¿En qué medida se adaptó el estudiante al entorno laboral real?
¿Demostró el estudiante iniciativa y capacidad para resolver problemas a lo largo del proyecto?
¿Con qué eficacia integró el estudiante habilidades transversales (blandas), como la comunicación y el trabajo en equipo?
Dimensión 2: Calidad de la propuesta del proyecto (fases 1 y 2)
¿El problema o reto que aborda el proyecto está claramente definido y es relevante?
¿El proyecto muestra originalidad, innovación o un valor práctico significativo?
¿Están los objetivos del proyecto bien alineados con la formación académica del estudiante?
¿El problema se ajusta a las 7 características del aprendizaje basado en retos?
Dimensión 3: Calidad del asesoramiento (fase 3)
¿Participó activamente el tutor en la supervisión y orientación del proceso del proyecto?
¿Recibió el estudiante comentarios regulares y estructurados tanto del tutor como del supervisor de la empresa?
¿La tutoría fue coherente y adecuada para el nivel de independencia del estudiante?
¿Con qué eficacia apoyó el tutor al estudiante en la preparación del informe técnico?
¿Los canales de comunicación entre el tutor, el supervisor y el estudiante fueron claros y productivos?
Dimensión 4: Panel de evaluación (fase 4 en sí)
¿Hubo pruebas de coherencia o discrepancias entre las calificaciones del tutor/supervisor y las del panel?
¿Estaban los miembros del panel adecuadamente preparados e informados sobre el proyecto del estudiante?
¿Reflejó la evaluación final del panel tanto un juicio holístico como componentes analíticos?
¿La composición del panel fue justa y diversa en cuanto a la experiencia relevante para el tema del proyecto?
Dimensión 5
Habilidades transversales del estudiante
Los requisitos están bien definidos y se realiza el análisis de los datos y los procesos.
El diseño se realiza de manera eficaz.
El diseño de la prueba es adecuado.
Habilidades transversales del estudiante
Pueden resolver problemas por sí mismos y proponer ideas innovadoras.
El estudiante puede resolver los retos que plantea el proyecto de manera eficiente.
El estudiante puede comunicarse eficazmente con todas las personas involucradas en el proyecto
Proceso
La planificación es adecuada.
El estudiante puede controlar las desviaciones del proyecto.
Se establece un plan de contingencia y mitigación para los posibles riesgos del proyecto
El estudiante elige la metodología que mejor se adapta al proyecto y la sigue
Producto
El producto es funcional, ha sido verificado y validado y cumple con los estándares de calidad
El informe técnico incluye todos los elementos necesarios para comprender el proyecto
Se alcanzan los objetivos principales y están debidamente justificados.
La calidad del producto es adecuada

APÉNDICE B. Preguntas y respuestas de las empresas emergentes

TABLA APÉNDICE B. Preguntas de la entrevista y resultados

Fases y preguntas		Correlación con la metodología	Escala Likert de 1 a 5, donde 1 es el menos aceptable		
			Inicio. A	Inicio. B	Inicio. C
Fase 1. Identificación de oportunidades					
1	Utilicé la lluvia de ideas, encuestas, mapas de recorrido u observación de clientes para encontrar un nicho.	T1.1	5	3	3
2	Identifiqué un problema del mundo real	T1.2. Característica «auténtico»	5	5	5
3	Al principio, el problema no estaba claramente definido	T1.2. Característica «ambigua»	4	4	3
4	Al principio, estaba abierto a varias soluciones (diferentes especificaciones técnicas).	T1.2. Característica «Mal estructurada y abierta»	5	5	4
5	El problema abordado requería habilidades tanto técnicas como sociales	T1.2. Característica «sociotécnica»	3	2	3
6	El reto era personalmente relevante o formaba parte de mi ecosistema	T1.2. Característica «integrado y encarnado»	5	4	5
Fase 2. Formulación del proyecto					
7	Utilicé la lluvia de ideas u otras técnicas de ideación para encontrar una solución.	T2.1.	4	3	1
8	Tuve que reducir mis soluciones	T2.2.	5	5	4
9	He definido una hoja de ruta clara	T2.3.	4	5	5
Fase 3. Desarrollo					
10	Tuve un mentor técnico	T3.1.	5	4	5
11	Tuve un mentor empresarial	T3.1.	1	1	2
12	Validé mi enfoque técnico con los usuarios o lo repetí con comentarios	T3.2.	4	5	4
13	Mis mentores participaron en esta fase	T3.3.	5	4	4
Fase 4. Validación y demostración					
14	En esta fase alcancé un MVP funcional.	T4.1.	5	5	3
15	Utilizamos cualquier indicador (técnico, basado en el mercado) para evaluar el prototipo.	T4.2.	4	3	3
16	Probé mi prototipo	T4.3.	5	4	3
17	Conocía las etapas TRL y las utilicé como guía para el desarrollo	T4.4.	3	3	5
Fase 5. Ecosistema y próximos pasos					
18	Tuve la oportunidad de presentar mi proyecto	T5.1.	5	4	5
19	Tuve oportunidades de incubación dentro de mi universidad	T5.2.	5	2	5
20	Creé un plan de negocio después de mi tesis	T5.3.	5	4	4