



**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA SELECCIÓN DE
PROYECTOS DE I+D PARA DISTRIBUIR RECURSOS DE COFINANCIACIÓN
EN UNA ENTIDAD PÚBLICA**

ANA MARÍA SALAZAR GÓMEZ

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

MAESTRÍA EN GESTIÓN TECNOLÓGICA

MEDELLÍN, COLOMBIA

2020

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA SELECCIÓN DE
PROYECTOS DE I+D PARA DISTRIBUIR RECURSOS DE COFINANCIACIÓN
EN UNA ENTIDAD PÚBLICA**

ANA MARÍA SALAZAR GÓMEZ

Trabajo de grado para optar por el título de Magíster en Gestión Tecnológica

Director

Santiago Quintero Ramírez

PhD. MS.c.

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

MAESTRÍA EN GESTIÓN TECNOLÓGICA

MEDELLÍN, COLOMBIA

2020

Medellín, febrero 24 de 2020

Ana María Salazar Gómez

“Declaro que este trabajo de grado no ha sido presentado con anterioridad para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o cualquier otra universidad” Art. 92, párrafo, Régimen Discente de Formación Avanzada.



Ana María Salazar Gómez

Agradecimientos

Total agradecimiento a todos los que estuvieron presentes y contribuyeron a la realización de este trabajo, en especial a mi familia, amigos, mis grandiosos compañeros de trabajo, las asesorías de la universidad y los expertos quienes amablemente aceptaron aportar a una parte importante de la investigación.

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
2	MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	3
2.1	Marco Conceptual	3
2.2	Estado del arte	5
2.3	Problemática de Ruta N.....	12
2.4	Pregunta de Investigación	14
2.5	Hipótesis	15
2.6	Objetivos	15
2.6.1	Objetivo General	15
2.6.2	Objetivos Específicos	15
2.7	Metodología.....	16
3	ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN... ..	18
3.1	Etapa 1: Revisión de Métodos de evaluación y selección de proyectos	18
3.1.1	Métodos y criterios de evaluación de proyectos de I+D	18
3.1.2	Algunas metodologías de evaluación	39
3.2	Etapa 2: Selección de métodos y criterios.....	44
3.2.1	Proceso Analítico Jerárquico AHP	45

3.2.2	Criterios de evaluación.....	53
3.2.3	Consulta a expertos	55
3.3	Etapa 3: Propuesta metodológica	68
3.3.1	Momento previo	69
3.3.2	Momento de evaluación	71
3.3.3	Momento de selección de proyectos.....	74
3.4	Etapa 4: Aplicación del instrumento	75
4	CONCLUSIONES.....	79
5	TRABAJOS FUTUROS.....	81
6	REFERENCIAS.....	82
7	ANEXOS	88

TABLAS

Tabla 1. Technology Readiness Level TRL.....	5
Tabla 2. Literatura revisada de modelos cuantitativos en selección de proyectos y asignación de recursos.....	19
Tabla 3. Literatura de modelos ajustados para la evaluación de proyectos de I+D .	21
Tabla 4. Jerarquía y criterios del modelo de selección del Programa de Desarrollo Tecnológico de Taiwan ITDP.	26
Tabla 5. Filtros y subfiltros como criterios de evaluación de proyectos de I+D.	30
Tabla 6. Dimensiones y criterios para evaluar proyectos de I+D	30
Tabla 7. Criterios y subíndices del sistema de evaluación.....	32
Tabla 8. Criterios de evaluación para propuestas de proyectos	34
Tabla 9. Perspectivas y criterios para la evaluación de proyectos de I+D.....	35
Tabla 10. Factores, grupos y criterios de evaluación de proyectos de I+D.	36
Tabla 11. Criterios en análisis envolvente de datos	37
Tabla 12. Comparativo de criterios y métodos para la evaluación de proyectos de I+D propuestos en artículos y publicaciones de diversos autores.	38
Tabla 13. Escala fundamental de números absolutos para medir la intensidad de importancia.....	48
Tabla 14. Índice de consistencia aleatorio	52
Tabla 15. Lista de criterios y categorías de evaluación de proyectos de I+D propuesta.	53

Tabla 16. Ejemplo de valoración de los criterios por pares según escala fundamental en AHP.....	56
Tabla 17. Referencia sobre la ponderación para cada uno de los criterios.	57
Tabla 18. Pesos de Categorías de criterios según expertos.....	58
Tabla 19. Promedio, media geométrica y desviación de los pesos de las categorías.	58
Tabla 20. Pesos de criterios según expertos.....	60
Tabla 21. Promedio, media geométrica y desviación de los pesos de los criterios..	61
Tabla 22. Ejemplo de datos de una matriz consistente de orden 6.	63
Tabla 23. Promedio de la ponderación entre expertos empresas y Ruta N para los grupos de criterios.	64
Tabla 24. Promedio de la ponderación entre expertos empresas y Ruta N para los criterios de evaluación de I+D.	65
Tabla 25. Evaluación de proyectos y ejemplo de puntaje obtenido para los criterios del componente científico y tecnológico	76
Tabla 26. Promedio consolidado de ejemplo de evaluación de un proyecto para los criterios del componente científico y tecnológico	77
Tabla 27. Priorización de proyectos.....	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Gasto de I+D por país.....	6
Figura 2. Gasto de I+D en Colombia.....	7
Figura 3. Esquema metodológico del proyecto a desarrollar.....	16
Figura 4. Diagrama de flujo para el sistema de evaluación de I+D.....	41
Figura 5. Selección de propuestas de investigación y proceso de financiación.....	43
Figura 6. Proceso de asignación de evaluadores de propuestas de proyectos de I+D.	44
Figura 7. Gráfico de categorías de criterios de evaluación vs el peso según cada experto.....	59
Figura 8. Pesos a los criterios por parte de expertos.....	62
Figura 9. Ponderación de grupos de criterios entre expertos empresas y Ruta N....	64
Figura 10. Distribución de pesos del criterio de componente científico y tecnológico	66
Figura 11. Distribución de pesos del criterio de aplicaciones y beneficios potenciales	66
Figura 12. Distribución de pesos del criterio de equipo de trabajo y capacidades ..	66
Figura 13. Distribución de pesos del criterio de calidad de la propuesta.....	67
Figura 14. Distribución de pesos del criterio de resultados propuestos.....	67
Figura 15. Distribución de pesos del criterio de potencial de mercado	67
Figura 16. Distribución de pesos del criterio de riesgos.....	68
Figura 17. Propuesta metodológica, momentos, decisiones e instrumentos a usar..	69

Figura 18. Propuesta metodológica, momento previo.	70
Figura 19. Ejemplo de visualización de campos del formulario de proyectos.....	71
Figura 20. Propuesta metodológica, momento de evaluación.....	71
Figura 21. Imagen de referencia del instrumento de evaluación de proyectos en línea.	72
Figura 22. Propuesta metodológica, momento de selección de proyectos.....	74

RESUMEN

El proceso de evaluación de proyectos de I+D y la selección de los criterios por parte de una entidad pública, está basado en el conocimiento y experiencias de encargados de convocatorias, lo cual puede llevar a la subjetividad de la evaluación por la postura personal que puede tener cada persona. En consecuencia, este proceso de evaluación es crítico para determinar la financiación de un proyecto. Para dar respuesta a esto, el planteamiento de esta investigación se aborda en cuatro (4) etapas. La primera, explora la literatura en bases de datos estructuradas para conocer el estado del arte en cuanto a los métodos y criterios utilizados para la evaluación y selección de proyectos de I+D. En la segunda etapa, se definen los criterios utilizados para evaluar proyectos de I+D, así como la escala de medición de los criterios y la forma de ponderación. Estos criterios son seleccionados y validados con una encuesta que se aplicaron a expertos en ejecución de proyectos de ciencia y tecnología. En la tercera etapa se propone la metodología con los elementos más pertinentes a utilizar en el proceso de evaluación y selección de proyectos de I+D, así como las fases o momentos que constan en el contexto de una entidad pública. Finalmente, en la cuarta etapa, se aplican los instrumentos desarrollados en la metodología de evaluación a un grupo de proyectos para analizar sus resultados. Con esta investigación, se logra realizar una propuesta metodológica con unos momentos claros del proceso de evaluación y unos instrumentos que permiten probarse con la aplicación de varios proyectos de I+D, los cuales pueden priorizarse y definir la distribución de recursos que puede hacer una entidad pública.

Palabras claves: metodología de evaluación, Investigación y desarrollo, proyecto de I+D, criterios de evaluación, selección de proyectos.

ABSTRACT

The evaluation process of R&D projects and the criteria selection by a public entity, is based on the knowledge and experiences of managers, which can lead to the subjectivity of the evaluation because of every person position. Consequently, it is critical to determine the funding of a project. To respond to this, the approach of this research is addressed in four (4) stages. The first one explores the literature in structured databases to understand the state of the art in terms of the methods and criteria used for the evaluation and selection of R&D projects. In the second stage, the criteria used to evaluate R&D projects are defined, as well as the scale of measurement of the criteria and the form of weighting. These criteria are selected and validated with a survey with experts. In the third stage, the methodology is proposed with the most pertinent elements to be used in the process of evaluation and selection of R&D projects, as well as the phases or moments that appear in the context of a public entity. Finally, in the fourth stage, the instruments developed in the evaluation methodology are applied to a group of projects to analyze their results. With this research, a methodological proposal is achieved with clear moments of the evaluation process and instruments that allow testing with the application of several R&D projects, which can be prioritized and define the distribution of resources that a public entity can make.

Keywords: Evaluation methodology, Research and development, R&D Project, evaluation criteria, Project selection.

1 INTRODUCCIÓN

En la literatura se pueden encontrar cientos de modelos cualitativos y cuantitativos para seleccionar proyectos de Investigación y Desarrollo (I+D), según el enfoque de selección, sea para obtener un portafolio óptimo, o proyectos que coincidan con los objetivos de una organización. Son pocas las propuestas de referencias literarias desde un enfoque de entidad pública, la cual usa recursos públicos para financiar proyectos en etapas tempranas como la de I+D y que requiere de criterios y pesos objetivos y transparentes para hacer su proceso de selección.

Para tal fin, se presenta una metodología de evaluación de proyectos de I+D, que facilite la selección y distribución de recursos a cofinanciar por una entidad pública. El planteamiento de esta investigación se aborda en cuatro (4) etapas. Una primera etapa, en el Capítulo 3.1, se explora la literatura en bases de datos estructuradas para conocer el estado del arte en cuanto a los métodos y criterios utilizados por diferentes empresas o entidades para la evaluación y selección de proyectos de I+D, que tengan diferentes fines. De esta exploración se enfocan los métodos que puedan ser más compatibles o aplicados al contexto de entidades públicas. En una segunda etapa, en el Capítulo 3.2, se definen los criterios utilizados para evaluar proyectos de investigación y desarrollo, así como la escala de medición de los criterios y la forma de ponderación. Estos criterios son seleccionados y validados aplicando una encuesta con expertos en el desarrollo de proyectos de I+D, para definir los que sean más aplicables al contexto de las entidades públicas. En la tercera etapa de la investigación, que se presenta en el Capítulo 3.3, se propone la metodología con los elementos más pertinentes a utilizar en el proceso de evaluación y selección de proyectos de I+D, así como las fases o momentos que constan en el contexto de una entidad pública, las cuales se proponen en tres momentos: uno previo, uno de evaluación y uno de selección de proyectos.

Finalmente, en la cuarta etapa, que se presenta en el Capítulo 3.4, se aplican los instrumentos desarrollados en la metodología de evaluación a un grupo de proyectos para analizar sus resultados.

Para los momentos de la propuesta metodológica, detallados en el Capítulo 3.3, se proponen cuatro (4) instrumentos para realizar los cálculos:

Un instrumento de consulta a expertos, donde consolida la experiencia de evaluadores expertos para definir la ponderación de los criterios de evaluación de los proyectos. Este instrumento usa el Proceso Analítico Jerárquico (AHP por sus siglas en inglés) para desglosar la evaluación y el peso que debe tener cada categoría y criterio, haciendo una comparación por pares de cada criterio.

Un instrumento tipo formulario de proyectos con las preguntas orientadoras para que los proponentes puedan diligenciar la información del proyecto de I+D.

Un instrumento de evaluación de proyectos, el cual se basa en *scoring* o puntajes para cada uno de los criterios de evaluación. Al contar con los pesos de los criterios, obtenidos en la consulta a expertos, se calcula el puntaje final de evaluación del proyecto.

Un instrumento de priorización de proyectos con el listado de resumen de los proyectos evaluados, puntaje obtenido, recursos solicitados y duración de ejecución.

Como hallazgo relevante de esta propuesta metodológica, la evaluación de proyectos se puede hacer más objetiva, sustentada y transparente por parte de una entidad pública. Para tal efecto, cuenta con un proceso sólido, unos criterios y pesos validados por parte de expertos, lo cual genera rigor y contempla elementos según la experticia de dichos expertos.

2 MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 Marco Conceptual

A continuación, se explican y definen algunos conceptos que se destacan con el fin de aclarar su significado, el cual será usado a lo largo del documento de estudio.

Proyecto de Ciencia Tecnología e Innovación (en adelante CTeI): Es un conjunto coherente e integral de actividades de ciencia tecnología e innovación que comprende las calificaciones establecida en la ley como proyectos de “carácter científico, tecnológico o de innovación” “de investigación y desarrollo tecnológico” o “de alto contenido de investigación científica y tecnológica” (Colciencias, 2014).

Método: constituye el conjunto de procedimientos y operaciones que realizamos para llegar a la meta. (Virtual, 2011)

Metodología: se refiere al estudio del método. Analiza los procedimientos que en la realidad han seguido los científicos para construir nuevos conocimientos, de reflexionar sobre esos procedimientos, pero además de descubrir la lógica que los articula y de proponer correcciones a dichos procedimientos (Virtual, 2011)

Investigación y Desarrollo (I+D): Comprende el trabajo creativo llevado a cabo de forma sistemática para incrementar el volumen de conocimientos, incluido el conocimiento del hombre, la cultura y la sociedad, y el uso de esos conocimientos para crear nuevas aplicaciones. Se pueden distinguir tres tipo de I+D: investigación básica, investigación aplicada y desarrollo experimental (OECD, 2002).

Investigación básica: “Consiste en trabajos experimentales o teóricos que se emprenden principalmente para obtener nuevos conocimientos acerca de los fundamentos de los fenómenos y

hechos observables, sin pensar en darles ninguna aplicación o utilización determinada” (OECD, 2002).

Investigación aplicada: Consiste en trabajos originales realizados para adquirir nuevos conocimientos; sin embargo, está dirigida fundamentalmente hacia un objetivo práctico específico (OECD, 2002).

Desarrollo experimental: “consiste en trabajos sistemáticos que aprovechan los conocimientos existentes obtenidos de la investigación y/o la experiencia práctica, y está dirigido a la producción de nuevos materiales, productos o dispositivos; a la puesta en marcha de nuevos procesos, sistemas y servicios, o a la mejora sustancial de los ya existentes” (OECD, 2002).

TRL – *Technology Readiness Level* – (Nivel de alistamiento o madurez tecnológica): es un sistema de medición que respalda las evaluaciones de la madurez de una tecnología particular y la comparación consistente de madurez entre diferentes tipos de tecnología. Se ha utilizado durante muchos años en la planificación del proceso de maduración de la tecnología espacial de la NASA (Mankins, 1995). Su escala de medición va desde el nivel 1 al 9, donde el nivel más bajo es la investigación científica que comienza a ser traducida en algo más aplicado y el nivel más alto es que las tecnologías son aplicadas en el sistema completo. Esta escala de medición fue utilizada por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, la Agencia Espacial Europea, entre otros gobiernos y organizaciones militares. En 2009, la Comisión Europea usa el TRL como una herramienta dentro de su estrategia para el desarrollo de tecnologías claves habilitantes y es interpretada como una métrica que muestra qué tan distante se encuentra una tecnología de estar lista para el uso en su ambiente operacional intencionado. Al inicio, este ambiente era el espacio, pero desde una perspectiva más amplia se interpreta como el alistamiento de un producto para el mercado (Héder, 2017).

Tabla 1. Technology Readiness Level TRL

Entorno y clasificación I+D+i	TRL	Definición
Entorno de Laboratorio Investigación	TRL 1	Principios básicos observados y reportados
	TRL 2	Concepto y/o aplicación tecnológica formulada
	TRL 3	Función crítica analítica y experimental y/o prueba de concepto característica
	TRL 4	Validación de componente y/o disposición de los mismos en entorno de laboratorio
Entorno de Simulación Desarrollo	TRL 5	Validación de componente y/o disposición de los mismos en un entorno relevante
	TRL 6	Modelo de sistema o subsistema o demostración de prototipo en un entorno relevante
Entorno real Innovación	TRL 7	Demostración / Validación de sistema o prototipo en un entorno real
	TRL 8	Sistema completo y certificado a través de pruebas y demostraciones
	TRL 9	Sistema probado con éxito en entorno real

Fuente: Adaptado de (Mankins, 1995).

2.2 Estado del arte

El *Institute for Statistics* de UNESCO menciona en el *R&D Survey Launch* (2018) que los resultados de la encuesta y estudios han encontrado que cada dólar invertido de I+D genera casi dos dólares en retorno. Si bien la tasa puede variar, la I+D es un importante motor del crecimiento económico. Adicionalmente, como parte de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) especificados en las Naciones Unidas (2015), los países se han comprometido a "construir una infraestructura resistente, promover una industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación". En particular, el objetivo 9.5 les pide que fomenten la innovación y aumenten sustancialmente el número de investigadores, así como el gasto público y privado en I+D.

Este instituto de la UNESCO es responsable de producir dos indicadores clave para monitorear el progreso hacia esta meta: el gasto de I+D como proporción del PIB y los investigadores por millón de habitantes. Estos indicadores se basan en los datos recopilados a

través de la encuesta anual de I+D y los datos obtenidos de socios regionales, como Eurostat, OCDE y RICYT.

En la siguiente imagen se puede ver el gasto de I+D por país, con una visualización desarrollada por la UNESCO (2018b). Cada círculo es la cantidad del gasto por país según el poder adquisitivo en dólares. El eje horizontal indica que los países que se encuentren más a la derecha tienen un mayor gasto con respecto a su PIB y el eje vertical muestra que a mayor número es la cantidad de investigadores por millón de habitantes.

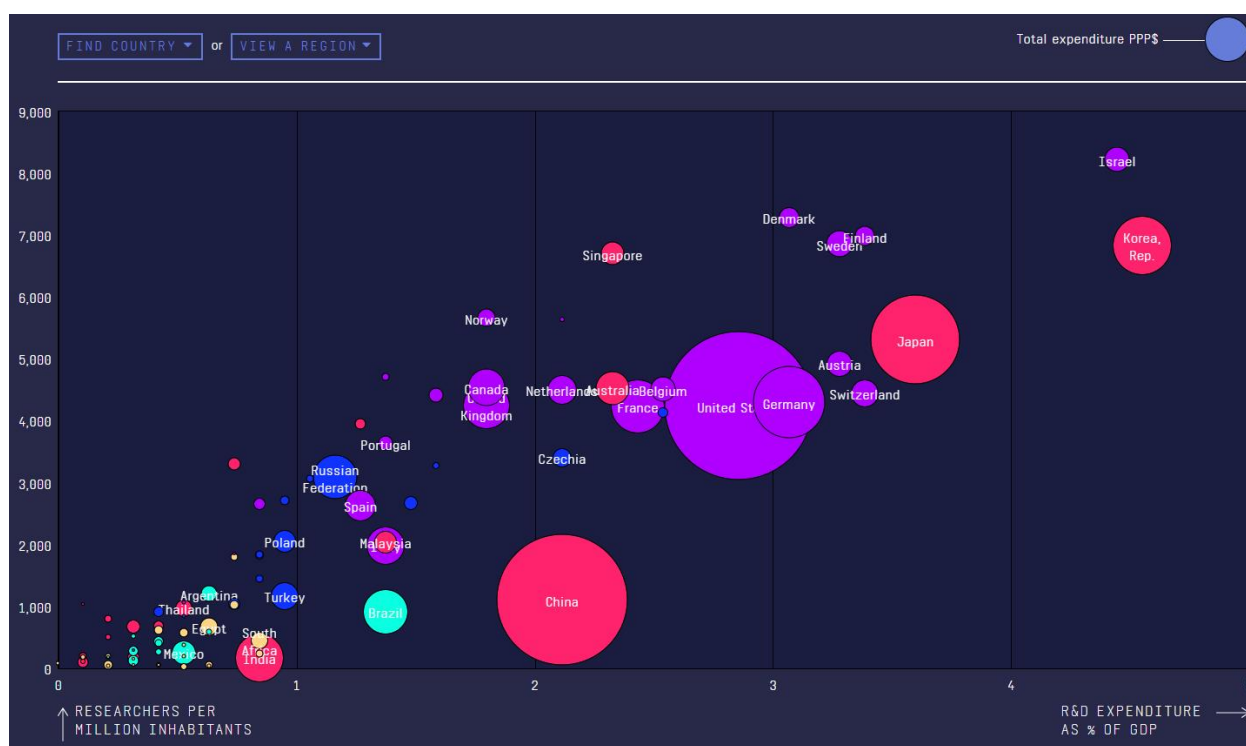


Figura 1. Gasto de I+D por país.

Fuente: Tomado de <http://uis.unesco.org/apps/visualisations/research-and-development-spending/> Fecha de captura: 2019/01/02

Para el caso de Colombia, en 2018 la inversión en I+D con respecto al PIB es del 0,3%.



Figura 2. Gasto de I+D en Colombia.

Fuente: Tomado de <http://uis.unesco.org/apps/visualisations/research-and-development-spending/> Fecha de captura: 2019/01/02

Esta dinámica de baja inversión de I+D conlleva a la necesidad de ser más rigurosos con las inversiones en los proyectos que más se ajustan a las prioridades de quien tiene los recursos para ello, teniendo en cuenta que posteriormente tendrá un efecto macroeconómico positivo.

Esta rigurosidad en la selección de los proyectos a invertir no es una preocupación nueva, sino que se ha tenido desde hace varias décadas, por lo que se ha generado investigación al respecto con la intención de tener más y mejores elementos y metodologías de evaluación para la toma de decisiones de los proyectos a invertir.

La mayoría de las investigaciones en la selección de proyectos de I+D se ha concentrado para el sector privado, mientras que pocas investigaciones se han realizado para los proyectos financiados por el gobierno. De acuerdo con Huang, Chu, y Chiang (2008) los proyectos del gobierno difieren con los del sector privado en cuatro aspectos:

1. La I+D apoyada por el gobierno es, por naturaleza, una inversión estratégica y de largo plazo. Por lo tanto, los enfoques convencionales de justificación financiera son probablemente inadecuados.

