

“Aplicación de la metodología MIVES para la toma de decisiones en materia de I+D en el ámbito empresarial”

Plan de Investigación realizado por:

Edith Guedella Bustamante

Dirigido por:

Antonio Aguado de Cea

Co-dirigido por:

Carlo Paulotto

Barcelona, junio de 2015

Universitat Politècnica de Catalunya

Doctorat en Sostenibilitat

1. Índice y listado de tablas

Contenido

1. Índice y listado de tablas.....	2
2. Resumen.....	3
3. Motivación y objetivos	4
4. Estado del arte	6
5. Metodología	16
6. Plan de trabajo	26
7. Referencias	27
8. Contribuciones esperadas	29

Tablas

Tabla 1: Actividades para la innovación tecnológica 2013: Empresas con actividades innovadoras por ramas de actividad, tipo de indicador y tamaño de la empresa. Unidades definidas en las variables (Realizado a partir de los datos de Encuesta sobre Innovación en las empresas 2013: Innovación Tecnológica. Resultados por ramas de actividad (CNAE-2009)).....	8
Tabla 2: Visión 2025 para el sector de la construcción.....	12
Tabla 3: Índice para la homogeneización de las líneas de investigación.....	17
Tabla 4: Árbol de toma de decisión para la evaluación de la sostenibilidad de la selección de líneas de I+D para el caso de estudio concreto del presente proyecto de investigación.....	22
Tabla 5: Requerimiento funcional del árbol de toma de decisión	23
Tabla 6: Requerimiento económico del árbol de toma de decisión	23
Tabla 7: Requerimiento social del árbol de toma de decisión.....	24
Tabla 8: Requerimiento ambiental del árbol de toma de decisión	25

Gráficos

Gráfico 1: Planificación temporal de la ejecución de los trabajos para la realización de la tesis.....	26
--	----

Ilustraciones

Ilustración 1: Representación de la estructura general de la toma de decisión	20
Ilustración 2: Árbol de toma de decisión genérico (Fuente Viñolas <i>et al.</i> 2009)	21

2. Resumen

En el presente plan de investigación se presentan las ideas generales que se desarrollarán para la tesis titulada “Aplicación de la metodología MIVES para la toma de decisiones en materia de I+D en el ámbito empresarial”, que pretende desarrollar una herramienta multicriterio basada en el empleo de la metodología del Modelo Integrado de Valor para Evaluaciones Sostenibles (MIVES) para evaluar la sostenibilidad en la toma de decisiones en materia de Investigación, Desarrollo e Innovación en el ámbito empresarial, mediante la evaluación de un caso de estudio concreto de la dirección de Innovación Tecnológica de la empresa ACCIONA Infraestructuras.

La valoración y agregación cuantitativa de los distintos requisitos que constituyen los tres pilares básicos de la sostenibilidad es importante para comparar de forma objetiva la incidencia relativa de alternativas de procesos e introducir mejoras. La mayoría de estos requisitos tienen unidades de medida diferentes, por ello, para valorar el grado de sostenibilidad, es importante basarse en metodologías multicriterio de valoración que permitan valorar y ponderar todos esos requisitos de diferente índole. La metodología MIVES permite obtener un único índice de valor que mide el grado de sostenibilidad del proceso evaluado.

Para el presente plan de investigación se propone, en una primera instancia, la evaluación de la priorización según el origen de la idea, según el grado de innovación de la idea y la mejora de la capacidad competitiva que la línea de investigación puede dar a la empresa, para la homogeneización de las líneas de investigación a realizar en el caso de estudio concreto analizado. Posteriormente, se plantea el desarrollo del árbol de toma de decisión en materia de sostenibilidad de las líneas de investigación a evaluar como un sistema de decisión multicriterio basado en los tres pilares de la sostenibilidad (requerimientos económicos, sociales y ambientales), e introduciendo también los requerimientos funcionales en la toma de decisión.

Aunque todavía no se ha desarrollado para el presente plan de investigación, una vez finalizado el árbol de toma de decisión, se pretende validar la propuesta metodológica mediante el análisis de decisiones ya tomadas sobre distintas líneas de investigación y de futuras selecciones entre líneas de investigación del caso de estudio concreto.

3. Motivación y objetivos

La motivación principal de este plan de investigación consiste en el desarrollo de una herramienta multicriterio basada en el empleo de la metodología del Modelo Integrado de Valor para Evaluaciones Sostenibles (MIVES) para integrar el concepto de la sostenibilidad en la toma de decisiones en materia de Investigación, Desarrollo e Innovación en el ámbito empresarial. El desarrollo de este plan de investigación emplea como caso de estudio la toma de decisiones para la selección de líneas de investigación del Centro Tecnológico de I+D+i de la empresa constructora ACCIONA Infraestructuras.

El presente plan de investigación surge de la necesidad de la Dirección de Innovación Tecnológica de la empresa ACCIONA Infraestructuras del desarrollo de una herramienta multicriterio que permita integrar el concepto de sostenibilidad de las diferentes líneas de investigación en las que se ha de invertir, además de poder generar una herramienta que permita homogeneizar las diferentes líneas para que sean comparables entre sí.

En el caso de estudio en concreto en el que se centra el presente plan de investigación, la misión y la visión de la empresa ACCIONA se definen como la búsqueda del liderazgo en la creación, promoción y gestión de infraestructuras, energía y agua contribuyendo activamente al bienestar social, al desarrollo sostenible y a la generación de valor para los grupos de interés de la misma, además de dar respuesta al reto de conseguir un desarrollo sostenible a través de todas las áreas de actividad, para que generaciones actuales y futuras puedan disfrutar de una vida mejor (ACCIONA, 2014). El Centro Tecnológico de ACCIONA Infraestructuras se alinea con la misión y visión de la compañía, definiendo las suyas propias con el fin de contribuir a mejorar el desarrollo sostenible con el que la compañía está comprometido, por lo que la sostenibilidad siempre supone un pilar en el que basar sus decisiones. Esta sostenibilidad puede entenderse según la definición del informe Brundtland (ONU, 1987), basándose en los tres pilares básicos: económico, social y ambiental. De ahí que en la toma de decisiones, siempre se ha de tener en cuenta la sostenibilidad como un motor. Además, la misión del Centro Tecnológico se define como la mejora de la capacidad competitiva de la Compañía fundamentada en la diferenciación tecnológica, impulsando la innovación y mejora continua en los procesos operativos de la misma, a través del desarrollo e incorporación al negocio de innovadoras tecnologías, productos, procesos y servicios. Todo ello, con el objetivo último de contribuir a cumplir la misión de ACCIONA Infraestructuras de ser una empresa líder en la creación, promoción y gestión de infraestructuras que opera bajo los principios de contribución al bienestar social, desarrollo sostenible y generación de valor para sus grupos de interés (ACCIONA Infraestructuras, 2014, a). Tanto la misión como la visión del Centro