2. Los factores políticos y las partes interesadas siempre influyen en la asignación de recursos de I+D en el sector público.
3. La dificultad para seleccionar los proyectos de I+D aumenta debido a la ambigüedad de la tecnología innovadora y la falta de expertos.
4. La I+D requiere técnica y está influenciada por las políticas gubernamentales.

De acuerdo con el planteamiento de Kutlaca (1997), se han intentado muchas maneras de introducir objetividad, entendimiento holístico y métodos basados en ciencia para resolver el problema de la selección de proyectos de I+D a ser financiados. El problema es técnico, político, complejo y muy sensible en el marco de las políticas de innovación nacional, sectorial o de una compañía.

Esta dinámica es visible en Colombia, con los diferentes programas para el apoyo a la investigación, tanto de orden nacional como local en los diferentes territorios. Muchos gobiernos locales no cuentan con los recursos ni con las capacidades para financiar proyectos de investigación y desarrollo, por lo que ni procesos de selección tienen para ello. Adicionalmente, así como mencionó Hall y Nauda (1988), la selección de proyectos de I+D involucra un nivel de incertidumbre para la toma de decisiones y hace complejo establecer la relación cuantitativa entre el proyecto de I+D y el potencial para generar nuevos negocios en un área específica. Además, los objetivos de los proyectos pueden cambiar en varias oportunidades, a medida que se progresa para completarlos.

Las contribuciones de I+D son a veces difíciles de medir y separar de las otras actividades organizacionales, como fabricación, marketing y desarrollo comercial, que pueden desempeñar roles de importancia variable en el desarrollo, fomento y comercialización de la base de conocimiento de I+D. Los retornos de los proyectos de I+D, según Liberatore (1987), son

multidimensionales por naturaleza y riesgosos en términos del resultado proyectado. Además, los beneficios financieros directos de este tipo de proyectos pueden ocurrir de diez a veinte años en el futuro.

Para el desarrollo de I+D, también es importante tener en cuenta el rol de los gerentes de programas de I+D de empresas e instituciones, que tienen dentro de sus funciones seleccionar una combinación equilibrada de proyectos propuestos y en ejecución que den como resultados un portafolio que haga uso óptimo de los recursos disponibles y limitados que ayuden a mejorar la ventaja competitiva de la empresa. Es por eso que para esta selección equilibrada de proyectos los gerentes deben entender muy bien el proceso de evaluación:

“En los procesos de evaluación de los proyectos es más probable que se confíe en un sistema que los gerentes puedan entender y, en consecuencia, es más probable que se utilice. Al mantenerlo simple, existe una mayor probabilidad de que dicho sistema se implemente correctamente” (Bitman & Sharif, 2008).

En 1974, Baker comentaba que el proceso de I+D era altamente incierto e impredecible y como resultado, los gerentes eran escépticos de la validez de los numerosos datos de entrada, de los diversos modelos de formularios difíciles de entender y de las recomendaciones de asignación de recursos posteriores. La incertidumbre en el proceso de I+D se traduce en riesgo en el proceso de decisión de selección del proyecto de I+D y tiene un fuerte impacto en el problema de la estimación de beneficios. Baker complementaba sus planteamientos mencionando que la actitud de gestión no era suficiente para analizar actividades impredecibles y de ruptura que son las más complejas de gestionar.

De acuerdo con Souder y Mandakovic (1986) citados en Chien (2002), el número de modelos para selección de proyectos de I+D, junto con el interés de aplicarlos, creció

exponencialmente en 1950 y 1960. Sin embargo, la tendencia se reversó desde mediados de los años 70.

La diversificación de un portafolio de proyectos es motivada por la variación del riesgo en etapas muy tempranas como la I+D o un poco más avanzadas como la comercialización. Santiago y Vakili (2005) plantean una problemática con ambas etapas para el caso de las empresas, dado que para el desarrollo de nuevos productos pueden tener dificultades para obtener fondos, y las que tienen éxito en el desarrollo de productos prometedores e innovadores les resulta mucho más fácil obtener recursos para su comercialización.

Según la revisión de literatura de Santiago y Vakili (2005), la selección de proyectos de I+D y la asignación de recursos se puede agrupar en 2 corrientes principales, los enfoques cuantitativos y herramientas gráficas basadas en emplear gráficos y diagramas. Los enfoques gráficos para la asignación de recursos abordan el problema de la selección de proyectos mediante técnicas cualitativas, como el uso de diagramas de burbujas, modelos de puntuación para la clasificación y selección de proyectos, y el plan agregado del proyecto y / o mapas de desarrollo de productos.

En la literatura existen cientos de modelos cualitativos y cuantitativos para la selección de proyectos de I+D (Coffin & Taylor, 1996), que incluyen modelos financieros, modelos de listas de chequeo, teoría de decisión, modelos de consenso, modelos de portafolio, entre otros más, de acuerdo con el problema de selección que se enfoque, sea para obtener una selección óptima para un portafolio o proyectos que mejor coincidan con los objetivos de una organización.

Según Meade y Presley (2002) en Huang, Chu, y Chiang (2008), hay cuatro (4) necesidades principales para la selección de proyectos de I+D:

1. La necesidad de relacionar los criterios de selección con las estrategias corporativas.

2. La necesidad de considerar los beneficios y riesgos cualitativos de los proyectos propuestos.
3. La necesidad de conciliar e integrar las necesidades y deseos de las diferentes partes interesadas
4. La necesidad de considerar los procesos de decisión en múltiples etapas y grupos.

La incertidumbre, la interrelación de proyectos, el cambio de proyectos en el tiempo y los factores de éxito que son difíciles de medir, complican la selección de proyectos de I+D (Coldrick, Lawson, Ivey, & Lockwood, 2002).

Adicionalmente Meade y Presley (2002a), plantean las siguientes limitaciones existentes de los modelos de selección de proyectos de I+D:

- Tratamiento inadecuado de múltiples criterios de evaluación, a menudo interrelacionados.
- Una incapacidad para manejar los aspectos no monetarios y el tratamiento inadecuado de las interrelaciones entre los proyectos.
- No reconocimiento explícito e incorporación de la experiencia y conocimiento de los gerentes de I+D.
- Las percepciones de los gerentes de I+D en cuanto a que estos modelos son difíciles de entender y utilizar.

Según Bhattacharyya (2015) con las crecientes competencias y limitación en los recursos financieros, el camino para seleccionar proyectos de I+D que maximicen en alguna medida de utilidad o beneficio a la organización, se ha convertido en un camino crítico. El propósito de las decisiones del portafolio de proyectos es asignar limitados recursos a proyectos, de una manera que haya balance con el riesgo, la retribución y alineación con la estrategia corporativa. Para el

caso del Estado o las entidades de gobierno, debe haber una alineación con la estrategia y oportunidades de la ciudad o territorio marco.

En el caso de entidades privadas, como las firmas de capital de riesgo que reciben cientos de planes de negocios de empresarios, sólo pueden invertir en algunos de los más prometedores y la decisión de inversión se hace esencial con la evaluación de I+D realizada o los productos innovadores desarrollados (Wang, Wang, & Hu, 2005). Es de tener en cuenta que las evaluaciones se realizan tanto cualitativamente mediante el *due diligence*, como subjetivamente confiando en la experiencia de quienes evalúan los proyectos en estas firmas.

Los negocios son una combinación entre la planeación estratégica de largo plazo y corto plazo, del presupuesto anual y el plan de operaciones para asignar los recursos de manera óptima. Es por ello que Hall y Nauda (1988) plantean que no es sólo cuestión de seleccionar un subconjunto de proyectos de un conjunto más amplio de proyectos propuestos, sino que la planificación estratégica determina una dirección óptima de I+D frente a fuerzas externas, tales como tendencias competitivas, tendencias del mercado, cliente y tendencias tecnológicas, así como fuerzas internas tales como fortalezas y debilidades de la empresa, limitaciones presupuestarias, y demandas conflictivas de unidades u organizaciones comerciales internas competidoras dentro de una empresa.

2.3 Problemática de Ruta N

El objetivo de Ruta N es mejorar la calidad de vida y aumentar el empleo en la ciudad de Medellín a través de la ciencia, la tecnología y la innovación. Para ello, se desarrollan proyectos y programas en conjunto con universidades, empresas y otro tipo de redes para fortalecer las capacidades, desarrollar nuevas tecnologías y generar ventajas competitivas que lleve a los desarrollos a ser reales innovaciones de impacto social y ambiental.

Ruta N es una entidad pública. Los proyectos que impulsa son ejecutados con recursos de la ciudad de Medellín. Algunos de estos proyectos han sido convocatorias de cofinanciación de proyectos de ciencia y tecnología, en diversas etapas de I+D+i, a los cuales se les pueda entregar recursos para lograr el cumplimiento de los objetivos del proyecto, según el foco de la brecha que se busque cerrar en la ciudad.

Las convocatorias se han llevado a cabo con la publicación de los términos y condiciones para acompañar o cofinanciar los proyectos. El detalle de los términos abarcan los objetivos de la convocatoria, los requisitos de presentación de proyectos, el proceso de evaluación, criterios y puntajes para seleccionarlos.

La selección de criterios y el proceso de evaluación se han realizado basado en el conocimiento de los encargados y la experiencia en convocatorias previas que han llevado a ajustes de criterios, pesos y puntajes. Estos últimos son varios de los elementos más críticos en la selección de proyectos, porque al no tenerlos bien estructurados y definidos, puede dejar a buenos proyectos por fuera de los elegidos.

En Ruta N se tienen detectadas las siguientes necesidades con respecto a proyectos en etapa temprana como investigación y desarrollo:

- Con el desarrollo de este mecanismo para cofinanciar proyectos de investigación y desarrollo, se contribuye con una herramienta para compartir el riesgo con organizaciones en búsqueda de desarrollar nuevas tecnologías de impacto.
- Hacer sostenible los recursos públicos para reinvertir en más proyectos de investigación durante el tiempo.

- Compartir el riesgo entre la institución pública para invertir en tecnologías que tendrán impacto para su ciudad y desarrollar nuevo conocimiento y aumentar capacidades de equipos de investigadores conformados por universidades y empresa
- Apoyar el desarrollo de nuevas tecnologías.
- Una manera de impactar el desarrollo de tecnologías, hacerlo sostenible sin quitar el fomento en el tiempo por la ejecución de recursos.

Los elementos anteriormente mencionados plantean una forma más objetiva y estructurada de la metodología de evaluación de proyectos, particularmente los que se encuentran en etapas de I+D, dado que son más riesgosos y son pocas las instituciones en Colombia y en las ciudades que tienen fuentes para entregar recursos para estos. Es por eso que se presenta la necesidad de definir una metodología de evaluación de proyectos, que aclare el proceso y cuente con las herramientas e instrumentos para definir los criterios de evaluación y los pesos, que se ajusten a la visión y lineamientos del gobierno en cuanto a los proyectos de I+D de los cuales se puedan tener resultados a mediano o largo plazo y apoyen el proceso de transformación del territorio.

2.4 Pregunta de Investigación

¿Cuál es la metodología de evaluación de proyectos de I+D, que facilita la selección de proyectos y distribución de los recursos a cofinanciar en una entidad pública como RUTA N, a partir de los criterios de evaluación más relevantes?

2.5 Hipótesis

El diseño y desarrollo de una propuesta metodológica que facilite la selección de proyectos de I+D, a partir de los criterios de decisión más relevantes, permite una mejor distribución de recursos de cofinanciación en una entidad pública como lo es RUTA N.

2.6 Objetivos

2.6.1 Objetivo General

Desarrollar una metodología de evaluación de proyectos de I+D, que facilite la distribución de recursos a cofinanciar por parte de una entidad pública como RUTA N, a partir de los criterios más relevantes de selección de proyectos.

2.6.2 Objetivos Específicos

- Analizar los métodos de evaluación y selección de proyectos de I+D presentados en la literatura.
- Definir los criterios más pertinentes para la selección y evaluación de proyectos de I+D, así como su escala de medición.
- Diseñar una metodología y su respectivo instrumento para la selección de proyectos de I+D que puedan ser cofinanciados con recursos públicos.
- Aplicar el instrumento desarrollado a un grupo de proyectos de I+D a cofinanciar en una entidad pública como RUTA N.

2.7 Metodología

Este es un proyecto de investigación de carácter descriptivo y explicativo; aborda variables de tipo cualitativo y busca su medición de forma cuantitativa, para lo cual se desarrollarán las siguientes etapas (ver Figura 3):

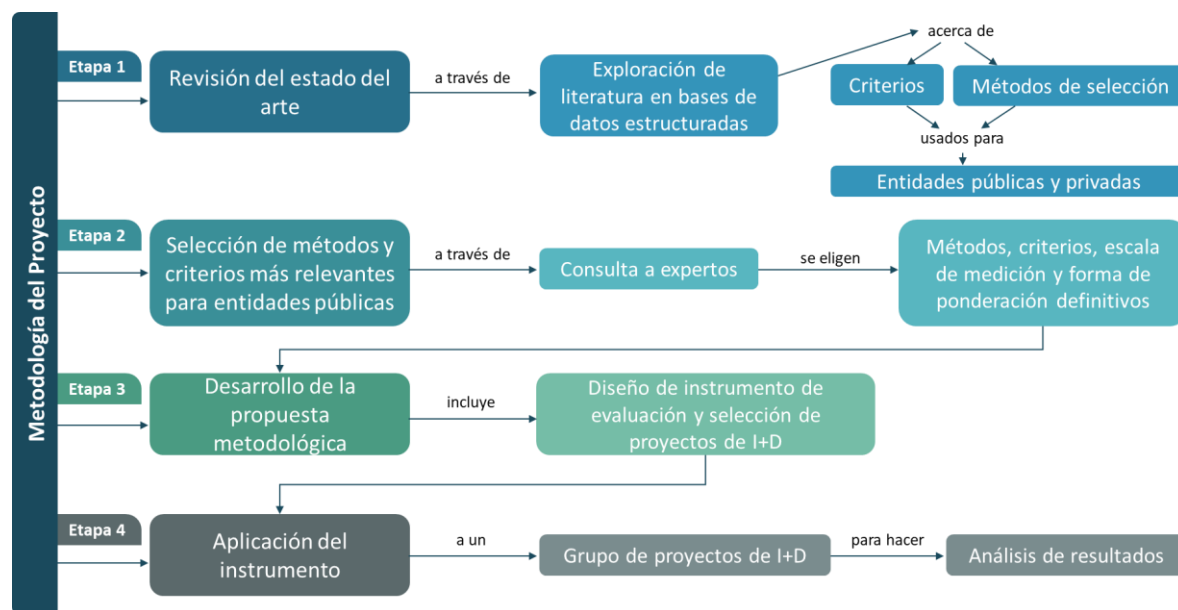


Figura 3. Esquema metodológico del proyecto a desarrollar

Fuente: Elaboración propia de la autora.

- Se realizará una exploración de la literatura en bases de datos estructuradas para conocer el estado del arte en cuanto a los métodos y criterios utilizados por diferentes empresas o entidades para la evaluación y selección de proyectos de investigación y desarrollo, que tengan diferentes fines. De esta exploración se enfocarán los métodos que puedan ser más compatibles o aplicados al contexto de entidades públicas, así como el proceso y fases que llevan a cabo para la selección de proyectos.
- Se extraerá de la revisión de literatura, los criterios utilizados para evaluar proyectos de investigación y desarrollo, así como la escala de medición de los criterios y la forma de ponderación. Estos criterios serán seleccionados y validados aplicando una encuesta con

expertos en el desarrollo de proyectos de I+D, para definir los que sean más aplicables al contexto de las entidades públicas.

- Se propondrá la metodología con los elementos más pertinentes a utilizar en el proceso de evaluación y selección de proyectos de I+D, así como las fases que constan en el contexto de una entidad pública. A partir de esta propuesta, se diseñará un instrumento que integre los criterios antes definidos.
- El instrumento desarrollado será aplicado a un grupo de proyectos de I+D (propuestos o ejecutados) para probar su funcionalidad y se analizarán los resultados de dicha aplicación.

3 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Dado que la investigación se divide en 4 etapas de acuerdo con los objetivos planteados, a continuación se expone el análisis de resultados y hallazgos para cada una de estas etapas, donde para la etapa 1 se tendrá la revisión y análisis de los métodos de evaluación y selección de proyectos de I+D en la sección 3.1; para la etapa 2 de selección de métodos y criterios se detalla la información en la sección 3.2; la etapa 3 que contiene el desarrollo de la propuesta metodológica se presenta en la sección 3.3 y la etapa 4 muestra los resultados sobre la aplicación del instrumento en la sección 3.4.

3.1 Etapa 1: Revisión de Métodos de evaluación y selección de proyectos

3.1.1 Métodos y criterios de evaluación de proyectos de I+D

Dada la diversidad de métodos y criterios de evaluación de proyectos de I+D, a continuación se plantea un recuento de algunos de los métodos más relevantes dentro de la búsqueda y análisis de la literatura, que han sido utilizados para empresas privadas y algunos para entidades públicas, quienes muestran una diferenciación notoria en cuanto a los criterios o elementos de evaluación a utilizar en los métodos.

De la revisión teórica que realiza Henriksen y Traynor (1999), destacan las siguientes categorías de métodos usados para seleccionar proyectos de I+D:

- Revisión por pares no estructurada
- *Scoring*

- Programación matemática, incluyendo la programación integral (IP), la programación lineal (LP), programación no lineal (PNL), la programación por metas (GP), y programación dinámica (DP).
- Modelos económicos, como la tasa interna de retorno (TIR), valor presente neto (VPN), retorno de la inversión (ROI), análisis costo-beneficio, y la teoría de valoración de opciones.
- Análisis de decisión, incluyendo la teoría de utilidad multiatributo (TUMA), árboles de decisión, análisis de riesgos y el proceso analítico jerárquico (en adelante AHP).
- Métodos interactivos, tales como Delphi, Q-sort, ayudas en la decisión del comportamiento (BDA), y modelamiento jerárquico descentralizado (DHM)
- La inteligencia artificial (AI), incluyendo sistemas expertos y lógica difusa.
- La optimización de portafolio.

Complementando los modelos presentados en la literatura, Iamratanakul y Milosevic (2007) en el trabajo de Kim, Jo, Kim, y Jeon (2016) incluyen modelos financieros probabilísticos con simulaciones de Monte Carlo, mapeo de enfoques a través de diagramas de burbujas. Plantean también que las tendencias recientes han sido combinar diferentes métodos para situaciones particulares.

La Tabla 2 es una adaptación de Chien (2002) que resume los modelos cuantitativos para la selección de proyectos y la asignación de recursos, entre la década de los 60 y 80 y una adición y adaptación de Bitman y Sharif (2008) con varios modelos ajustados para la evaluación de proyectos de I+D.

Tabla 2. Literatura revisada de modelos cuantitativos en selección de proyectos y asignación de recursos.

Autores	Año	Resumen	Taxonomía de modelos
Cetron et al	(1969)	Los autores resumen y compararon 30 modelos de acuerdo con un conjunto de características que describen estilos de entradas y salidas, un set de características sobre la facilidad de uso y el área técnica o científica de aplicabilidad	Teoría de decisión Análisis económico Investigación de operaciones Metodología matemática Método comparativo
Moore y Baker	(1969)	Los investigadores compararon un ranking de proyectos de tres tipos de modelos, considerando la distribución subyacente de los datos del proyecto, tiempos de preferencia, número intervalos del ranking de categorías y el ancho de los intervalos	Modelo <i>scoring</i> Modelo económico - índice de rentabilidad Modelo de programación lineal
Gear et al	(1971)	Los autores revisaron los modelos de programación matemática que podrían añadirse en la selección de portafolio de proyectos	Modelo lineal Modelo entero Modelo de oportunidad restringida Modelo de programación dinámica
Souder	(1972)	El autor usó una metodología para desarrollar perfiles de rendimiento y evaluar la usabilidad de 41 modelos de investigación de operaciones	Modelo lineal Modelo no lineal Modelo programación lineal cero – uno Modelo <i>scoring</i> Índice de rentabilidad Modelo de utilidad
Souder	(1972)	En el estudio el autor se basa en 5 criterios (realismo, flexibilidad, capacidad, facilidad de uso y costo), usando un sistema de clasificación para evaluar la idoneidad de 26 modelos de selección de proyectos	Modelo lineal Modelo no lineal Modelo programación lineal cero – uno Modelo <i>scoring</i> Índice de rentabilidad
Baker y Freeland	(1975)	Los autores proveen una evaluación de la literatura de modelos cuantitativos para la selección de proyectos de I+D y la asignación de recursos.	Medidas de beneficios Comparaciones Método <i>scoring</i> Modelo de contribución de beneficios

Autores	Año	Resumen	Taxonomía de modelos
		Varias áreas de investigación se identifican y se discuten	Métodos de asignación de recursos
Souder y Mandakovic	(1986)	Los autores discuten cuatro grupos de modelos de selección de proyectos, los cuales representan los pasos en la evolución de la filosofía que rige el uso de modelos de selección de proyectos	Métodos clásicos Modelo portafolio Técnicas de evaluación de proyectos Métodos de decisión organizacionales

Fuente: adaptado de (Chien, 2002) (Bitman & Sharif, 2008)

Tabla 3. Literatura de modelos ajustados para la evaluación de proyectos de I+D

Autores	Año	Resumen	Taxonomía de modelos
D. B. Merrifield, “ <i>Constraint analysis for assessment of business risks</i> ” Technol. Manage., vol. 1, pp. 42–53, 1994.	(1994)	Modelo más enfocado en el ajuste del proyecto de I+D a los negocios, con criterios relacionados con el crecimiento, el retorno y competidores.	<i>Scoring</i> aditivo
M. S. Brenner, “ <i>Practical R&D project prioritization</i> ” Res. Technol. Manage., vol. 37, no. 5, pp. 38–42, 1994.	(1994)	Aplican AHP para cinco perspectivas: estrategia, clientes, productos, empresa, competencia.	Proceso Analítico Jerárquico AHP
A. D. Henriksen and A. J. Traynor, “ <i>A practical R&D project scoring tool</i> ” IEEE Trans. Eng. Manage., vol. 46, no. 2, pp. 158–170, May 1999.	(1999)	Se les asignan pesos a los criterios, con la comparación entre criterios de un grupo desde cuatro perspectivas: relevancia, riesgo, razonabilidad del proyecto y retorno, siendo este último enfocado a investigación básica, aplicada o desarrollo experimental	<i>Scoring</i> con pesos
J. H. Mikkola, “ <i>Portfolio management of R&D projects: Implications for innovation management</i> ”	(2001)	Proponen un modelo desde dos perspectivas: la ventaja competitiva y los beneficios del cliente	Matriz de <i>Boston Consulting Group</i>

Autores	Año	Resumen	Taxonomía de modelos
Technovation, vol. 21, pp. 423–435, 2001.			
Y. Osawa and M. Murakami, “ <i>Development and application of a new methodology of evaluating industrial R&D projects</i> ” R&D Manage., vol. 32, no. 1, pp. 79–85, 2002.	(2002)	Realizan la evaluación tipo formulario con cinco criterios de peso: la importancia estratégica, probabilidad, ventas, rentabilidad, eficiencia	<i>Scoring</i> aditivo
H. Reisinger, K. S. Cravens, and N. Tell, “ <i>Prioritizing performance measures within the balanced scorecard framework</i> ” Manage. Int. Review, vol. 43, no. 4, pp. 429–437, 2003.	(2003)	Aplican AHP enfocado en proyectos que le aportan en cuatro perspectivas de peso: finanzas, clientes, excelencia operacional y crecimiento. Proponen suficientes criterios de evaluación, pensados en la medición de resultados de I+D, que en su decisión para financiar al inicio	Proceso Analítico Jerárquico AHP con <i>Balance Scorecard</i>
K.-H. Hsu, “ <i>Using balanced scorecard and fuzzy data envelopment analysis for multinational R&D project performance assessment</i> ” J. Amer. Acad. Bus. Cambridge, vol. 7, no. 1, pp. 189–196, 2005.	(2005)	Propone un análisis de criterios para proyectos en una etapa más madura de desarrollo experimental, dado el foco en la rentabilidad, ventas, calidad, mercado, utilidad y probabilidad de éxito	Análisis envolvente de datos con <i>Balance Scorecard</i>
H. Eilat, B. Golany, and A. Shtub, “ <i>Constructing and evaluating balanced portfolios of R&D projects with interactions: ADEA based methodology</i> ” Eur. J. Oper. Res., vol. 172, no. 3, pp. 1018–1036, 2006.	(2006)	Le dan peso a tres criterios principales: eficiencia, efectividad y balance	Análisis envolvente de datos con <i>Balance Scorecard</i>

Fuente: adaptado de (Bitman & Sharif, 2008)

Existen diversas formas de medir y evaluar proyectos de investigación y desarrollo de las empresas para definir y priorizar el portafolio de proyectos a financiar durante un periodo de

tiempo (Henriksen & Traynor, 1999; Tavana, Keramatpour, Santos-Arteaga, & Ghorbaniane, 2015). Algunas empresas usan criterios de evaluación que no están consensuados con los expertos de las temáticas y con ponderaciones y pesos definidos al azar, de acuerdo con la percepción de quienes tienen a cargo la selección de los proyectos.

Un método usado desde los años 70 y mezclado con otro tipo de métodos es el *scoring* o puntuación. Se trata de una medición absoluta que aplica para clasificar las alternativas en términos de los criterios o las calificaciones (o intensidades) de los criterios; por ejemplo: excelente, muy bueno, bueno, promedio, bajo promedio, pobre y muy pobre (T. L. Saaty & Vargas, 2012). Este modelo permite la inclusión explícita de factores subjetivos o cualitativos que pueden incluir en la decisión de un proyecto. Para Moore y Baker (1969), una gran ventaja es que es simple y de bajo costo para la adquisición de datos. Indica que en situaciones en las que la incertidumbre asociada con un proyecto no permite una estimación puntual significativa del rendimiento, las estimaciones de intervalo no solo son suficientes, sino que proporcionan una imagen fiel de la precisión de la información que se utiliza. Las estimaciones subjetivas se pueden obtener a través de entrevistas cuando las técnicas objetivas no se aplican.

Otro método ampliamente usado es el AHP, el cual consiste en desarrollar prioridades para alternativas y los criterios usados para juzgar las alternativas. De acuerdo con Saaty y Vargas (2006), AHP se usa para derivar prioridades relativas en escalas absolutas a partir de comparaciones pareadas discretas y continuas en estructuras jerárquicas o multinivel. Estas comparaciones pueden tomarse de medidas reales o de una escala fundamental que refleje la fuerza relativa de preferencias.

Un modelo como el propuesto por Khorramshahgol, Azani, y Gousty (1988), usa de manera previa el método Delphi para levantar los factores relevantes, los pasos requeridos y

objetivos a alcanzar por la organización y, luego usa AHP para obtener una valoración subjetiva de los factores, y su prioridad frente a los objetivos. Tienen en cuenta los siguientes pasos:

1. Seleccionar un equipo de monitores para realizar la consulta de Delphi.
2. Elegir a los participantes de las consultas Delphi. Pueden ser las personas que participarán en el (los) proyecto (s) y otros expertos que puedan aportar información sobre el tema de la consulta.
3. Utilizar el Delphi para determinar los objetivos y sus niveles de aspiración.
4. Utilizar Delphi para desarrollar proyectos (alternativos).
5. Realizar una investigación de Delphi para predecir y pronosticar el futuro. Consecuencias de diferentes proyectos.
6. Usar AHP para establecer prioridades entre objetivos.
7. Utilizar la información obtenida en los pasos 1 a 6 anteriores, formular un modelo lineal de programación de objetivos (*Linear goals programming* LGP), para evaluar diferentes alternativas. Los resultados del modelo LGP aportarán la contribución relativa de cada alternativa a los diferentes objetivos de la organización. Este conjunto de resultados, por lo tanto, será el mejor patrón para evaluar los proyectos y asignar recursos.

En cuanto a los criterios que son parte fundamental para la utilización los modelos, Moore y Baker (1969) listan factores que se consideran relevantes y útiles por otros autores, como lo son probabilidad de éxito, costo del proyecto, ahorro de ingresos o costos, calendario de ingreso y flujo de costos, nivel de familiaridad técnica y gerencial con el área de investigación, niveles de presupuesto, penetración en el mercado, tiempo de finalización, y necesidad estratégica.

Para Huang et al. (2008), es crucial establecer un sistema adecuado para identificar los criterios y definir la importancia relativa para la selección de proyectos de I+D del gobierno. Indican que teniendo en cuenta los aportes de Henriksen y Traynor (1999), el objetivo de tener una ponderación no es sólo enfatizar los criterios más apropiados, sino también facilitar la autoselección del portafolio óptimo de I+D.

Los criterios seleccionados por Huang et al., (2008) para su método de AHP difuso, fueron cuatro:

1. Mérito científico y tecnológico: los impactos tecnológicos del proyecto, incluida la competitividad de la tecnología y la relevancia de la tecnología.
2. Beneficios potenciales: beneficios esperados, incluido el beneficio económico y el beneficio social.
3. Ejecución del proyecto: ejecución e implementación del proyecto, incluida la calidad del plan técnico y la disponibilidad del recurso.
4. Riesgo del proyecto: posibles riesgos técnicos, de desarrollo y comerciales.

Henriksen y Traynor (1999) plantean como criterios para el caso puntual del Laboratorio Nacional de los Álamos, los siguientes:

- Relevancia: aborda el grado en que el proyecto propuesto apoya la misión y los objetivos estratégicos de la organización y es un alcance que beneficiaría la organización.
- Riesgo: se ocupa del nivel de incertidumbre científica y/o técnica asociada al proyecto, y para que coincida con la escala de respuesta de los criterios, se evalúa mediante la probabilidad de éxito.
- Si es razonable: se dirige a sí o no, el nivel de recursos propuesto permitirá la finalización con éxito de los objetivos del proyecto a tiempo y dentro del presupuesto.

- Retorno: se refiere a la percepción del nivel de impacto que tendrá en la comunidad científica, técnica y de la organización, si tiene éxito. Tiene 3 componentes: retorno de la investigación básica o fundamental, retorno de investigación aplicada o programática, retorno del negocio.

En Taiwan se lanzó en 1979 un programa de desarrollo tecnológico TDP (*Technology development programs*) financiado por el gobierno, enfocado en industrias y pequeños negocios, con el fin de fortalecer la investigación, desarrollo e innovación (Huang et al., 2008). Propusieron un modelo para usar y aplicar en el programa de desarrollo tecnológico, utilizando el Proceso Analítico Jerárquico o AHP Difuso y luego de ajustes propusieron usar el Proceso Analítico en Red Difuso o ANP Difuso para seleccionar proyectos de tecnología en el sector público. El modelo jerárquico que propone, tiene en cuenta cuatro aspectos, nueve objetivos y un total de 30 criterios a ser evaluados con las ponderaciones que se definan al comparar los pares de criterios con el modelo AHP o ANP. Los criterios propuestos tienen en cuenta elementos del desarrollo de la tecnología, de los beneficios que pueden traer los resultados, así como las características para llevar a cabo la ejecución del proyecto en términos de recursos físicos, económicos, humanos y de tiempo. Los riesgos también son parte importante de los criterios que definen, pero son elementos que tienen que ser verificables para darle una valoración a estos. La jerarquía desde el aspecto, objetivo y criterios se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4. Jerarquía y criterios del modelo de selección del Programa de Desarrollo Tecnológico de Taiwan ITDP.

Aspecto	Objetivo	Criterios	Definición
Mérito Científico y Tecnológico	Competitividad de la tecnología	Avance de la tecnología	¿Qué tan avanzada es?
		Innovación de la tecnología	¿Qué tan innovadora es?

Aspecto	Objetivo	Criterios	Definición
Relevancia de la tecnología		Clave de la tecnología (criticidad)	Crítica para el desarrollo de la industria
		Propiedad de la tecnología	Genera propiedad con PI
		Tecnología Genérica	¿Es genérica para la industria?
		Conexiones	¿Aplica para muchos productos? A mayores aplicaciones, mayores conexiones
		Extensión	La tecnología tiene potencial para desarrollos basados en los resultados
Beneficio económico		Mejora en la capacidad de investigación	Mejora en los recursos humanos de investigación
		Tamaño de mercado potencial	Potencial tamaño y crecimiento de mercado para productos basados en la tecnología propuesta
		Efecto de derrame de la tecnología	Muestra efecto positivo en la producción para otras firmas
Beneficios potenciales	Beneficios sociales	Coincide con política de Ciencia y Tecnología	Coincide con la política de CyT
		Mejora en QESIS	Beneficios a la sociedad en la Calidad, Ambiente, Seguridad, Imagen Nacional y Estándares Industriales
		Beneficios para la humanidad	Puede resultar en beneficios para la calidad de vida y la salud
		Contribuye al estado del conocimiento	Contribuye al estado del conocimiento técnico
Ejecución del proyecto	Calidad del plan técnico	Contenido del plan técnico	Incluye un plan claro y conciso, identificación de la tecnología central, enfoque técnico factible

Aspecto	Objetivo	Criterios	Definición		
Riesgos del proyecto			y los principales obstáculos técnicos en detalles sustanciales		
		Capacidad del equipo de investigación	Capacidad del equipo técnico, las competencias del líder del proyecto y del staff técnico		
		Periodo de investigación razonable	Lo razonable de programar la duración del proyecto para el logro exitoso de los objetivos		
		Costo de la investigación razonable	Lo razonable de programar el costo del proyecto para el logro exitoso de los objetivos		
		Consideraciones ambientales y de seguridad	La tecnología propuesta incluye seguridad ambiental y pública		
		Disponibilidad de recursos	Disponibilidad de recursos técnicos	Acceso a obtener recursos técnicos para el proyecto	
			Apoyo técnico	Apoyo técnico organizacional	
			Apoyo de equipo	Apoyo técnico con instalaciones	
		Riesgo técnico		Oportunidad de éxito técnico	Como es la oportunidad de éxito para la tecnología propuesta y si hay éxito con tecnologías similares
				Evidencia de factibilidad científica	Evidencia de investigación como prueba de concepto, experimentación o teoría de la tecnología propuesta
Especificación de la tecnología	Riesgo del cumplimiento con la especificación o estándar propuesto				
Riesgo en el desarrollo	Riesgo para el costo del desarrollo			Riesgo monetario del desarrollo total del prototipo esperado	

Aspecto	Objetivo	Criterios	Definición
		Riesgo para el costo del tiempo	Riesgo del costo en tiempo del desarrollo del prototipo total esperado
		Tiempo para el proyecto	Es el momento adecuado para llevar a cabo la tecnología propuesta
	Riesgo comercial	Oportunidad de éxito en mercado	Oportunidad de éxito en el mercado del producto basado en la tecnología
		Oportunidad de implementación de resultados del proyecto	Oportunidad de implementación de resultados del proyecto basados en firma financiera

Tomado y adaptado de Huang y Chu (2011)

Coldrick et al., (2002) proponen un modelo que no establece el mejor portafolio de proyectos de investigación, sino que está diseñado para evaluar proyectos con sus propios méritos y para comparar proyectos similares. Cuenta con una clasificación según el tipo de proyecto, sea investigación básica, investigación aplicada o desarrollo experimental. Tiene una etapa de filtro, el cual esencialmente es un modelo tipo puntuación o *scoring*, en el que se juzga un conjunto de proyectos con respecto a unos criterios para producir un puntaje. Los pesos se aplican a cada criterio según la importancia relativa. Este modelo es orientado a empresas y no a entidades de gobierno con un rol de financiación de proyectos, pero tiene algunos elementos y criterios que pueden ser tenidos en cuenta para evaluar.

En la siguiente tabla se muestra de ejemplo los criterios en la etapa de filtro para realizar la puntuación de los proyectos. Los autores dan claridad que se usan sólo las tres primeras categorías de los filtros para los proyectos que sean de investigación básica.

Tabla 5. Filtros y subfiltros como criterios de evaluación de proyectos de I+D.

Filtro	Subfiltro
Técnico	Riesgo técnico de finalizar el proyecto
	Disponibilidad de recursos técnicos
Corporativo y Estrategia	Se ajusta al plan de negocios de la compañía
	Potencial de crecimiento del producto
	Sinergia con otros productos y procesos
Regulatorio	Riesgo en obtener autorización regulatoria
	Capacidad de cumplir con regulaciones futuras probables
Mercado	Efecto en la cuota de mercado existente
	Efecto sobre las perspectivas de mercado existente
Financiero	Riesgo comercial de aplicaciones
	Potencial retorno de la inversión
Aplicaciones	Capacidad para implementar producción o procesos
	Patentabilidad y protección de diseño

Fuente: adaptado de Coldrick et al., (2002)

Los filtros de mercado, financiero y aplicaciones que denominan los autores (Coldrick et al., 2002), van muy orientados a proyectos de investigación aplicada y desarrollo tecnológico, dado los avances y las certezas que pueden ir teniendo con los resultados del proyecto, enfocados en la aplicabilidad, mercado y retornos.

Un método híbrido propuesto por Jeng y Huang (2015) es el *Multiple Criteria Decision Making* (MCDM), comprendido por un método Delphi modificado (MDM), un método de ensayo y evaluación de laboratorio (*Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory* DEMATEL por sus siglas en inglés) y un proceso analítico de red (*Analytic Network Process* ANP), para tener un enfoque sistemático del proyecto para la selección del portafolio. Este método es propuesto para una etapa muy temprana de I+D, donde los institutos de investigación nacional deben invertir en I+D para ganar una ventaja competitiva y desarrollar la economía nacional. Este estudio propone las siguientes dimensiones y criterios a través de una encuesta realizada a 15 expertos en 3 grupos, un grupo de expertos experimental, uno de control y otro grupo académico.

Tabla 6. Dimensiones y criterios para evaluar proyectos de I+D

Dimensión	Criterio
Necesidad	Nuevo potencial en mercado
	Tamaño potencial de mercado
	Tiempo a mercado
Solución	Requerimiento urgente de cliente
	Habilidad para cumplir con regulaciones futuras probables
	Disponibilidad de recursos técnicos
	Oportunidad para éxito técnico
Diferenciación	Contenido del plan técnico
	Avances en la tecnología
	Innovación de la tecnología
	Clave de la tecnología
Beneficios	Portafolio de patentes
	Potencial retorno de la inversión
	Ayudar a una organización a competir en el mercado
	Mejorar la QESIS
	Oportunidad para éxito en el mercado

Fuente: adaptado de Jeng y Huang (2015).

Los criterios propuestos en Jeng y Huang (2015) dan cuenta del enfoque en la necesidad y mercado potencial que tiene desarrollar el proyecto y que desde la perspectiva de gobierno debe haber datos que permitan validar la evaluación de este criterio en cada proyecto. Tienen en cuenta un criterio importante a resaltar y es el tiempo que la ejecución de ese proyecto de I+D tiene para llegar al mercado, ya que puede ser un factor diferenciador en cuanto a apuestas de corto o largo plazo para tener resultados.

Para el modelo que proponen Wang et al. (2005), tienen en cuenta que valorar y clasificar los resultados de proyectos de I+D son complejos cuando provienen de diferentes campos, disciplinas y sobre todo si son del carácter nacional. El modelo propuesto tiene diez categorías principales con 49 subíndices como medidas estándar para evaluar proyectos de I+D para todas las industrias y disciplinas. Desde una perspectiva de institución pública o de gobierno, hay criterios relevantes como la alineación con los planes o políticas nacionales, así como contribución de los resultados planeados del proyecto con la economía nacional. Este modelo, de acuerdo con los autores, fue usado y aceptado tanto por la comunidad científica como por el Ministerio de

Ciencia y Tecnología de China, y da prueba de ser valioso para problemas de evaluación de la I+D en gran escala y en áreas multidisciplinarias. A la Tabla 7 se encuentran los principales criterios y los subíndices indicados en este modelo.

Tabla 7. Criterios y subíndices del sistema de evaluación

Criterios Principales	Subíndices
Contribución con la economía nacional	Coincide con 10 direcciones de desarrollo nacional
	Misión de importancia
	Influencia la economía nacional
	Influencia política
	Beneficios económicos anuales
	Beneficio anual por inversión unitaria
	Porcentaje de reducción de costos
	Mejora de la productividad laboral
Beneficios económicos directos	Mejora de la calidad del producto
	Periodo de recuperación (total invertido/beneficio neto anual)
	Utilización de activos fijos anteriores (valor de lo previo/valor total)
Nivel de creatividad y avance	Creatividad en la imitación de trabajo o iniciación en trabajos pioneros
	Nivel avanzado con estándar mundial
	Dificultad del tema
Contribución teórica y técnica	Contribución teórica a la ciencia
	Contribución técnica a los mismos temas
	Expertos evalúan (aprobación pública por expertos)
	Clasificación de la publicación de la revista
	Citación internacional
Mejora de la técnica	Contribución de usuarios
	Documentación del trabajo en I+D
	Comparación con estándar internacional
	Nivel de Autocontrol
	Conveniencia de operación
	Facilidad del mantenimiento
	Confiabilidad
Energía y material ahorrado	Mejora de la vida útil del servicio
	Mejora promedio de medidas técnicas
	Porcentaje de uso de energía disminuido por unidad
	Porcentaje de materia prima guardada
Beneficios económicos indirectos	Costo ahorrado en materiales preciosos o escasos
	Beneficios indirectos a otras industrias

Criterios Principales	Subíndices
Impacto sociales	Moneda extranjera guardada
	Porcentaje de mejora en la protección del medio ambiente
	Beneficio para el equilibrio económico
	Prevención y cura de desastres naturales
	Relación de reducción del ruido
	Reciclaje de los 3 gastos (gas, agua y sólidos)
	Prevención y cura de enfermedades ocupacionales
	Seguridad en el trabajo diseminado a otros campos
Capacidad de propagación	Alcance de la aplicación
	Habilidad de extensión en mercado nacional
	Influencia internacional en círculos académicos o industrial
	Capacidad de exportación de producto
	Abundante material
Eficiencia del proyecto de I+D	Porcentaje de tiempo de desarrollo ahorrado
	Porcentaje de gastos ahorrados
	Cooperación e integridad moral
	Beneficios del proyecto (beneficios económicos totales /tamaño del equipo)

Fuente: adaptado de Wang et al. (2005)

También hay un modelo de análisis multicriterio cuantitativo el cual es desarrollado en la publicación de Kutlaca (1997), para un problema derivado de la adopción e implementación de la política de innovación en el gobierno de la República de Serbia. Los procesos de evaluación y selección de proyectos de I+D, muestra la manera en que clasifican los proyectos a cofinanciar de acuerdo con los objetivos, el contenido y el alcance de las actividades de I+D. Para el año 1997, con la publicación del estudio, contaban con tres programas: a) Proyectos estratégicos de Investigación Tecnológica (STRP), b) Proyectos de I+D Precompetitiva (PRDP), c) Proyectos de Innovación (IP). La máxima duración de los proyectos cofinanciados era de 3 años para STRP, 2 años para PRDP y 1 año para IP.

En este modelo, se resalta que, dependiendo del programa, cada criterio puede tener más peso que otro, dado que las condiciones o etapas en las que se reciben los proyectos son diferentes. En la siguiente tabla se encuentra los grupos y criterios de evaluación de este modelo.

Tabla 8. Criterios de evaluación para propuestas de proyectos

Grupo	Criterio
Relevancia de los resultados de I+D	Justificación tecnológica de realización del proyecto
	Base científica
Adecuación de las entradas planeadas	Costo de la investigación
Disponibilidad de resultados de I+D esperados	Disponibilidad de resultados planificados para el proyecto
Demanda de resultados esperados de I+D	Demanda de los resultados planificados para el proyecto
	Competencia del equipo del proyecto para los campos respectivos de la propuesta
Competencia de los líderes y el equipo del proyecto	Competencias del líder del proyecto
	Competencias de líderes de subproyectos
	Materiales y equipos disponibles para la realización del proyecto
Riesgos asociados con la realización e implementación del proyecto	Riesgo de la inversión en investigación (realización del proyecto)
	Riesgos asociados con la implementación de resultados del proyecto

Fuente: adaptado de Kutlaca (1997)

En el artículo publicado por Bitman y Sharif (2008), el marco conceptual que proponen se centra en tener proyectos que fortalezcan la habilidad para mantener una ventaja competitiva que evalúan a través de 5 perspectivas y 18 criterios. El marco que proponen tiene un formulario de evaluación de proyectos, unas matrices comparativas entre criterios y valoraciones, cuenta con un modelo de pesos para la calificación y un diagrama de tipo radar para ver los resultados. Si bien los criterios propuestos por estos autores tienen enfoque en el desarrollo de los proyectos, la perspectiva de sensibilidad, con los criterios por ejemplo de ética y moral, pueden resultar complejos de medir y valorar de acuerdo a pensamientos subjetivos de los evaluadores, y poca data que puedan tener para valorar esos criterios.

Tabla 9. Perspectivas y criterios para la evaluación de proyectos de I+D.

Perspectivas	Criterios
Razonabilidad	Herramientas necesarios para ejecutar el proyecto
	Habilidades necesarias para las herramientas que necesitan para el proyecto
	Hechos necesarios para ejecutar el proyecto
	Métodos para ejecutar y gestionar el proyecto
	Subcontratación necesaria para ejecutar el proyecto
Atractivo	Ajuste estratégico de los proyectos con la firma
	Actores influyentes
	Historial de seguimiento de quienes enviaron el proyecto
Sensibilidad	Ética del proyecto
	Moral
	Implicaciones ecológicas de la ejecución del proyecto
	Limitantes regulatorias
Competitividad	Capacidad
	Competencia
Innovación	Mejora de las dimensiones tecnológicas
	Novedad del proyecto
	Fase de investigación del ciclo de vida
	Fuente de ideas

Fuente: adaptado de (Bitman & Sharif, 2008)

Si bien en 1975, Albala en su publicación propone varias herramientas de evaluación de I+D en sus diversas etapas, vale la pena traerlo a colación, dado que algunos de los criterios propuestos en su momento, continúan estando vigentes en cuanto a la necesidad de evaluar el efecto de un proyecto de I+D sobre un entorno.

Albala (1975) analiza los factores para las tres etapas de proyectos de I+D que define como exploratoria, investigación aplicada y desarrollo. Cabe anotar que los criterios enfocados en mercado, no aplican para la etapa exploratoria y dependiendo del área o temáticas de los proyectos de I+D, puedan tener suficientes datos de mercado en la etapa de investigación aplicada. Para su herramienta, propone 3 factores, 5 grupos de criterios para 35 criterios a evaluar los cuales se encuentran en la Tabla 10.

Tabla 10. Factores, grupos y criterios de evaluación de proyectos de I+D.

Factores	Grupos	Criterios
Evaluación Comercial	Características de mercado	Tamaño del mercado disponible
		Estabilidad del mercado
		Tasa o tendencia de crecimiento del mercado
		Cuota de mercado deseada, domestica
		Cuota de mercado deseada, exportaciones
		Tasa de ventas esperada
		Efecto estimado en nuevas ventas sobre las ventas existentes
	Nuevas características de producto	Clientes potenciales
		Requerimientos de ventas
		Expectativa de vida del producto
		Relación del nuevo producto con la línea de productos de la compañía
		Similar con productos de competidores
		Comparación con productos similares de competidores
		Oportunidades de éxito comercial
Medio Ambiente	Estimación de aceptación de proyecto por	Gobierno
		Trabajadores
		Comunidad
Evaluación Técnica	Estado de Investigación y Desarrollo	Relación del proyecto con otras compañías
		Disponibilidad de investigación relevante con la compañía
		Proceso de Know-how en la compañía
		Disponibilidad de personal de I+D calificado
		Disponibilidad de espacios para I+D en la compañía
		Patentabilidad de productos o procesos
		Estimación de tiempo de I+D para las siguientes etapas
	Estado Operacional	Estimación de costos para las siguientes etapas
		Oportunidad de éxito de I+D
		Disponibilidad de materia prima
		Disponibilidad de equipos relevantes de la compañía
		Entrenamientos requeridos para el personal operativo
		Requerimientos de diseños especiales de ingeniería
		Inicio de planta estimado
Oportunidad de éxito operativo (asumiendo éxito en I+D)		

Fuente: adaptado de (Albala, 1975)

Otro método de múltiples criterios basados en análisis envolvente de datos o DEA es desarrollado para evaluar proyectos de I+D (Karasakal & Aker, 2016). Los pesos de los criterios se obtienen a través de AHP, y varios modelos de estimación para ordenar y clasificar los

proyectos. Los criterios propuestos están desde el punto de vista de una compañía que invertirá en proyectos de I+D para ella, por lo que el foco va en generar rentabilidad y productividad para ella.

Tabla 11. Criterios en análisis envolvente de datos

Criterios de evaluación	Subcriterios
Contenido en I+D, Niveles Tecnológicos y Aspectos de innovación del proyecto	Tecnología usada en el proyecto
	Novedad de los resultados del proyecto
	Metodología del proyecto
Plan del proyecto, capacidades de la empresas y compatibilidad con la infraestructura	Planeación de la gestión del proyecto
	Paquetes de trabajo y cronograma del proyecto
	Existencia de competencias requeridas y grado de compromiso interno
	Planeación de otros recursos además de mano de obra
	Planeación de recursos financieros
	Compatibilidad de los gastos con el mercado
	Infraestructura de I+D y cultura de la compañía
	Rentabilidad de la compañía
	Realización de investigación de mercado
	Potencial de rentabilidad, mejora en productividad y costo
Aplicabilidad de los resultados del proyecto en los beneficios económicos y ventajas nacionales	Decrecimiento de diferencias inter regionales en términos de desarrollo
	Oportunidad de creación de trabajo
	Beneficios del medio ambiente y vida
	Beneficios en grupos sociales
	Contribución al estado del conocimiento
	Colaboración con la universidad y la industria
	Colaboración con la industria

Fuente: adaptado de (Karasakal & Aker, 2016)

Los autores Jeng y Huang (2015) y Balachandra y Friar (1997) en su revisión de literatura, compararon algunos criterios en sus fechas, con el fin de ver diferencias de enfoques y relevancia entre criterios por parte otros autores, con el fin de destacar algunos de ellos.

En la siguiente tabla se encuentran algunos elementos y criterios propuestos por varios autores en la revisión de literatura, añadiendo y adaptando también la revisión de Jeng y Huang (2015) y Balachandra y Friar (1997) con el fin de comparar qué tanto se tienen en cuenta ciertos

criterios para ellos en amplias categorías como que le den peso a los criterios de mercado, de equipo de trabajo, alineación con políticas de gobierno, contribución con la sociedad, el medio ambiente, entre otros.

Tabla 12. Comparativo de criterios y métodos para la evaluación de proyectos de I+D propuestos en artículos y publicaciones de diversos autores.

Criterios vs Publicación	(Huang & Chu, 2011)	(Cold rick et al., 2002)	(Jeng & Huang, 2015)	(Wang et al., 2005)	(Kutla ca, 1997)	(Bitman & Sharif, 2008)	(Albal a, 1975)	(Tohum cu & Karasa kal, 2010)	(Materia, Pascucci, & Kolympris, 2015)
Cantidad de criterios	4 aspectos 9 objetivos 30 criterios	6 filtros 13 subfiltros	4 dimensiones 16 criterios	10 criterios principales 49 subíndices	2 sets 6 grupos 11 criterios	5 perspectivas 18 criterios	3 factores 5 grupos de criterios 35 criterios	3 grupos de criterios 18 criterios	4 grupos de variables 17 criterios
Peso por la contribución técnica	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Peso por el equipo o personal a ejecutar el proyecto	Si	No	No	No	Si	Si	Si	Si	Si
Análisis de existencia de mercado	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	No
Peso por la contribución a la industria	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	No
Peso por la contribución a la sociedad	Si	No	Si	Si	No	No	No	Si	No
Peso por la contribución al medio ambiente	Si	No	Si	Si	No	No	No	Si	No
Tienen cuenta el plan de ejecución en tiempo	Si	No	No	No	No	No	No	Si	Si
Tiene en cuenta evaluar los recursos monetarios para su ejecución	Si	No	No	No	Si	No	No	Si	Si
Peso por la alineación con prioridades	Si	No	No	Si	No	No	No	No	No

Cr	vs	(Huang & Chu, 2011)	(Cold rick et al., 2002)	(Jeng & Huang, 2015)	(Wang et al., 2005)	(Kutla ca, 1997)	(Bitman & Sharif, 2008)	(Albal a, 1975)	(Tohum cu & Karasa kal, 2010)	(Materia, Pascucci, & Kolympiris, 2015)
de gobierno o políticas										
Tiene en cuenta las ganancias financieras posibles o futuras		No	Si	Si	Si	No	No	No	Si	No

Elaborado por la autora.

Este comparativo da cuenta de que la mayoría de autores tienen en cuenta el análisis de mercado, el foco en clientes y usos de esas tecnologías, así como la contribución que puede tener ese proyecto de I+D en la industria, especialmente en la que se encuentra la entidad que financia o le interesa el desarrollo de ese proyecto. Para más de la mitad de los autores planteados, otro criterio relevante es el de ganancias futuras o retornos que pueda traer esa inversión en el proyecto de I+D, dado que ahí es donde hay un efecto que se refleja en tener más recursos a futuro para su competitividad. Otro criterio también de alta relevancia para la mitad de los autores, es el personal o equipo de trabajo tanto desde el lado técnico, como desde el lado de gestión de proyectos, ya que son un eje central para el éxito del mismo.

3.1.2 Algunas metodologías de evaluación

A continuación, se presentan algunas metodologías de evaluación de proyectos de I+D, en los que tienen en cuenta etapas diferenciadas dentro del proceso de evaluación, así como metodología planteadas para instituciones de gobierno o entidades públicas, que desde su rol en lo público deben mostrar claridad del paso a paso a realizar con cada uno de los proyectos. Los artículos hallados sobre entidades públicas fueron muy pocas y con unos cuantos años de

publicación, en los que especificaban el paso a paso de evaluación, más allá de los métodos de criterios y el listado de criterios.

En el estudio que Kutlaca (1997) hace sobre los programas del Departamento de Desarrollo Tecnológico del Ministerio de Ciencia y Tecnología de la República de Serbia, cuenta que el proceso de evaluación se desarrollaba en las siguientes actividades:

- Anunciamiento de la invitación
- Registro, clasificación y revisión formal de las propuestas de proyectos
- Prueba de cumplimiento de las propuestas
- Validación de la precisión e integridad
- Revisión de pares de las propuestas de evaluación
- Agregación de los resultados de las evaluaciones de las propuestas de proyectos y creación de lista de priorización
- Selección de propuestas a cofinanciar
- Corrección, y si es necesario, repetición de algunas actividades solicitadas por los tomadores de decisiones
- Acciones sobre las quejas y preparación de la decisión final para la cofinanciación.

En China se desarrolló un sistema para evaluar los resultados de los proyectos multidisciplinarios de I+D utilizando AHP, con una puntuación difusa (con lógica difusa). Wang et al., (2005) plantearon para iniciar el proceso, que los insumos originales para el sistema de índice se obtuvieran de una encuesta de evaluadores expertos a escala nacional, que luego con cierta periodicidad, pueden retroalimentar los pesos de las categorías e índices. La fase que realiza este sistema calcula los puntajes promedios ponderados y los clasifica, para que luego expertos en la

fase final de la evaluación elijan los mejores candidatos y propuestas. En la siguiente imagen se encuentra el proceso computarizado de evaluación propuesto por los autores.

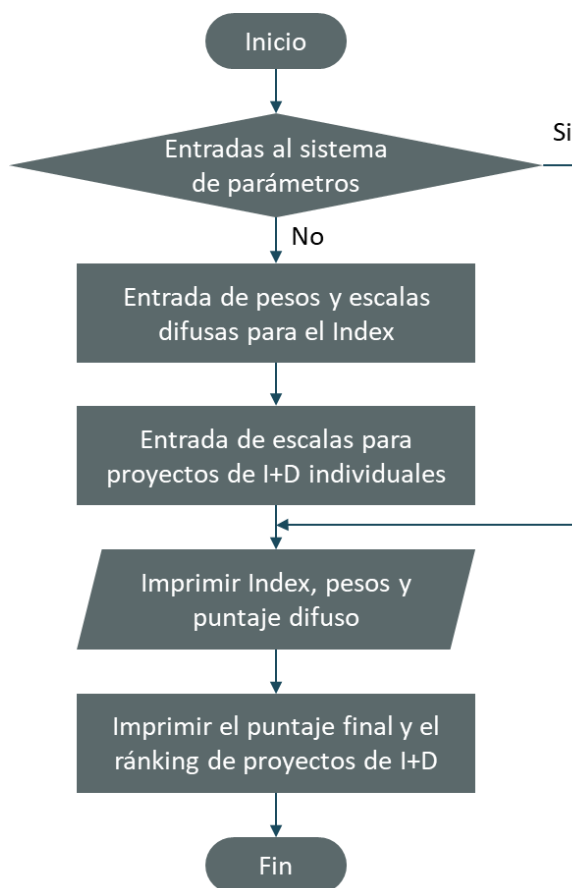


Figura 4. Diagrama de flujo para el sistema de evaluación de I+D.

Fuente: adaptado de (Wang et al., 2005)

Es de tener en cuenta los planteamientos de Bitman y Sharif (2008), que destacan elementos para un marco de clasificación de proyectos de I+D, que deben incluir un conjunto ortogonal de múltiples perspectivas cualitativas, múltiples criterios cualitativos para cada perspectiva, una escala de valores estándar, valores descriptivos y significativos, un formulario de evaluación de proyectos, ponderaciones de importancia relativa para perspectivas y criterios, un conjunto de matrices de comparación por pares para determinar los pesos, un modelo de puntaje

ponderado para producir un puntaje relativo para cada proyecto y una representación esquemática del estado que puede servir como un vehículo de retroalimentación.

El proceso de selección de proyectos y proceso para la financiación de la región administrativa Emilia-Romagna de Italia, según Materia, Pascucci, y Kolympiris (2015), tiene en cuenta tres categorías que son: (i) estudio de investigación y experimentación, (ii) asistencia técnica y, por último, (iii) información, documentación y entrenamiento. El proceso se puede ver en la Figura 5, donde muestran el planteamiento de esta región teniendo en cuenta un primer momento de revisión de los empleados de la entidad administrativa, luego de verificar la totalidad de la información, pasa a una primera etapa de evaluación a un panel de expertos para analizar el mérito científico del proyecto. La segunda etapa consiste en la revisión de otro panel de expertos, desde un contexto regional y otros criterios de evaluación, para posteriormente hacer un *ranking* de proyectos y decidir su financiación o no.

De acuerdo con el artículo plantado por Karasakal y Aker (2016), los proyectos de investigación y desarrollo en Turquía son financiados en un programa de subvenciones del Estado. Inicialmente, las propuestas de los proyectos se preevalúan por parte del personal técnico de la institución. Las propuestas que cuentan con condiciones preliminares se envían a evaluadores independientes de universidades o centros de investigación que están especializados en el campo del proyecto. Finalmente, el comité de tecnología toma una decisión de financiación basada en los informes de los evaluadores.

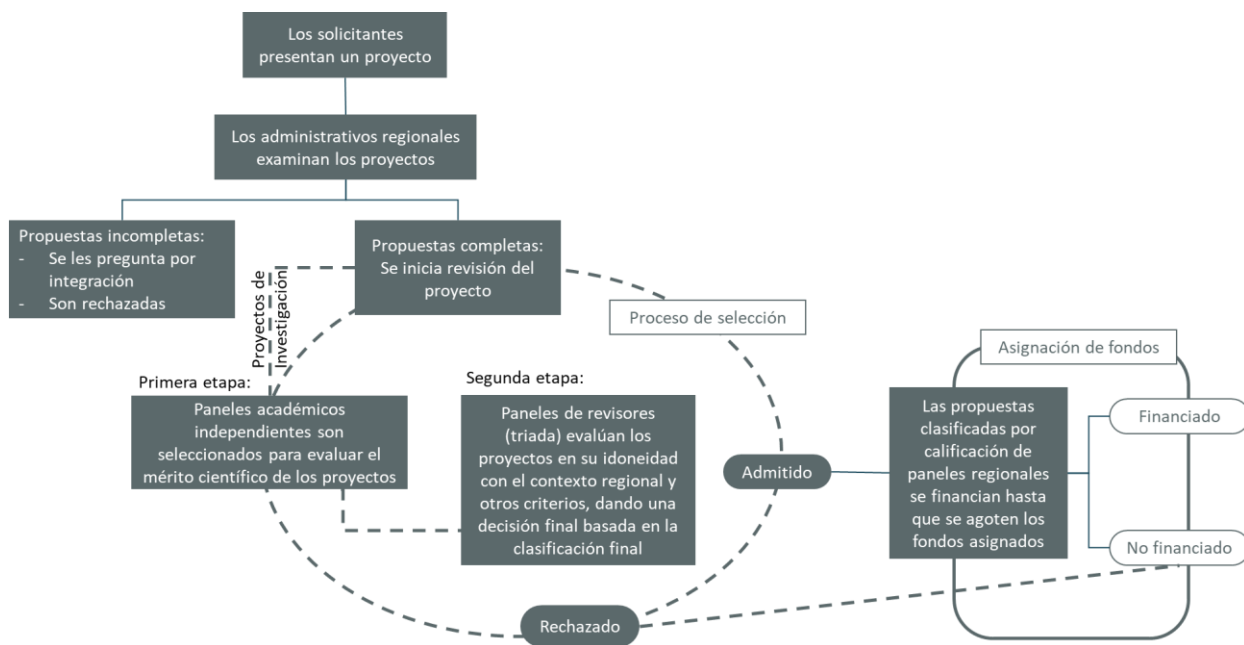


Figura 5. Selección de propuestas de investigación y proceso de financiación.

Fuente: adaptado de (Materia et al., 2015)

Una metodología que incluye un proceso de 5 etapas propuesto por (Ghasemzadeh & Archer, 2000) en (Arratia, López, Schaeffer, & Cruz-Reyes, 2016) incluye: preevaluación de las propuestas para descartar las no viables, análisis individual para evaluar cada proyecto viable, selección de aquellos que cumplen los criterios establecidos, optimización del portafolio y ajuste del portafolio con las preferencias del tomador de decisiones.

Debido a que la decisión de financiación depende en gran medida de los resultados de los evaluadores, un tema de investigación dentro de estas etapas es la asignación de evaluadores adecuados para revisar las propuestas de proyectos de I+D. El proceso de asignación de evaluadores en la metodología propuesta por Liu, Wang, Ma, y Sun, (2016) debe comprender tres fases, como se muestra en la siguiente figura: primera fase, clasificar y calificar los revisores y las propuestas por disciplina; segunda fase, asignar las propuestas a los revisores de acuerdo con las reglas de asignación que asumimos en el modelo; fase tres, enmendar los resultados de la decisión de la asignación.



Figura 6. Proceso de asignación de evaluadores de propuestas de proyectos de I+D.

Fuente: adaptado de (Liu et al., 2016)

Hablar de la perspectiva de las entidades públicas, para el caso de este proyecto, hace que tome relevancia tener en cuenta el contexto. Una entidad que financia para una ciudad o región, que tiene un interés superior en términos de desarrollo económico de su territorio, que busca beneficio común, tener efecto en la ciudadanía, su calidad de vida. Al tener claro lo que se logra con innovación, la I+D es una parte fundamental para crear una ventaja competitiva y una alta diferenciación con respecto a otras ciudades o regiones. Es por eso que la perspectiva de inversión de estos proyectos debe ser clara y muy objetiva, dado que la etapa de I+D es muy riesgosa.

3.2 Etapa 2: Selección de métodos y criterios

En la revisión literaria planteada en la Etapa 1, se mostraron diferentes métodos utilizados por los autores para la selección, clasificación y evaluación de proyectos de I+D a ser financiados por diferentes instituciones. Dos de los métodos más utilizados para el análisis y evaluación con múltiples criterios son el Proceso Analítico Jerárquico o AHP con sus siglas en inglés y el modelo de *Scoring* o calificación, tanto para entidades públicas como privadas con sus proyectos de I+D. Ambos métodos son prácticos y fáciles de usar para gestores de proyectos y tomadores de

decisiones, así como también tienen una rigurosidad en su método para hacer la ponderación de cada uno de los criterios y tener calificaciones más objetivas.

El *Scoring* o puntuación es una a medición absoluta se aplica para clasificar las alternativas en términos de los criterios o las calificaciones (o intensidades) de los criterios; por ejemplo: muy alto, alto, promedio, bajo y muy bajo (Henriksen & Traynor, 1999).

A continuación, se profundiza el método de AHP con el fin de mostrar el paso a paso a realizar para obtener la ponderación de los criterios en la consulta a expertos que se propone.

3.2.1 Proceso Analítico Jerárquico AHP

El Proceso de Jerarquía Analítica o Proceso Analítico Jerárquico, es una técnica que facilita la toma de decisiones complejas, desglosando el problema y necesidades para una mejor comprensión y encontrando la solución que más se ajusta a ellas.

La definición exacta que realiza Saaty y Vargas (2006), sobre el proceso analítico jerárquico es:

“AHP es una teoría general de medición. Se usa para derivar prioridades relativas en escalas absolutas (invariantes bajo la transformación de identidad) a partir de comparaciones pareadas discretas y continuas en estructuras jerárquicas multinivel. Estas comparaciones pueden tomarse de medidas reales o de una escala fundamental que refleje la fuerza relativa de preferencias y sentimientos”.

El AHP es una teoría descriptiva. Por lo tanto, no es una configuración automática para adaptarse a ningún enfoque normativo como la maximización de la utilidad. Necesita ser interpretado y adaptado para ese propósito (T. L. Saaty, 1990). Al usar el AHP para modelar un

problema, se necesita una infraestructura jerárquica o de red para representar ese problema y comparaciones por pares para establecer relaciones dentro de la estructura.

Para entender el significado de jerarquía dentro de AHP:

“Una jerarquía no es el árbol de decisión tradicional. Cada nivel puede representar un corte diferente en el problema. Un nivel puede representar factores sociales y otro factor político para ser evaluado en términos de los factores sociales o viceversa.” (T. L. Saaty & Vargas, 1987)

La tarea de establecer prioridades requiere que los criterios, las propiedades o las características de las alternativas que se comparan (por ejemplo, para el caso de estudio las alternativas son proyectos), y las alternativas en sí estén gradualmente superpuestas en la jerarquía, de modo que sea significativo compararlas entre sí en relación con los elementos del siguiente nivel superior.

Una observación importante sobre las comparaciones por pares del proceso de jerarquía analítica que hace Thomas. L. Saaty (1987), es que siempre se hacen entre elementos homogéneos cuyos pesos están cerca con respecto a un criterio dado. Por lo tanto, todos los elementos se consideran relevantes porque se incluyen en la comparación. Adicionalmente, la forma más efectiva de concentrar el juicio es tomar un par de elementos y compararlos en una sola propiedad sin preocuparse por otras propiedades u otros elementos. Esta es la razón por la cual las comparaciones pareadas en combinación con la estructura jerárquica son tan útiles para derivar mediciones (T. L. Saaty & Vargas, 1987). Además, Thomas. L. Saaty (1990) menciona una característica importante para las comparaciones y es que el número de elementos que se comparan debe ser pequeño (no más de 9) para mejorar la consistencia y la precisión de medición correspondiente.

R. W. Saaty (1987) resume los tres principios de AHP en los siguientes:

1. Descomposición: Se aplica estructurando un problema simple con los elementos en un nivel que es independiente de aquellos en niveles subsiguientes. Desde lo más general a lo más particular y concreto.
2. Juicios comparativos: Se aplica a una construcción por pares de comparaciones de la importancia relativa de los elementos en algún nivel dado con respecto a un criterio compartido o propiedad en el nivel anterior, dando lugar al tipo de matriz que se encuentra arriba y su correspondiente vector propio principal
3. Síntesis de prioridades: Las prioridades se sintetizan desde el segundo nivel hacia abajo multiplicando las prioridades locales por la prioridad de su criterio correspondiente en el nivel anterior y agregando, para cada elemento en un nivel de acuerdo con los criterios que afecta.

En resumen, el proceso que se tiene en AHP consiste en hacer comparaciones pareadas y luego derivar la prioridad de ellas. En AHP se crea una jerarquía o red que representa una decisión y se establece una matriz que contiene los juicios de comparación por pares para los elementos vinculados en el elemento principal. Luego, se deriva el vector de prioridad de pesos relativos para estos elementos. Se tiene también una medida de consistencia derivada del proceso. Hay una matriz tipo para cada elemento padre. Luego todos los vectores de prioridad se ponderan adecuadamente y se suman para obtener las prioridades generales de las alternativas, que permiten así, tomar una decisión (T. L. Saaty, 1997).

Para estructurar una jerarquía y trabajar desde el objetivo e ir descomponiendo en niveles las alternativas a comparar, Saaty y Vargas (2012) sugieren tener en cuenta las siguientes preguntas y elementos:

1. Identificar el objetivo general. ¿Qué está tratando de lograr? ¿Cuál es la principal pregunta?
2. Identificar sub objetivos del objetivo general
3. Identificar los criterios necesarios para cumplir los objetivos secundarios del objetivo general.
4. Identificar sub-criterios bajo cada criterio. Tener en cuenta que los criterios o sub-criterios pueden ser especificado en términos de rangos de valores de parámetros o en términos de intensidades tales como alta, media, baja.
5. Identificar actores involucrados.
6. Identificar los objetivos del actor.
7. Identificar las políticas de los actores.
8. Identificar opciones o resultados.
9. Tome el resultado más preferido y compare la relación de beneficios con los costos de tomar la decisión con los de no hacerlo.
10. Haga un análisis de beneficio / costo usando valores marginales. Como estamos tratando con jerarquías de dominancia, pregunte qué alternativa produce el mayor beneficio; para costos, cuál alternativa cuesta más.

Para Thomas L. Saaty, (1987), con AHP, preservar el rango de alternativas a través de la puntuación requiere el supuesto de que el peso de los criterios ya no debería depender de la estructura de las alternativas. La escala fundamental de valores, representa la intensidad del juicio. Esta escala que propone se deriva de la respuesta teórica y la validación en cuanto a la efectividad en diversas aplicaciones. La comparación usando esta escala no está hecha para ver qué tantas veces es más grande un elemento que otro, sino la fracción en que es más grande que el otro.

Tabla 13. Escala fundamental de números absolutos para medir la intensidad de importancia.

Intensidad	Definición	Explicación
1	Igualmente importante	Dos actividades contribuyen al objetivo igualmente
2	Levemente más importante	
3	Moderadamente más importante	Experiencia y juicio ligeramente a favor de una actividad que de la otra
4	Moderadamente mucho más importante	
5	Significativamente más importante	Experiencia y juicio significativamente a favor de una actividad que de la otra
6	Significativamente mucho más importante	
7	Definitivamente más importante	Una actividad es favorecida con más importancia que la otra, su dominio es demostrado en la práctica
8	Definitivamente mucho más importante	
9	Extremadamente más importante	La evidencia favorece una actividad sobre la otra en su orden de afirmación más alto

Fuente: adaptado de (R. W. Saaty, 1987)

Para diligenciar la matriz de comparaciones usando la escala de valores fundamental, considerando dos elementos o criterios, i a la izquierda de la matriz y j en la parte superior de la matriz, se debe preguntar cuál de las dos cumple o satisface mejor el criterio analizado, cuál es más importante. La matriz que se obtiene es a_{ij} , y el valor recíproco se ingresa con la transpuesta (R. W. Saaty, 1987).

Una matriz es consistente si:

$$a_{ij}a_{jk} = a_{ik} \forall i, j, k.$$

Ecuación 1. Matriz consistente.

Cuando una matriz recíproca positiva de orden n es consistente, el principal valor propio tiene un valor de n . Cuando es inconsistente, el principal valor propio excede a n y sirve como una medida de inconsistencia para formar la razón de consistencia CR, con la diferencia del promedio de diferencias de n con el valor propio principal de un largo número de matriz aleatorias. En la

Ecuación 2 se detalla la matriz donde las entradas a_{ij} corresponden a los pesos designados para cada uno de los criterios.

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1j} & \cdots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \cdots & a_{2j} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & 1 & \vdots & \cdots & \vdots \\ 1/a_{1j} & 1/a_{2j} & \cdots & 1 & a_{ij} & a_{in} \\ \vdots & \vdots & & & \vdots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & & 1/a_{ij} & 1/a_{in} & 1 \end{bmatrix}$$

Ecuación 2. Matriz de entadas a_{ij}

Thomas L. Saaty (1990) menciona la importancia del valor propio principal en determinar el rango de las alternativas, y para este vector propio, el matemático alemán Oskar Perron probó en 1907 que si $A = (a_{ij}), a_{ij} < 0, i, j = 1, \dots, n$, entonces A tiene un simple valor propio λ_{max} (denominado el valor propio principal de A) y $\lambda_{max} > |\lambda_k|$ para los demás valores propios de A. El principal vector propio $w = (w_1, \dots, w_n)^T$ es la solución de $A_w = \lambda_{max}w$ con $w_i > 0, i = 1, \dots, n$.

La homogeneidad es esencial para comparaciones significativas, de acuerdo con R. W. Saaty, (1987), ya que la mente no puede comparar elementos ampliamente dispares. Cuando la disparidad es grande, los elementos deben colocarse en grupos separados de tamaño comparable o en niveles diferentes en conjunto.

Hay un número infinito de derivar el vector de prioridades de la matriz, pero el énfasis en la consistencia conlleva a la formulación de un valor propio w y se puede realizar de las siguientes maneras:

- La solución se obtiene elevando la matriz a una potencia lo suficientemente alta y luego sumar las filas y normalizar para obtener el vector de prioridad. El proceso para cuando la

diferencia entre los componentes del vector de prioridad en k-ésima potencia y la potencia (k+1) es menor a un valor pequeño predeterminado. Una forma sencilla de normalizar las prioridades es normalizando la media geométrica de las filas. El resultado coincide con el vector propio para $n \leq 3$.

- Otro camino para obtener la una solución aproximada es normalizando los elementos de cada columna de la matriz y luego promediando cada fila. Esta aproximación puede llevar a una inversión de rango, a pesar de la proximidad del resultado del valor propio.

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{1}{\lambda_{max}^k} A^k x = cw$$

Ecuación 3. Aproximación para el vector de prioridades

Donde c es una constante y w es el vector propio principal de A.

Para el índice de consistencia (en adelante IC), adoptamos el valor $IC = \frac{\lambda_n - n}{(n-1)}$. Es el promedio negativo de las otras raíces del polinomio característico de A (T. L. Saaty & Vargas, 1987). Este valor se compara con el mismo índice obtenido como promedio sobre un gran número de matrices recíprocas del mismo orden cuyas entradas son aleatorias. Si la relación (llamada relación de consistencia CR) del IC a la de matrices aleatorias es significativamente pequeña (especificada cuidadosamente para que sea aproximadamente el 10 % o menos), aceptamos la estimación del vector propio w.

Lambda es el valor propio de la matriz, que se calcula de la siguiente forma:

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_1^n \frac{Aw_1}{w_1}$$

Ecuación 4. Valor propio de la matriz.

La medida o índice de consistencia se calcula así:

$$IC = \frac{\lambda_n - n}{(n - 1)}$$

Ecuación 5. Índice de consistencia

La razón de consistencia RC es la división entre el índice de consistencia CI y el índice de consistencia aleatorio RI. Este índice aleatorio es el CI promedio de 500 matrices aleatorias el cual tiene los valores indicados en la siguiente tabla, de acuerdo con el orden de la matriz.

Tabla 14. Índice de consistencia aleatorio

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice de consistencia aleatorio RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	0,149

La razón por la que se tolera el 10 % de inconsistencia y no uno menor es que en sí misma la inconsistencia es importante, ya que sin ella no se pueden admitir los nuevos conocimientos que cambian el orden de preferencia. Asumir que todo conocimiento es consistente, contradice la experiencia que requiere un ajuste continuo en la comprensión. Adicionalmente, R. W. Saaty (1987) expone que el también esto explica por qué el número de elementos comparados debe ser pequeño. Si son muchos los elementos o criterios a comparar, sus prioridades relativas serían pequeñas y el error puede distorsionar las prioridades considerablemente. Si el número es pequeño, las prioridades son comparables y un error no afecta el orden de magnitud de las respuestas. Si los elementos son menos de diez, los valores podrán ser mayores al 10 %. Para Vargas (1982) referenciado por Thomas L. Saaty (1990) en “*How to make a decisión: The Analytic Hierarchy Process*”, cuando la matriz es inconsistente, el 10 % es una medida suficiente para asegurar que el vector propio sigue una distribución de Dirichlet.

Cuando se tienen evaluaciones por grupo, Saaty propuso que cualquier regla que combine los juicios o valoraciones de varias personas, debe satisfacer la propiedad de reciprocidad. Esto es una prueba de que la media geométrica, no hace requerimientos en quien debe votar primero.

Los cálculos que requiere AHP pueden realizarse tanto en una hoja de Excel como en aplicaciones y paquetes de software, tales como: *Expert Choice*, *Super Decisions*, *Decision Lens* o la encuesta realizada por Ishizaka y Nemery (2013) sobre softwares para AHP.

3.2.2 Criterios de evaluación

A continuación se detallan las categorías y grupos de criterios definidos, de acuerdo con el estado del arte y complementados desde la mirada de interés de una entidad pública con el equipo de I+D de Ruta N, con el fin de ajustar algunos de los criterios según la experiencia de evaluación del equipo que busca evaluar proyectos de I+D para su posterior financiación. Para claridad del alcance y significado de cada uno de los criterios, a continuación en la Tabla 15 se detallan también las definiciones.

Tabla 15. Lista de criterios y categorías de evaluación de proyectos de I+D propuesta.

Categorías	Criterios de evaluación	Definición
1 Componente científico y tecnológico	1.1 Novedad	Determina el nivel de originalidad y novedad del desarrollo planteado, determinando el impacto geográfico y la posibilidad de protección del conocimiento.
	1.2 Actividades de I+D+i a realizar	Evalúa que el proyecto a evaluar si tenga un componente considerable de I+D+i
	1.3 Diferenciación (agregación de valor)	Determina si el desarrollo planteado es fuente de innovaciones en productos, servicios y procesos
	1.4 Estado inicial del desarrollo (grado de madurez de la tecnología)	Establece el nivel inicial del desarrollo, desde que se encuentra en etapa de laboratorio hasta que cumple con las condiciones para llegar al mercado
	1.5 Grado de desarrollo de producto	Determina el nivel en el que el desarrollo o tecnología se ha integrado en productos, servicios y procesos concretos que puedan ser llevados al mercado

Categorías	Criterios de evaluación	Definición
2 Aplicaciones y Beneficios Potenciales	2.1 Impacto ambiental	Analiza si los resultados del proyecto generan problemas o soluciones en términos de necesidades ambientales
	2.2 Impacto socio-económico	Determina la incidencia en la generación de empleos calificados, en la mejora de la calidad de vida de la población, en la generación de ingresos en diferentes sectores económicos y mercados, entre otros
	2.3 Oportunidad y/o necesidad de la solución planteada	Analiza si el proyecto tiene una aplicación real y soluciona una necesidad del mercado. El proyecto permite cerrar brechas tecnológicas o cubrir una necesidad detectada y latente del mercado o la sociedad
	2.4 Multiplicidad de aplicaciones del desarrollo	Valora la capacidad que tienen los desarrollos del proyecto para ser utilizados o aplicados en diversos sectores
3 Equipo de Trabajo y Capacidades	3.1 Capacidades y balance del equipo de trabajo	Tiene en cuenta las capacidades técnicas y comerciales (conocimientos y recursos) y el balance e integralidad del equipo de trabajo
	3.2 Capacidad de ejecución del proyecto	Identifica si las instituciones proponentes cuentan con el conocimiento y la experiencia requerida para ejecutar el proyecto, y si tienen los recursos especializados (conocimiento, infraestructura, equipamiento, etc) necesarios para la ejecución del mismo
	3.3 Alianzas para el desarrollo técnico del proyecto	Establece la existencia de alianzas estratégicas con instituciones reconocidas como vitales tanto para el desarrollo del proyecto como para la comercialización de sus resultados
4 Calidad de la Propuesta	4.1 Coherencia	Determina si existe coherencia entre el presupuesto determinado, las actividades planteadas, los entregables propuestos, el alcance geográfico y el cronograma establecido
	4.2 Calidad de la metodología propuesta	Determina si se tienen claramente definidos puntos fundamentales del proyecto, tales como alcance, entregables, valores, aliados, metodología, entre otros. Se tiene presente claridad entre lo que se pretende lograr y el cómo hacerlo. Las actividades de I+D+i están suficientemente descritas y son acordes con el objetivo planteado
5 Resultados Propuestos	5.1 Protección de la Propiedad Intelectual (Activos de PI)	Explora si el proyecto puede generar resultados que puedan protegerse bajo algún mecanismo (de cara a la comercialización)
	5.2 Estado al que se llegaría con el desarrollo obtenido	Determina el estado de madurez de los desarrollos obtenidos (tecnología, producto, servicios, proceso, otros) y la potencial brecha que se tendría para la llegada al mercado

Categorías	Criterios de evaluación	Definición
	5.3 Barreras jurídicas, técnicas u otras	Analiza si es posible aplicar los resultados del proyecto posteriormente. No hay limitantes jurídicos, de mercado, técnicos, financieros, ambientales o sociales que impidan la implementación de los resultados y la llegada al mercado.
6 Potencial de Mercado	6.1 Conocimiento del mercado	Analiza el conocimiento sobre los usos del producto, conocimiento del mercado potencial y viabilidad comercial del producto
	6.2 Relaciones estratégicas para la llegada al mercado	Evalúa la identificación de clientes, proveedores, aliados potenciales y el acercamiento que se tiene con ellos
	6.3 Capacidad de llevar los resultados al mercado	Determina la capacidad en cuanto a conocimiento, experiencia y recursos necesarios para lograr que los resultados lleguen a ser comercializados en los mercados que se buscan
	6.4 Tiempo de llegada al mercado	Analiza el tiempo estimado que requiere el desarrollo para integrarse a productos y poder comercializarse (incluyendo la obtención de permisos y licencias)
	6.5 Ventana de oportunidad del desarrollo	Establece si el mercado está preparado y necesita el desarrollo, es decir, si es el momento adecuado para llegar al mercado
	6.6 Escalabilidad del desarrollo	Determina que tan escalable es el desarrollo, es decir, que tanto se puede replicar en múltiples mercados. Se analiza si las especificaciones técnicas y el acceso a recursos de alguna manera limita el crecimiento del mercado objetivo.
7 Riesgos	7.1 Riesgo de la inversión realizada en el proyecto	Mide el riesgo asociado a la pérdida de la inversión debido a la incertidumbre, de manera que los desarrollos del proyecto no cumplan con los parámetros y expectativas técnicos y no pueda ser llevado al mercado.
	7.2 Riesgos asociados con la implementación de resultados del proyecto	Mide el riesgo asociado a las pérdidas, perjuicios y demás efectos negativos, que algunos sectores o ciudadanos puedan tener derivados de la implementación de los resultados del proyecto.

Desarrollado propio de la autora y validado con representantes de Ruta N

3.2.3 Consulta a expertos

Para la consulta a expertos, se entrega un instrumento basado en AHP, el cual diligencian valorando la importancia de los criterios por pares de criterios, según la escala fundamental de la

Tabla 13 y la lista de criterios de la Tabla 15. A continuación se muestra como ejemplo el formato en que los expertos realizan sus juicios, lo que conllevará a tener una ponderación para cada uno de los criterios y categorías y una ponderación general de todos los criterios.

Tabla 16. Ejemplo de valoración de los criterios por pares según escala fundamental en AHP.

A		B	A o B es más importante	Escala de 1 a 9
Criterio 1	vs	Criterio 2	A	1
Criterio 1	vs	Criterio 3	B	1
Criterio 2	vs	Criterio 3	A	1

Desarrollo propio

Con las valoraciones de criterios, se obtienen las matrices, para realizar las operaciones que las normalizan y obtienen las ponderaciones, así como las mediciones de consistencia de si las valoraciones o juicios realizados por los expertos estaban acordes.

Los expertos que diligenciaron el instrumento de consulta cuentan con experiencia en la formulación, gestión y ejecución de proyectos de I+D y cuentan con conocimientos sobre innovación, así como financiación de proyectos en las diferentes etapas. Los expertos pertenecen a las empresas en diversas industrias de la ciudad de Medellín, donde se desempeñan en roles directivos de I+D.

Cada experto usó el instrumento de manera independiente y solamente guiado a través de la misma, con el fin de dar objetividad al proceso.

La recolección de los datos con la consulta a expertos, nos lleva a obtener perspectivas o posiciones medidas numéricamente. Los resultados de la evaluación por parte de los expertos no se realizan como una muestra poblacional para obtener un resultado estadístico definitivo, dado

que los expertos de las empresas que participaron, si bien realizan proyectos de I+D, su foco depende de la experiencia vivida en sus patrones de realizar investigación.

En la Tabla 17 se muestra una visualización de referencia de los resultados de la ponderación que se tiene de evaluar los criterios del instrumento comparativo.

Tabla 17. Referencia sobre la ponderación para cada uno de los criterios.

		Ponderación de Categorías	Ponderación de Criterios en Categoría	Ponderación General
1	Componente científico y tecnológico	14,3%		
1.1	Novedad		20,0%	2,857%
1.2	Actividades de I+D+i a realizar		20,0%	2,857%
1.3	Diferenciación		20,0%	2,857%
1.4	Estado inicial del desarrollo		20,0%	2,857%
1.5	Grado de desarrollo de producto		20,0%	2,857%
			100,0%	
2	Aplicaciones y Beneficios Potenciales	14,3%		
2.1	Impacto ambiental		25,0%	3,571%
2.2	Impacto socio-económico		25,0%	3,571%
2.3	Oportunidad y/o necesidad de la solución planteada		25,0%	3,571%
2.4	Multiplicidad de aplicaciones del desarrollo		25,0%	3,571%
			100,0%	
3	Equipo de Trabajo y Capacidades	14,3%		
3.1	Capacidades y balance del equipo de trabajo		33,3%	4,8%
3.2	Capacidad de ejecución del proyecto		33,3%	4,8%
3.3	Alianzas para el desarrollo técnico del proyecto		33,3%	4,8%
			100,0%	
4	Calidad de la Propuesta	14,3%		
4.1	Coherencia		50,0%	7,1%
4.2	Calidad de la metodología propuesta		50,0%	7,1%
			100,0%	
5	Resultados Propuestos	14,3%		
5.1	Protección de la Propiedad Intelectual (Activos de PI)		33,3%	4,8%
5.2	Estado al que se llegaría con el desarrollo obtenido		33,3%	4,8%
5.3	Barreras jurídicas, técnicas u otras		33,3%	4,8%
			100,0%	
6	Potencial de Mercado	14,3%		
6.1	Conocimiento del mercado		16,7%	2,4%
6.2	Relaciones estratégicas para la llegada al mercado		16,7%	2,4%
6.3	Capacidad de llevar los resultados al mercado		16,7%	2,4%
6.4	Tiempo de llegada al mercado		16,7%	2,4%
6.5	Ventana de oportunidad del desarrollo		16,7%	2,4%
6.6	Escalabilidad del desarrollo		16,7%	2,4%
			100,0%	
7	Riesgos	14,3%		
7.1	Riesgo de la inversión realizada en el proyecto		50,0%	7,1%
7.2	Riesgos asociados con la implementación de resultados del proyecto		50,0%	7,1%
			100,0%	
	Totales	100,0%		100,0%

Desarrollo propio

Se recibieron 9 respuestas por parte de expertos en la temática, muy diversas entre sí, teniendo una gran variabilidad de peso en un criterio entre un experto y otro. Esto demuestra diferencias en sus patrones de Investigación y Desarrollo al interior de las empresas, en las que para algunos puede haber un foco más cercano al empuje tecnológico y otros al jalonamiento de mercado.

En la Tabla 18. Pesos de Categorías de criterios según expertos, es posible ver la variabilidad de pesos que se le da a cada categoría, entre los diferentes evaluadores. La tabla se visualiza como un mapa de calor para ver los datos más bajos en color rojo y los más altos en color verde, por cada evaluador en la columna y por cada categoría o grupo de criterios en la fila. Adicionalmente, en la tabla, es posible ver el promedio, la media geométrica y la desviación estándar de los pesos definidos por cada experto con el instrumento.

Tabla 18. Pesos de Categorías de criterios según expertos.

		Experto 1	Experto 2	Experto 3	Experto 4	Experto 5	Experto 6	Experto 7	Experto 8	Experto 9
1	Componente científico y tecnológico	1,9%	7,7%	14,3%	6,6%	10,3%	2,7%	7,3%	24,0%	1,7%
2	Aplicaciones y Beneficios Potenciales	13,0%	17,9%	14,6%	11,6%	12,2%	33,7%	18,6%	19,7%	22,1%
3	Equipo de Trabajo y Capacidades	37,3%	11,7%	22,7%	20,4%	10,2%	13,6%	18,4%	16,1%	14,3%
4	Calidad de la Propuesta	6,4%	18,7%	27,8%	11,6%	29,8%	7,8%	6,6%	13,2%	8,5%
5	Resultados Propuestos	33,1%	13,6%	6,9%	7,1%	6,6%	13,5%	17,6%	10,8%	3,7%
6	Potencial de Mercado	5,1%	23,7%	11,1%	21,4%	24,1%	23,8%	18,5%	8,9%	45,9%
7	Riesgos	3,1%	6,8%	2,5%	21,4%	7,0%	5,0%	13,0%	7,3%	3,7%
Totales		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Desarrollo propio de la autora

Tabla 19. Promedio, media geométrica y desviación de los pesos de las categorías.

		Promedio	Media geométrica	Desviación estándar
1	Componente científico y tecnológico	8,5%	6,088%	7,118%
2	Aplicaciones y Beneficios Potenciales	18,1%	17,189%	6,852%
3	Equipo de Trabajo y Capacidades	18,3%	16,978%	8,204%
4	Calidad de la Propuesta	14,5%	12,342%	8,980%
5	Resultados Propuestos	12,6%	10,370%	8,868%
6	Potencial de Mercado	20,3%	17,084%	11,962%
7	Riesgos	7,8%	6,240%	5,985%

Desarrollo propio de la autora.

Teniendo en cuenta 9 respuestas de la consulta a expertos, el criterio con mayor peso, haciendo la media geométrica de las evaluaciones, es el de aplicaciones y beneficios potenciales, seguido por el criterio de potencial de mercado, y luego el de equipo de trabajo y capacidades, los cuales suman un poco más del 50 % del peso de la evaluación para un proyecto de I+D. Esto muestra la orientación a mercado que deben tener los proyectos que se postulan, así se encuentren en una etapa temprana y la importancia que se le da a tener las capacidades y los recursos humanos para llevar a cabo la solución propuesta.

Los dos criterios evaluados más bajos son el componente científico y tecnológico, donde se conoce el estado de desarrollo de la solución y la novedad y el otro criterio más bajo es el de riesgos asociados a la inversión y el desarrollo del proyecto.

En la Figura 7 se puede ver la variación de respuestas entre los expertos, y por tanto se hace evidente la alta desviación estándar que hay en las evaluaciones.

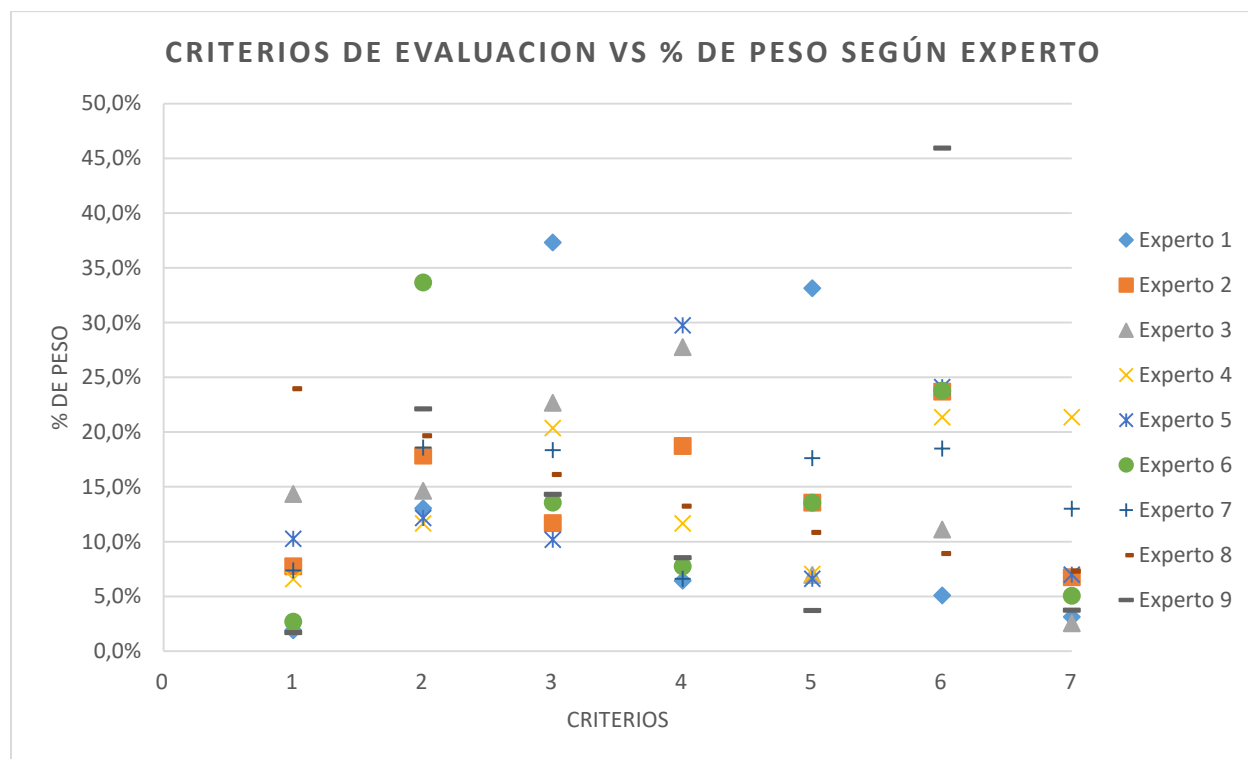


Figura 7. Gráfico de categorías de criterios de evaluación vs el peso según cada experto

La consulta a expertos mostró que cada una de las personas tenía una visión diferente sobre la importancia de diferentes criterios al compararse entre sí. Lo que para algunos podría ser un criterio no muy importante, para otros la evaluación era alta, significando el doble o triple del peso que un experto podía tener. En la Tabla 20 es posible visualizar como un mapa de calor los datos más bajos en color rojo y los más altos en color verde, por cada evaluador en la columna y por cada criterio en la fila.

Tabla 20. Pesos de criterios según expertos.

	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Experto 4	Experto 5	Experto 6	Experto 7	Experto 8	Experto 9
1 Componente científico y tecnológico									
1.1 Novedad	5,9%	19,1%	52,8%	9,1%	15,8%	20,0%	22,0%	10,7%	2,5%
1.2 Actividades de I+D+i a realizar	2,3%	43,6%	11,9%	10,6%	18,6%	20,0%	21,7%	14,1%	56,7%
1.3 Diferenciación	60,3%	19,3%	29,3%	25,1%	32,0%	20,0%	16,8%	18,5%	26,2%
1.4 Estado inicial del desarrollo	13,8%	8,5%	3,0%	17,4%	14,4%	20,0%	22,7%	24,5%	4,6%
1.5 Grado de desarrollo de producto	17,7%	9,5%	3,0%	37,7%	19,2%	20,0%	16,7%	32,3%	10,0%
2 Aplicaciones y Beneficios Potenciales									
2.1 Impacto ambiental	40,8%	9,3%	53,2%	34,6%	13,5%	25,0%	28,1%	9,8%	27,0%
2.2 Impacto socio-económico	16,6%	14,3%	18,3%	34,6%	38,3%	25,0%	23,9%	20,9%	61,5%
2.3 Oportunidad y/o necesidad de la solución planteada	38,6%	45,9%	25,1%	20,9%	30,7%	25,0%	34,0%	34,6%	8,6%
2.4 Multiplicidad de aplicaciones del desarrollo	4,0%	30,5%	3,3%	9,8%	17,5%	25,0%	14,0%	34,6%	2,9%
3 Equipo de Trabajo y Capacidades									
3.1 Capacidades y balance del equipo de trabajo	54,7%	17,9%	33,3%	20,0%	20,9%	33,3%	48,4%	40,7%	69,6%
3.2 Capacidad de ejecución del proyecto	26,3%	67,8%	33,3%	40,0%	17,9%	33,3%	16,8%	22,4%	22,9%
3.3 Alianzas para el desarrollo técnico del proyecto	19,0%	14,2%	33,3%	40,0%	61,2%	33,3%	34,9%	37,0%	7,5%
4 Calidad de la Propuesta									
4.1 Coherencia	14,3%	50,0%	66,7%	50,0%	66,7%	50,0%	33,3%	50,0%	88,9%
4.2 Calidad de la metodología propuesta	85,7%	50,0%	33,3%	50,0%	33,3%	50,0%	66,7%	50,0%	11,1%
5 Resultados Propuestos									
5.1 Protección de la Propiedad Intelectual (Activos de PI)	27,2%	29,7%	24,4%	25,0%	4,8%	33,3%	8,0%	33,3%	77,4%
5.2 Estado al que se llegaría con el desarrollo obtenido	66,1%	16,3%	68,7%	25,0%	19,0%	33,3%	23,4%	33,3%	4,7%
5.3 Barreras jurídicas, técnicas u otras	6,7%	54,0%	6,9%	50,0%	76,2%	33,3%	68,5%	33,3%	17,9%
6 Potencial de Mercado									
6.1 Conocimiento del mercado	10,6%	20,3%	19,1%	12,3%	11,2%	16,7%	11,3%	16,7%	4,0%
6.2 Relaciones estratégicas para la llegada al mercado	19,9%	20,2%	7,9%	21,8%	11,8%	16,7%	11,9%	16,7%	1,6%
6.3 Capacidad de llevar los resultados al mercado	29,9%	28,5%	22,4%	25,0%	15,2%	16,7%	16,1%	16,7%	41,7%

		Experto 1	Experto 2	Experto 3	Experto 4	Experto 5	Experto 6	Experto 7	Experto 8	Experto 9
6.4	Tiempo de llegada al mercado	9,5%	6,1%	10,8%	12,3%	3,1%	16,7%	17,0%	16,7%	17,1%
6.5	Ventana de oportunidad del desarrollo	12,8%	9,4%	32,6%	19,7%	16,0%	16,7%	15,9%	16,7%	14,4%
6.6	Escalabilidad del desarrollo	17,4%	15,4%	7,2%	8,9%	42,7%	16,7%	27,8%	16,7%	21,3%
7	Riesgos									
7.1	Riesgo de la inversión realizada en el proyecto	50,0%	66,7%	16,7%	20,0%	20,0%	50,0%	16,7%	50,0%	10,0%
7.2	Riesgos asociados con la implementación de resultados del proyecto	50,0%	33,3%	83,3%	80,0%	80,0%	50,0%	83,3%	50,0%	90,0%

Desarrollo propio de la autora

Tabla 21. Promedio, media geométrica y desviación de los pesos de los criterios.

		Promedio	Media Geométrica	Desviación Estándar
1	Componente científico y tecnológico			
1.1	Novedad	17,5%	12,914%	14,815%
1.2	Actividades de I+D+i a realizar	22,2%	16,275%	17,215%
1.3	Diferenciación	27,5%	25,456%	13,344%
1.4	Estado inicial del desarrollo	14,3%	11,823%	7,689%
1.5	Grado de desarrollo de producto	18,5%	15,043%	10,949%
2	Aplicaciones y Beneficios Potenciales			
2.1	Impacto ambiental	26,8%	22,932%	14,696%
2.2	Impacto socio-económico	28,2%	25,429%	14,833%
2.3	Oportunidad y/o necesidad de la solución planteada	29,3%	26,851%	10,877%
2.4	Multiplicidad de aplicaciones del desarrollo	15,8%	11,072%	12,020%
3	Equipo de Trabajo y Capacidades			
3.1	Capacidades y balance del equipo de trabajo	37,6%	34,107%	17,500%
3.2	Capacidad de ejecución del proyecto	31,2%	28,445%	15,746%
3.3	Alianzas para el desarrollo técnico del proyecto	31,2%	26,804%	15,926%
4	Calidad de la Propuesta			
4.1	Coherencia	52,2%	47,259%	21,147%
4.2	Calidad de la metodología propuesta	47,8%	42,379%	21,147%
5	Resultados Propuestos			
5.1	Protección de la Propiedad Intelectual (Activos de PI)	29,2%	22,724%	20,776%
5.2	Estado al que se llegaría con el desarrollo obtenido	32,2%	25,325%	21,788%
5.3	Barreras jurídicas, técnicas u otras	38,5%	28,647%	25,448%
6	Potencial de Mercado			
6.1	Conocimiento del mercado	13,6%	12,446%	5,104%
6.2	Relaciones estratégicas para la llegada al mercado	14,3%	11,740%	6,590%
6.3	Capacidad de llevar los resultados al mercado	23,6%	22,266%	8,795%

		Promedio	Media Geométrica	Desviación Estándar
6.4	Tiempo de llegada al mercado	12,1%	10,756%	5,192%
6.5	Ventana de oportunidad del desarrollo	17,1%	16,239%	6,485%
6.6	Escalabilidad del desarrollo	19,3%	17,026%	10,686%
7 Riesgos				
7.1	Riesgo de la inversión realizada en el proyecto	33,3%	27,589%	20,616%
7.2	Riesgos asociados con la implementación de resultados del proyecto	66,7%	63,449%	20,616%

Desarrollo propio de la autora

En la Figura 8 se puede ver la variación de respuestas entre los expertos para los 25 criterios de evaluación analizados y, por lo tanto, se hace evidente la alta desviación estándar que hay para varios de ellos.

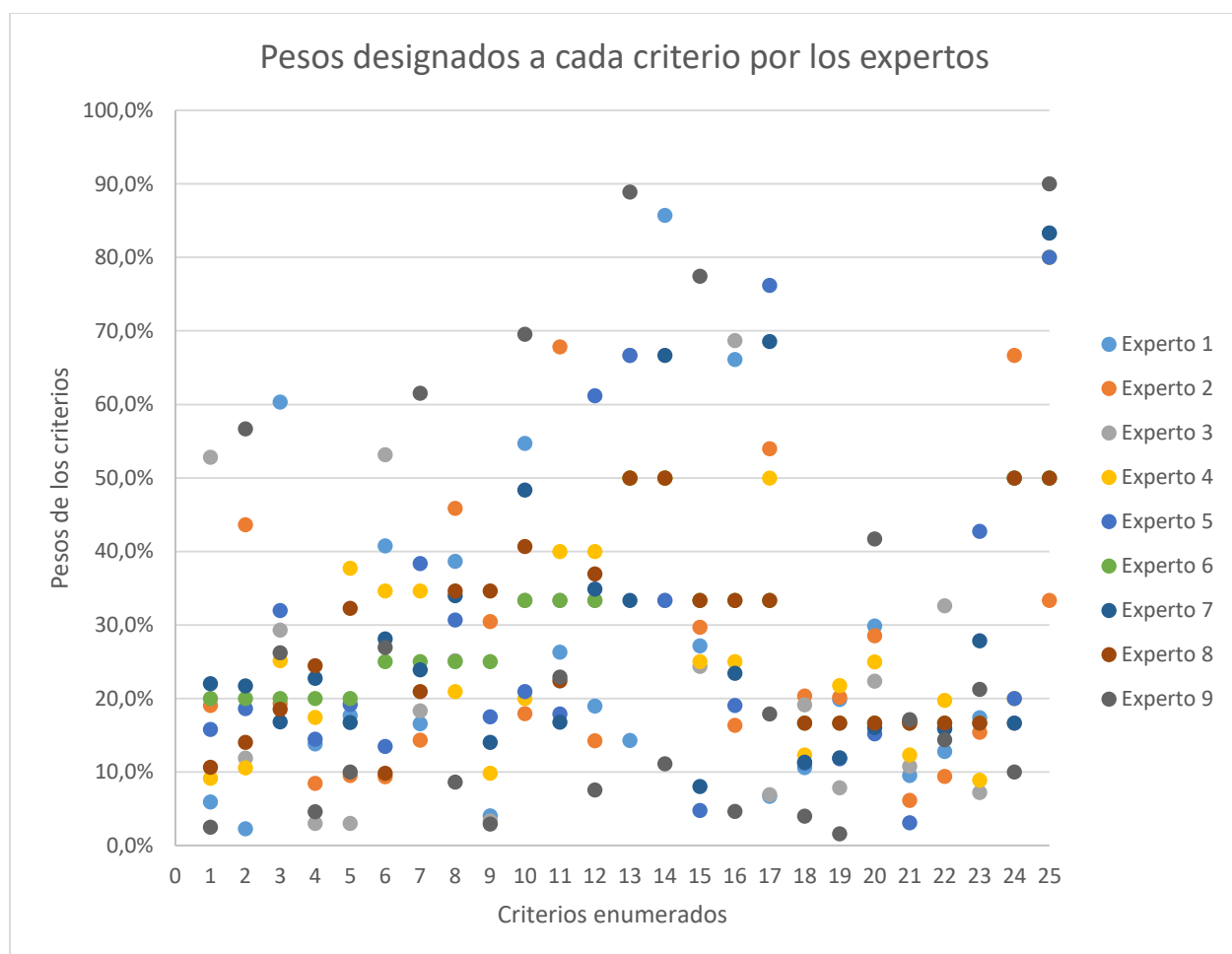


Figura 8. Pesos a los criterios por parte de expertos.

Desarrollo propio de la autora

Además de considerar la variabilidad de respuestas por parte de los 9 expertos, hubo adicionalmente elementos dentro de la evaluación realizada con la metodología AHP, en la que los expertos no lograron tener matrices consistentes para algunos criterios y categorías, lo cual adiciona la desviación en la evaluación.

Tomando las evaluaciones de los expertos como referencia, se propone realizar una segunda iteración de ronda de expertos para evaluar los criterios con un grupo enfocado en I+D desde Ruta N, adicionalmente para acotar también y cerrar la variabilidad de valores en los pesos de criterios y dejar así una última ponderación para usar posteriormente en Ruta N como entidad pública, con los proyectos que se presenten.

Consulta a expertos de Ruta N en I+D

Con gestores de proyectos de investigación y desarrollo de Ruta N en los focos de salud y energía, se realizó el ejercicio de utilizar el instrumento para definir los pesos de los criterios para evaluar proyectos de I+D. Con ellos se realizó el ejercicio de manera presencial y conjunta para definir una única ponderación entre ambos, como punto de vista para los proyectos de I+D de Ruta N. Las matrices dieron consistentes al tener la razón de consistencia inferior a 0.1. Por ejemplo para los criterios de potencial de mercado, donde el orden de la Matriz es de 6, los siguientes son los datos que dan como resultado una matriz consistente.

Tabla 22. Ejemplo de datos de una matriz consistente de orden 6.

Orden de la Matriz	6
Promedio de consistencia	6,427580098
CI	0,08551602
	Valor según tabla
IA índice aleatorio	1,25
RC Razón de consistencia	0,068

Desarrollo propio de la autora.

Para dar la ponderación final de los criterios, se tiene en cuenta el promedio entre los valores de los Expertos de Ruta N y los expertos de las empresas, con el fin de darle pesos iguales a la valoración que hace la institución pública que busca desarrollar la metodología y a las empresas que han tenido experiencia acompañando diferentes proyectos de I+D.

En las siguientes tablas se pueden ver los resultados del promedio de ponderación para los grupos de criterios y criterios evaluados por los expertos de empresas y los de Ruta N.

Tabla 23. Promedio de la ponderación entre expertos empresas y Ruta N para los grupos de criterios.

	Expertos Empresas	Expertos Ruta N	Promedio
1 Componente científico y tecnológico	8,50%	12,89%	10,69%
2 Aplicaciones y Beneficios Potenciales	18,15%	13,76%	15,95%
3 Equipo de Trabajo y Capacidades	18,28%	21,10%	19,69%
4 Calidad de la Propuesta	14,49%	7,58%	11,03%
5 Resultados Propuestos	12,55%	12,17%	12,36%
6 Potencial de Mercado	20,27%	25,99%	23,13%
7 Riesgos	7,76%	6,52%	7,14%
	100,00%	100,00%	100,00%

Desarrollo propio de la autora

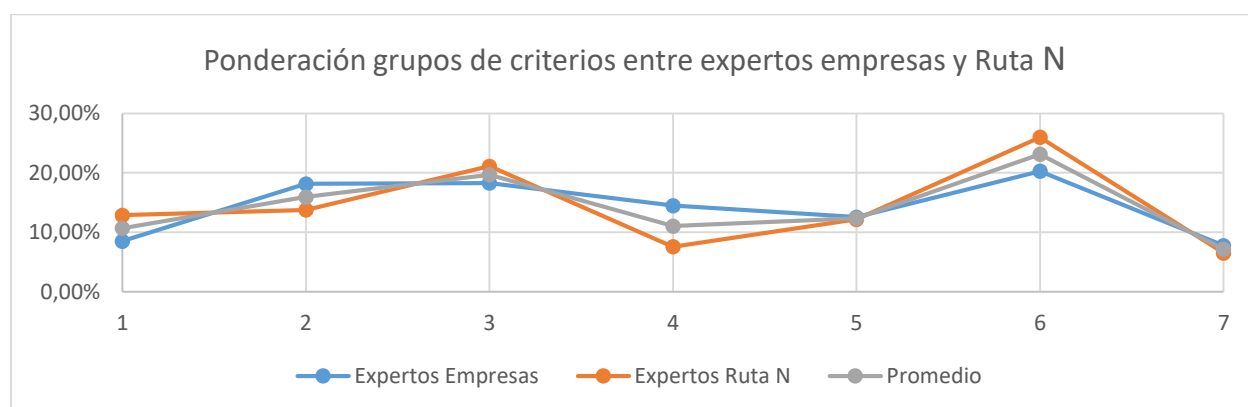


Figura 9. Ponderación de grupos de criterios entre expertos empresas y Ruta N.

Desarrollo propio de la autora

Tabla 24. Promedio de la ponderación entre expertos empresas y Ruta N para los criterios de evaluación de I+D.

		Expertos Empresas	Expertos Ruta N	Promedio
1	Componente científico y tecnológico			
1.1	Novedad	17,54%	7,26%	12,40%
1.2	Actividades de I+D+i a realizar	22,16%	17,07%	19,62%
1.3	Diferenciación	27,51%	34,78%	31,15%
1.4	Estado inicial del desarrollo	14,33%	10,87%	12,60%
1.5	Grado de desarrollo de producto	18,46%	30,02%	24,24%
2	Aplicaciones y Beneficios Potenciales			
2.1	Impacto ambiental	26,80%	19,90%	23,35%
2.2	Impacto socio-económico	28,17%	19,90%	24,03%
2.3	Oportunidad y/o necesidad de la solución planteada	29,27%	46,52%	37,90%
2.4	Multiplicidad de aplicaciones del desarrollo	15,75%	13,68%	14,72%
3	Equipo de Trabajo y Capacidades			
3.1	Capacidades y balance del equipo de trabajo	37,65%	58,42%	48,03%
3.2	Capacidad de ejecución del proyecto	31,19%	18,40%	24,80%
3.3	Alianzas para el desarrollo técnico del proyecto	31,16%	23,18%	27,17%
4	Calidad de la Propuesta			
4.1	Coherencia	52,20%	66,67%	59,44%
4.2	Calidad de la metodología propuesta	47,80%	33,33%	40,56%
5	Resultados Propuestos			
5.1	Protección de la Propiedad Intelectual (Activos de PI)	29,24%	7,80%	18,52%
5.2	Estado al que se llegaría con el desarrollo obtenido	32,22%	28,72%	30,47%
5.3	Barreras jurídicas, técnicas u otras	38,54%	63,48%	51,01%
6	Potencial de Mercado			
6.1	Conocimiento del mercado	13,58%	17,37%	15,48%
6.2	Relaciones estratégicas para la llegada al mercado	14,26%	11,99%	13,12%
6.3	Capacidad de llevar los resultados al mercado	23,56%	28,44%	26,00%
6.4	Tiempo de llegada al mercado	12,14%	6,60%	9,37%
6.5	Ventana de oportunidad del desarrollo	17,13%	24,73%	20,93%
6.6	Escalabilidad del desarrollo	19,33%	10,88%	15,11%
7	Riesgos			
7.1	Riesgo de la inversión realizada en el proyecto	33,33%	85,71%	59,52%
7.2	Riesgos asociados con la implementación de resultados del proyecto	66,67%	14,29%	40,48%

Desarrollo propio de la autora.

Gráficamente, la distribución de pesos de los criterios para cada uno de los grupos se puede ver en las siguientes figuras.

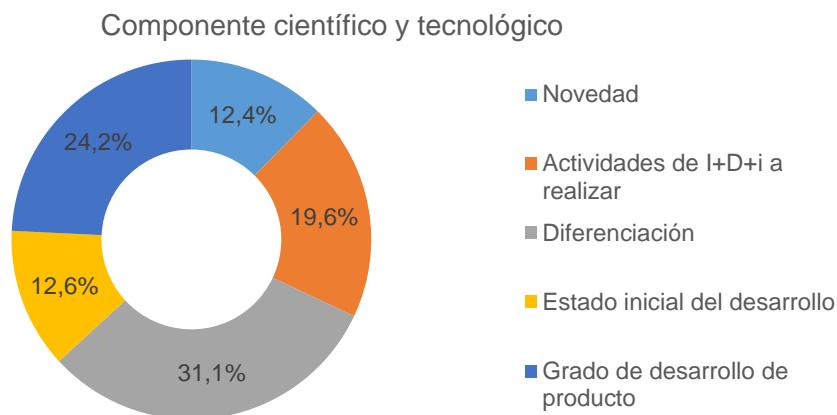


Figura 10. Distribución de pesos del criterio de componente científico y tecnológico

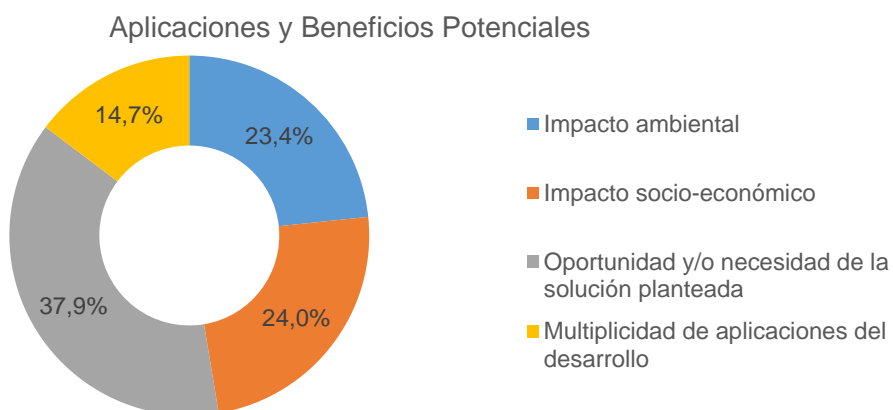


Figura 11. Distribución de pesos del criterio de aplicaciones y beneficios potenciales

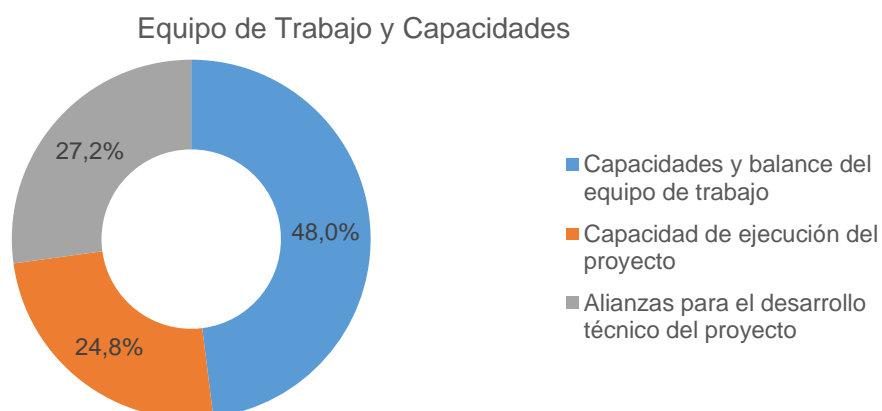


Figura 12. Distribución de pesos del criterio de equipo de trabajo y capacidades

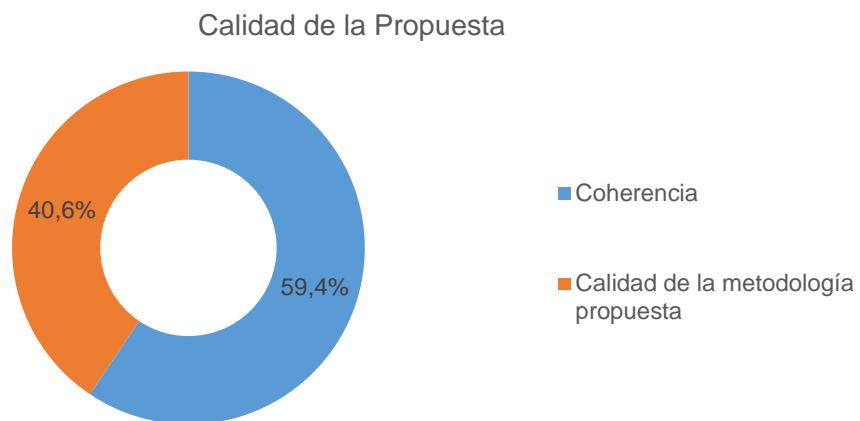


Figura 13. Distribución de pesos del criterio de calidad de la propuesta

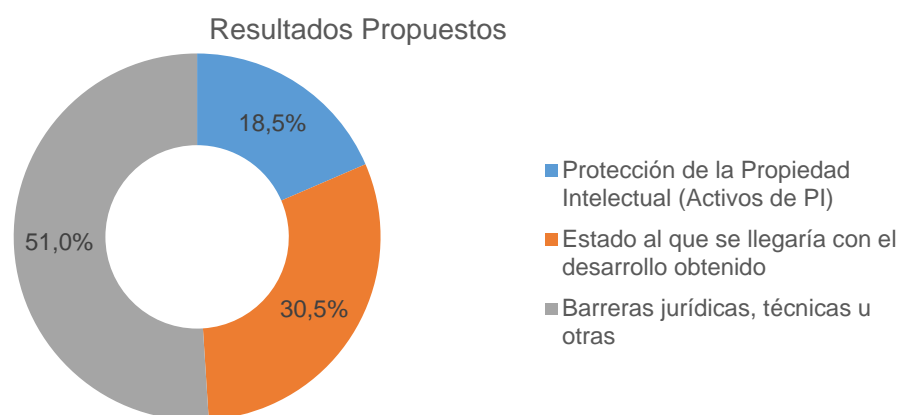


Figura 14. Distribución de pesos del criterio de resultados propuestos

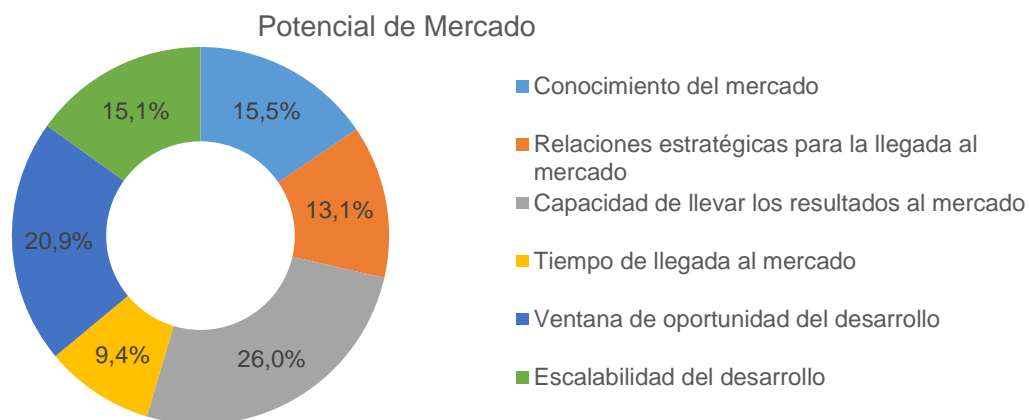


Figura 15. Distribución de pesos del criterio de potencial de mercado

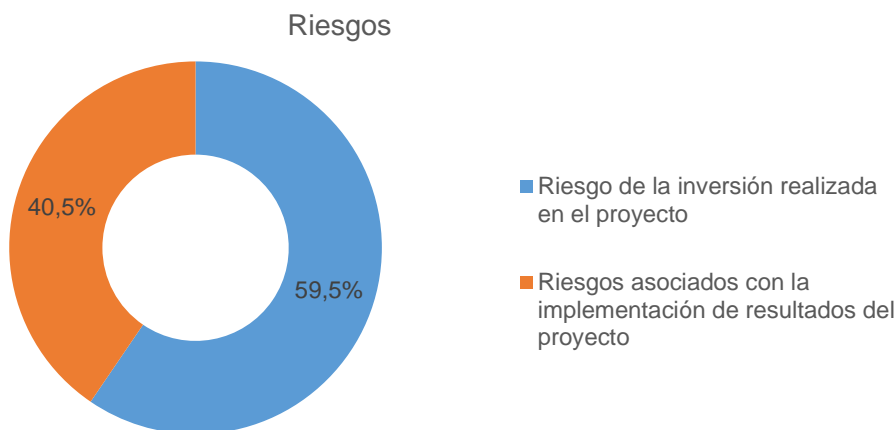


Figura 16. Distribución de pesos del criterio de riesgos.

3.3 Etapa 3: Propuesta metodológica

La metodología propuesta para la evaluación de proyectos de I+D por parte de entidades públicas, consisten en tres momentos, uno previo, un segundo momento de evaluación y un tercer momento de selección de proyectos.

El momento previo comprende la definición de los criterios de evaluación y la estructuración de las preguntas para solicitar información a los proyectos a evaluar. Esta información es concertada con el equipo o institución antes de enviar a los interesados los instrumentos para ellos diligenciar.

El momento de evaluación, comprende desde la recepción de las respuestas o información de los proyectos, hasta ser evaluado por parte de pares evaluadores o expertos según los criterios definidos a través del instrumento tipo *scoring* definida en el momento previo.

El momento de selección de proyectos, es el momento final donde se tiene la lista de proyectos priorizadas y se decide con cuáles proceder para la financiación.



Figura 17. Propuesta metodológica, momentos, decisiones e instrumentos a usar.

Desarrollo propio de la autora

A continuación se explica con mayor detalle los momentos propuestos para la metodología de evaluación y selección de proyectos de I+D, que puede ser usada, sea para una convocatoria de financiación de proyectos o para algún mecanismo de financiación de proyectos de I+D.

3.3.1 Momento previo

Para comenzar la evaluación de proyectos de I+D, se revisan los criterios para tener total claridad del alcance y sus descripciones, así como del peso que tiene cada uno de ellos para realizar la evaluación. Esto se realiza con el fin de que la entidad que recibirá los proyectos, tenga claro cada uno de los elementos propuestos para la evaluación. Para este momento, se propone el instrumento de Consulta a Expertos (ver Anexo A1), desarrollada con los criterios de evaluación de I+D, que puede ser ajustable y reusada por un grupo de expertos con el fin de afinar los pesos de cada uno de los criterios de evaluación, utilizando la metodología AHP. Este afinamiento puede realizarse cada que la entidad a recibir proyectos considere necesario revisar los pesos de evaluación, según el contexto en el que se encuentren. Este instrumento cuenta con 7 componentes y 25 criterios de evaluación para definirle su peso.

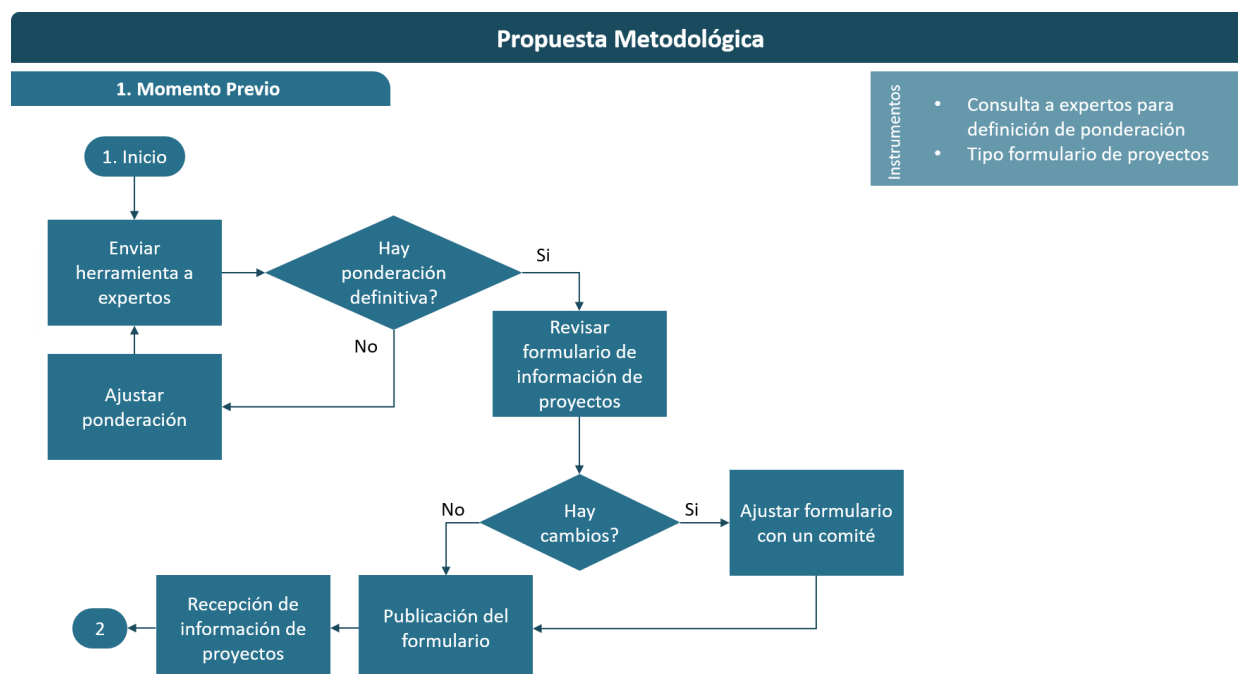


Figura 18. Propuesta metodológica, momento previo.

Fuente: Desarrollo propio de la autora

Adicionalmente para el momento previo es relevante contar también con el formulario de solicitud de información de los proyectos a los dueños de los proyectos, con el fin de que este se encuentre alineado con los componentes y criterios de evaluación definidos para los proyectos de I+D. Para esto, se propone un instrumento tipo Formulario (ver Anexo A2), para detallar la distribución de temas y preguntas que ayuda con mayor claridad a los evaluadores a revisar la información y realizar su proceso de verificación para la evaluación.

El instrumento tipo Formulario contempla 28 preguntas que abordan la información básica del proyecto, el plan financiero y duración de actividades, así como preguntas enmarcadas en las categorías de criterios de evaluación, a excepción de la categoría de calidad que cuenta con criterios para evaluar la coherencia y la calidad de la metodología, según lo que describan en las preguntas de las demás categorías. En los campos de este formulario, debe quedar plasmada de la manera más completa, la información relacionada con el proyecto, con el fin de que los

evaluadores puedan realizar su proceso de revisión, relacionar cada uno de los criterios y proceder a calificar.

INFORMACIÓN BÁSICA	
1 Título del Proyecto	
2 Proponentes del Proyecto	
Nombre de la Organización	
Tipo de entidad	Publica
Rol en el proyecto	Ejecutor
Nombre de la Organización	
Tipo de entidad	Publica
Rol en el proyecto	Ejecutor / Aliado
Nombre de la Organización	
Tipo de entidad	Publica
Rol en el proyecto	Ejecutor / Aliado
3 Objetivo Principal del proyecto	Describir el objetivo principal del proyecto
4 Resumen del proyecto	Describir de manera precisa y resumida de qué se trata el proyecto. Debe explicarse brevemente qué va a hacer el grupo de trabajo, cómo lo va a hacer y qué productos va a entregar en el plazo propuesto para la investigación.

Figura 19. Ejemplo de visualización de campos del formulario de proyectos.

Desarrollo propio de la autora

3.3.2 Momento de evaluación

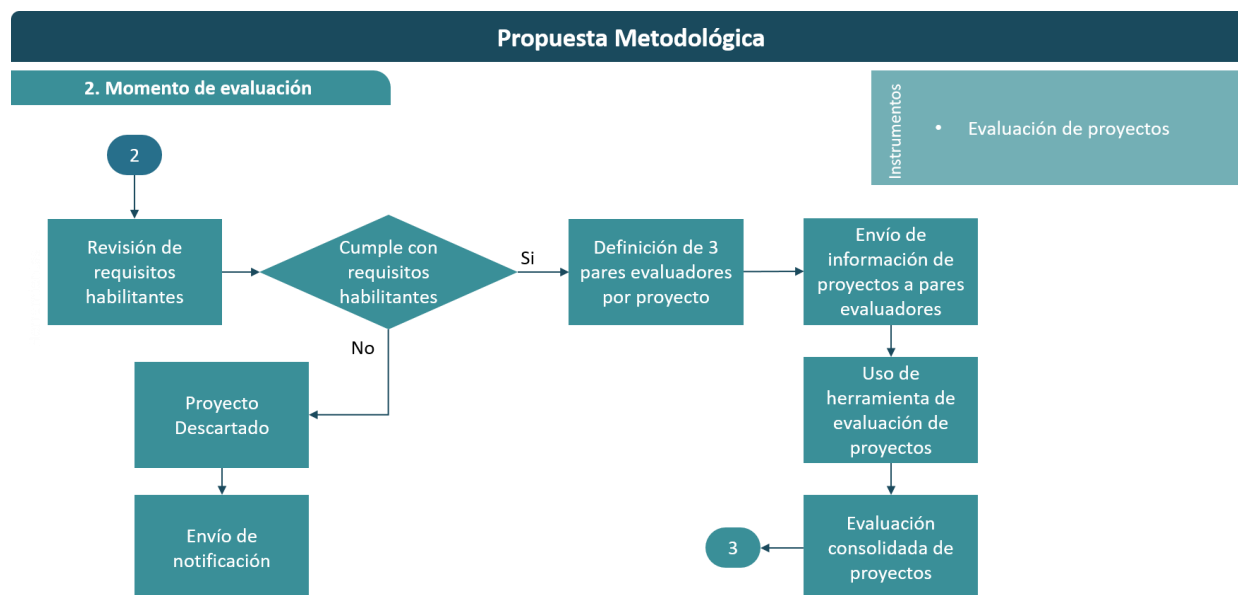


Figura 20. Propuesta metodológica, momento de evaluación.

Desarrollo propio de la autora

Este momento se comprende desde la recepción de información de los proyectos para iniciar su proceso de evaluación. La forma de recepción de la información es a través del formulario que se deja estructurado en 3.3.1 Momento previo.

Para iniciar las evaluaciones de los proyectos, es recomendable formar un grupo de 3 evaluadores, con el fin de dar mayor objetividad al proceso y tener en cuenta los puntos de vista de la información recibida con respecto a los criterios definidos. Los evaluadores deben contar con una mezcla de perfil técnico y comercial, dado que los proyectos de I+D tienen un alto componente técnico, pero también debe haber una claridad sobre el mercado al que puede aplicar las soluciones, desarrollos o tecnologías que se proponen por las oportunidades que pueden surgir al ejecutar el proyecto que plantean.

1

Novedad

Determina el nivel de originalidad y novedad del desarrollo planteado, determinando el impacto geográfico y la posibilidad de protección del conocimiento.

- El desarrollo no cuenta con ningún grado de novedad tanto en mercados nacionales como internacionales y no es susceptible de protección por vía de propiedad intelectual. Puntos: 1,25
- El desarrollo se encuentra en mercados internacionales pero resulta novedoso para el mercado nacional. Puntos: 2,5
- El desarrollo cuenta con algún grado de novedad tanto nacional como internacional pero no se han tramitado derechos de propiedad intelectual. Puntos: 3,75
- El desarrollo cuenta con un alto grado de novedad tanto nacional como internacional y sus derechos de propiedad intelectual se encuentran en trámite o ya han sido otorgados. Puntos: 5

Figura 21. Imagen de referencia del instrumento de evaluación de proyectos en línea.

Fuente: desarrollo propio de la autora

Con los criterios y los pesos de los criterios claros, se usa esta información en el instrumento de Evaluación de Proyectos (ver Anexo A3) para evaluar los proyectos que se presenten en la convocatoria o llamado a proyectos por parte de la entidad, la cual sería usada por parte de los pares evaluadores para su revisión desde los componentes de criterios propuestos. Este instrumento usa la metodología de puntuación o *scoring*, en la cual se asigna un valor o puntaje a las opciones por cada criterio, donde el valor máximo es de 5 y el valor mínimo es 0 para algunos criterios. El evaluador del proyecto revisa el criterio y sus opciones y elige la que más se asemeje al proyecto.

Cuando son varios pares evaluadores quienes revisan el proyecto, el instrumento cuenta con una sección en la que se pueden unificar hasta 3 evaluaciones, y se da el promedio con el puntaje final en una escala máxima de 5 puntos o 100 puntos para tener un comparativo de la escala.

Unos elementos relevantes a tener en cuenta en el proceso de evaluación son los criterios habilitantes para evaluar los proyectos, donde el criterio principal es si el proyecto que se presenta realmente es un proyecto de I+D, porque si se encuentra por fuera de esto, no valdría la pena realizar el proceso para obtener una posible financiación por parte de una entidad. El instrumento de Evaluación de Proyectos, cuenta con el criterio “Estado inicial de desarrollo (grado de madurez de la tecnología)” la cual establece el nivel inicial del desarrollo al momento en que se presenta el proyecto. Para este caso, una de las opciones de los criterios que da cero puntos, indica que, si el prototipo ha sido probado, validado y se demuestra y certifica su viabilidad completa en el entorno real, es porque el proyecto ya se encuentra listo en el mercado y lo que requiere no es particularmente I+D. Otro de los criterios es el “Grado de desarrollo de producto, servicios o procesos”, en el que se determina el nivel en el que el desarrollo o tecnología se ha integrado en

productos, servicios o procesos que puedan ser llevados al mercado. Para este caso, se dan cero puntos si se cuenta con un modelo integral de propuesta de valor para el cliente, con la comprensión detallada del producto, sistema con especificaciones de diseño y certificaciones requeridas, dado que el producto, servicio o proceso ya se encontraría listo y no necesitaría una etapa de I+D.

3.3.3 Momento de selección de proyectos

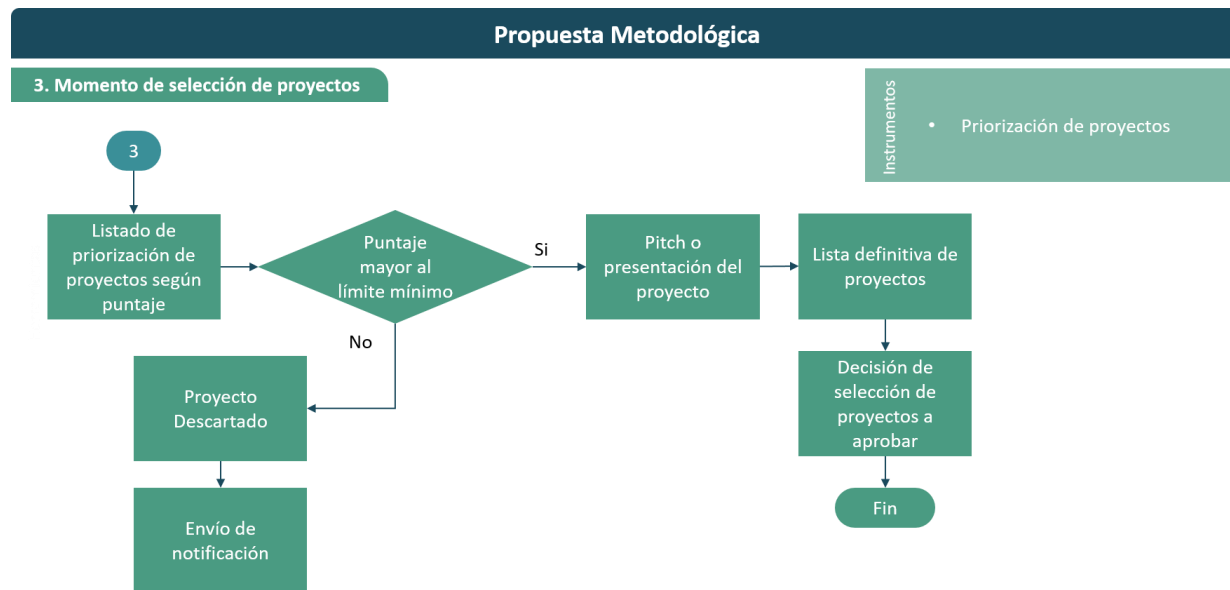


Figura 22. Propuesta metodológica, momento de selección de proyectos.

Desarrollo propio de la autora.

Luego de tener las evaluaciones de cada proyecto presentado por los tres pares evaluadores, se listan los proyectos (ver Anexo A4) de acuerdo con el puntaje obtenido y se define un puntaje mínimo que deben superar los proyectos, para que realicen una presentación tipo pitch, con los expertos pares evaluadores y los encargados de la entidad para definir los proyectos a financiar. Esta presentación se hace con el fin de conocer de otra manera lo que plantea desarrollar el equipo del proyecto. Este es un elemento de control sobre las propuestas que se presentan, para validar la

veracidad de la información que diligenciaron en el formulario los proponentes de los proyectos y revisar si es necesario hacer un cambio en la evaluación por parte de los pares evaluadores.

Como paso final, se deja a la entidad encargada de la financiación en decidir sobre la cantidad de proyectos a financiar según la bolsa de recursos o capacidad con la que cuentan.

3.4 Etapa 4: Aplicación del instrumento

La Etapa 4 consiste en aplicar el instrumento de selección para varios proyectos de I+D por parte de Ruta N, el cual no es un solo instrumento, sino 4 instrumentos desarrollados para los momentos propuestos en la metodología, con el fin de ver qué tan ajustados se encuentran los procesos y criterios de evaluación a la intención y foco de financiación de esta etapa que es una de las más riesgosas en la financiación de proyectos de ciencia y tecnología.

Son cuatro (4) los instrumentos usados, los cuales se mencionan en los tres momentos de la metodología, previo, evaluación y selección. Los instrumentos que se detallan en los anexos son:

- A1. Consulta a expertos para definición de ponderación
- A2. Formulario de Información de proyectos
- A3. Evaluación de proyectos
- A4. Priorización de proyectos

Para el instrumento A1 de consulta a expertos, la definición de ponderación se prueba en el capítulo 3.2.3 obteniendo como resultados unos pesos para los criterios definidos y evaluados por parte de los expertos. Tanto los criterios como el peso de cada uno de estos son muy diferentes y más profundos con respecto a los usados por la entidad, dado que tienen mayor detalle y están exclusivamente focalizados en proyectos de I+D.

Para el instrumento A2 con el Formulario tipo de proyectos, se diligenció la información de proyectos de I+D distribuida en 6 temas y 28 preguntas, desde la información básica de los proponentes, hasta lo relacionado con los criterios de evaluación, el tiempo de ejecución y los recursos a ejecutar. Por confidencialidad de los proyectos de I+D que se eligen para probar el instrumento, se presentarán sólo el número de proyecto, sin mencionar título o alguna información específica sobre estos.

Para el instrumento A3 de evaluación de proyectos, se utilizó el formulario en formato MS Excel y web, para obtener los puntajes de evaluación, como se ve en la Tabla 25 con los criterios de uno de los componentes y el puntaje obtenido para uno de los proyectos.

Tabla 25. Evaluación de proyectos y ejemplo de puntaje obtenido para los criterios del componente científico y tecnológico

criterio	Opciones de Respuesta	Puntaje del criterio
Componente Científico y Tecnológico		
Novedad	El desarrollo cuenta con un alto grado de novedad tanto nacional como internacional y sus derechos de propiedad intelectual se encuentran en trámite o ya han sido otorgados	5
Actividades de I+D+i a realizar	Existen algunas actividades de I+D+i, aunque más orientadas a innovación, en el desarrollo del proyecto. Hay poco Desarrollo Tecnológico como tal	3
Diferenciación (agregación de valor)	Genera una gran diferenciación, llegando incluso a ser la base para innovaciones disruptivas	5
Estado inicial del desarrollo (grado de madurez de la tecnología)	El desarrollo o prototipo probado a nivel de laboratorio ha demostrado funcionalidad en las aplicaciones deseadas	3,75
Grado de desarrollo de producto, servicios o procesos	Se cuenta con un producto mínimo viable (PMV). La demostración de un prototipo de producto, servicio o proceso se ha completado en la (s) aplicación (es) deseada (s)	5

Desarrollo propio de la autora.

Adicionalmente, en la Tabla 26 se muestra la consolidación final de los tres evaluadores del proyecto para obtener el promedio de puntaje y lograr con eso el puntaje final del proyecto.

Tabla 26. Promedio consolidado de ejemplo de evaluación de un proyecto para los criterios del componente científico y tecnológico

Criterio	Peso del criterio	EVALUADOR 1		EVALUADOR 2		EVALUADOR 3		PROMEDIO EVALUACIÓN	
		Puntaje Final sobre 5	Puntaje Final sobre 100	Puntaje Final sobre 5	Puntaje Final sobre 100	Puntaje Final sobre 5	Puntaje Final sobre 100	Puntaje Final sobre 5	Puntaje Final sobre 100
Componente Científico y Tecnológico									
Novedad	1,33%	0,066	1,326	0,050	0,994	0,050	0,994	0,055	1,105
Actividades de I+D+i a realizar	2,10%	0,063	1,259	0,063	1,259	0,063	1,259	0,063	1,259
Diferenciación (agregación de valor)	3,33%	0,167	3,331	0,167	3,331	0,100	1,999	0,144	2,887
Estado inicial del desarrollo (grado de madurez de la tecnología)	1,35%	0,051	1,011	0,051	1,011	0,051	1,011	0,051	1,011
Grado de desarrollo de producto, servicios o procesos	2,59%	0,130	2,592	0,130	2,592	0,097	1,944	0,119	2,376

Desarrollo propio de la autora.

Para el instrumento A4 de priorización de proyectos, se listan los proyectos según recursos solicitados, duración de proyecto y puntaje obtenido de la evaluación. En la Tabla 27 se muestran los resultados finales que listan los proyectos usados para aplicar los momentos propuestos en la metodología de evaluación, indicando que el proyecto 2 tiene el mayor puntaje, el proyecto 1 el segundo mejor puntaje y el tercero el puntaje más bajo.

Tabla 27. Priorización de proyectos

Título del proyecto	Recursos Solicitados	Duración en meses	Puntaje Final sobre 5	Puntaje Final sobre 100
Proyecto 1	\$ 216.650.000	8	3,90	78,05
Proyecto 2	\$ 700.000.000	24	4,05	80,91
Proyecto 3	\$ 300.000.000	24	3,35	66,94
TOTAL	\$ 1.216.650.000	PUNTAJE PROMEDIO	3,77	75,30

Desarrollo propio de la autora.

Al pasar por todo el proceso o momentos propuestos en la metodología, se cumple con dar mayor objetividad a la selección de un proyecto a financiar en una etapa de I+D, por parte de una entidad pública que requiere mostrar de manera transparente la selección de los proyectos para la ejecución de sus recursos. De esta manera, hay mayores elementos para definir si los proyectos se encuentran orientados a los objetivos de la entidad, si cumple con los tiempos, recursos y criterios, a diferencia de tener criterios de evaluación no totalmente enfocados al tipo de proyectos o sin tener todos los elementos para determinar si se financian bajo los objetivos de la entidad.

4 CONCLUSIONES

- Existen diferentes formas de evaluar y seleccionar proyectos de I+D según el interés o lo que quiera resaltar una entidad. Para el caso de entidades públicas, donde el objetivo va más enfocado en el beneficio que un proyecto de I+D pueda generar a un territorio, contar con un método estructurado que permita seleccionar proyectos, genera objetividad y transparencia para argumentar y decidir entregar recursos financieros.
- Los criterios de evaluación de proyectos de I+D forman la parte más importante del proceso de evaluación, ya que sin estos, podrían seleccionarse de manera inadecuada los proyectos o pasar por alto los que podrían encajar con el objetivo de una entidad. Contar con los criterios que más se ajustan al objetivo y definir la importancia entre sí para determinar su peso, marcan la diferencia en la elección de un proyecto y en comparar un grupo de proyectos para definir los que se financiarían.
- En la metodología de evaluación propuesta, es clave la definición de criterios y pesos, porque establece numéricamente qué es lo más importante a evaluar de un proyecto de I+D y, por lo tanto, qué es lo que mayor valor le genera a una entidad pública, que un proyecto tenga en cuenta al momento de plantear una propuesta.
- La propuesta metodológica es planteada en tres momentos en los que intervienen los encargados del proceso de evaluación, los proponentes, evaluadores y tomadores de decisión. En cada momento se cuenta con instrumentos que facilitan la obtención de información, la evaluación y priorización de proyectos. La propuesta metodológica podría contar con variaciones, pero para el caso de una entidad pública, es recomendable seguir todos los pasos con el fin de no perder objetividad en la evaluación, notificar adecuadamente a los proponentes

si se quedan en alguna etapa del proceso y al final seleccionar y decidir los proyectos a aprobar para financiación.

- El instrumento desarrollado que sirve de evaluación de proyecto de I+D consta de muchas preguntas, que se encuentran ligadas con los criterios y al ser tan extensas, posiblemente complejice el proceso de evaluación para un gerente o experto, con respecto a otros formularios de evaluación en los que se examine un proyecto solo con unas cuantas preguntas. La intención de tener tantas, es abordar cada proyecto de manera tan completa que brinde no sólo la posibilidad de dar claridad si debe ser financiado o no, sino también cuáles son esas dificultades y por tanto riesgos que se puedan presentar si el proyecto se apoya.
- La aplicación de los instrumentos y por tanto, de los momentos propuestos en la metodología, permitieron probar la evaluación con sus criterios y pesos, a un grupo de proyectos de I+D de diferentes sectores y áreas de especialidad, con el fin de llegar a una priorización según el puntaje obtenido, recursos solicitados y tiempo de ejecución que facilite la toma de decisión de la entidad financiadora.

5 TRABAJOS FUTUROS

Como trabajo futuro, se podría desarrollar un software que use los instrumentos de este proyecto y el proceso de la metodología propuesta, para construir las historias de usuarios y obtener un aplicativo que tenga los roles de administrador (como entidad que busca financiar proyectos), evaluador (los expertos que toman la información de los proyectos y usan el instrumento de *scoring*), y usuario (quienes diligencian la información del proyecto y lo presentan).

Cuando se cuenten con más datos sobre la financiación de proyectos por parte de la institución pública, se podría hacer más analítica de datos para aplicar en la metodología algoritmos de *machine learning* u otras técnicas para identificar los mayores vacíos o complejidades que presentan los proyectos de I+D y tomar decisiones complementarias. Esto es algo que podría servir como trabajo futuro, una vez se tengan datos suficientes o cientos de pruebas de evaluación de proyectos.

6 REFERENCIAS

- Albala, A. (1975). Stage Approach for the Evaluation and Selection of R & D Projects. *IEEE Transactions on Engineering Management*, (4).
- Arratia, M. N. M., López, I. F., Schaeffer, S. E., & Cruz-Reyes, L. (2016). Static R&D project portfolio selection in public organizations. *Decision Support Systems*, 84, 53–63. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2016.01.006>
- Baker, N. R. (1974). R&D project selection models: An assessment. *IEEE Transactions on Engineering Management*, EM-21(4), 165–171. <https://doi.org/10.1109/TEM.1974.6448498>
- Balachandra, R., & Friar, J. H. (1997). Factors for success in R&D projects and new product innovation: a contextual framework. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 44(3), 276–287. <https://doi.org/10.1109/17.618169>
- Bhattacharyya, R. (2015). A Grey Theory Based Multiple Attribute Approach for R&D Project Portfolio Selection. *Fuzzy Information and Engineering*, 7(2), 211–225. <https://doi.org/10.1016/j.fiae.2015.05.006>
- Bitman, W. R., & Sharif, N. (2008). A Conceptual Framework for Ranking R&D Projects. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 55(2), 267–278. <https://doi.org/10.1109/TEM.2008.919725>
- Chien, C.-F. (2002). A portfolio-evaluation framework for selecting R&D projects. *R and D Management*, 32(4), 359–368. <https://doi.org/10.1111/1467-9310.00266>
- Coffin, M. a., & Taylor, B. W. (1996). Multiple criteria R&D project selection and scheduling using fuzzy logic. *Computers & Operations Research*, 23(3), 207–220. [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(96\)81768-0](https://doi.org/10.1016/0305-0548(96)81768-0)

- Colciencias. Tipología de proyectos de carácter científico, tecnológico e innovación (2014). Colombia: Consejo Nacional de Beneficios Tributarios en Ciencia, Tecnología e Innovación-CNBT.
- Coldrick, S., Lawson, C. P., Ivey, P. C., & Lockwood, C. (2002). A decision framework for R&D project selection. *Engineering Management Conference, 2002. IEMC '02. 2002 IEEE International, 1*, 413–418 vol.1.
- Ghasemzadeh, F., & Archer, N. P. (2000). Project portfolio selection through decision support. *Decision Support Systems, 29*(1), 73–88. [https://doi.org/10.1016/S0167-9236\(00\)00065-8](https://doi.org/10.1016/S0167-9236(00)00065-8)
- Hall, D. L., & Nauda, A. (1988). A strategic methodology for IR&D project selection. ..., 1988. *Engineering Leadership in the 90's, ..., 59–66*. <https://doi.org/10.1109/IEMC.1988.34911>
- Héder, M. (2017). From NASA to EU: The evolution of the TRL scale in Public Sector Innovation. *Innovation Journal, 22*(2), 1–23.
- Henriksen, A. D., & Traynor, A. J. (1999). A practical R&D project-selection scoring tool. *IEEE Transactions on Engineering Management, 46*(2).
- Huang, C. C., & Chu, P.-Y. (2011). Using the fuzzy analytic network process for selecting technology R&D projects. *International Journal of Technology Management, 53*(1), 89. <https://doi.org/10.1504/IJTM.2011.037239>
- Huang, C. C., Chu, P. Y., & Chiang, Y. H. (2008). A fuzzy AHP application in government-sponsored R&D project selection. *Omega, 36*(6), 1038–1052. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2006.05.003>
- Ishizaka, A., & Nemery, P. (2013). Multi-criteria decision analysis: Methods and software. *West Sussex, UK: John Wiley and Sons*.
- Jeng, D. J.-F., & Huang, K.-H. (2015). Strategic project portfolio selection for national research

- institutes. *Journal of Business Research*, 68(11), 2305–2311.
<https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2015.06.016>
- Karasakal, E., & Aker, P. (2016). A Multicriteria Sorting Approach Based on Data Envelopment Analysis for R&D Project Selection Problem. *Omega*.
<https://doi.org/10.1016/j.omega.2016.12.006>
- Khorramshahgol, R., Azani, H., & Gousty, Y. (1988). An integrated approach to project evaluation and selection. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 35(4), 265–270.
<https://doi.org/10.1109/17.7449>
- Kim, J., Jo, H., Kim, Y., & Jeon, J. (2016). Managing the strategic fit of national R&D programme portfolios: the case of creative economy policy in Korea. *Innovation: Management, Policy & Practice*, 18(2), 99–144. <https://doi.org/10.1080/14479338.2016.1187573>
- Kutlaca, D. (1997). Multicriteria-based procedure as decision support in the selection of government financed R&D projects. *Yugoslav Journal of Operations Research*, 7(1), 133–148.
- Liberatore, M. J. (1987). An Extension of the Analytic Hierarchy Process for Industrial R & D Project Selection and Resource Allocation. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 34(I), 12–18. <https://doi.org/10.1109/TEM.1987.6498854>
- Liu, O., Wang, J., Ma, J., & Sun, Y. (2016). An intelligent decision support approach for reviewer assignment in R&D project selection. *Computers in Industry*, 76, 1–10.
<https://doi.org/10.1016/j.compind.2015.11.001>
- Mankins, J. C. (NASA). (1995). Technology readiness level.
- Materia, V. C., Pascucci, S., & Kolympiris, C. (2015). Understanding the selection processes of public research projects in agriculture: The role of scientific merit. *Food Policy*, 56, 87–99.

<https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2015.08.003>

Meade, L. M., & Presley, A. (2002). R&D project selection using the analytic network process.

IEEE Transactions on Engineering Management, 21(2), 59–66.

<https://doi.org/10.1109/17.985748>

Moore, J. R., & Baker, N. R. (1969). An analytical approach to scoring model design —

Application to research and development project selection. *IEEE Transactions on*

Engineering Management, EM-16(3), 90–98. <https://doi.org/10.1109/TEM.1969.6447060>

OECD. (2002). *Frascati Manual 2002: Proposed Standard Practice for Surveys on Research and*

Experimental Development. Paris: OECD Publishing.

<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1787/9789264199040-en>

Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process-what it is and how it is used. *Mathematical*

Modelling, 9(3–5), 161–176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)

Saaty, T. L. (1987). Decision making, new information, ranking and structure. *Mathematical*

Modelling, 8(C), 125–132. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90555-0](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90555-0)

Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal*

of Operational Research, 48(1), 9–26. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)

Saaty, T. L. (1997). That is not the analytic hierarchy process: what the AHP is and what it is not.

Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, 6(6), 324–325.

[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1360\(199711\)6:6<324::AID-MCDA167>3.0.CO;2-Q](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1360(199711)6:6<324::AID-MCDA167>3.0.CO;2-Q)

Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (1987). Uncertainty and rank order in the analytic hierarchy process.

European Journal of Operational Research, 32(1), 107–117. [https://doi.org/10.1016/0377-](https://doi.org/10.1016/0377-2217(87)90275-X)

[2217\(87\)90275-X](https://doi.org/10.1016/0377-2217(87)90275-X)

Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2006). *Decision making with the analytic network process:*

economic, political, social and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7279-7>

Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2012). *Models , Methods , Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process* (Vol. 175). <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3597-6>

Santiago, L., & Vakili, P. (2005). Optimal project selection and budget allocation for R&D portfolios. *Portland International Conference on Management of Engineering and Technology, 2005*, 275–281. <https://doi.org/10.1109/PICMET.2005.1509701>

Tavana, M. . b, Keramatpour, M. ., Santos-Arteaga, F. J. ., & Ghorbaniane, E. . (2015). A fuzzy hybrid project portfolio selection method using Data Envelopment Analysis, TOPSIS and Integer Programming. *Expert Systems with Applications*, 42(22), 8432–8444. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.06.057>

Tohumcu, Z., & Karasakal, E. (2010). R&D Project Performance Evaluation With Multiple and Interdependent Criteria. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 57(4), 620–633. <https://doi.org/10.1109/TEM.2009.2036159>

UNESCO, I. for S. (2018a). 2018 R&D Survey Launch. Retrieved January 2, 2019, from <http://uis.unesco.org/en/news/2018-rd-survey-launch>

UNESCO, I. for S. (2018b). How much does your country invest in R&D? Retrieved January 2, 2019, from <http://uis.unesco.org/apps/visualisations/research-and-development-spending/>

United Nations (UN); (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Retrieved January 2, 2019, from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Vargas, L. G. (1982). Reciprocal matrices with random coefficients. *Mathematical Modelling* 3, 69–81.

Virtual, U. (2011, August). Diferencias entre metodología, método y técnica - Metodología de la

investigación. Retrieved from <https://es.calameo.com/read/001520787f429f87b1831>

Wang, K., Wang, C. K., & Hu, C. (2005). Analytic hierarchy process with fuzzy scoring in evaluating multidisciplinary R&D projects in China. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 52(1), 119–129. <https://doi.org/10.1109/TEM.2004.839964>

7 ANEXOS

A1. Consulta a expertos para definición de ponderación

A2. Formulario de Información de proyectos

A3. Evaluación de proyectos

A4. Priorización de proyectos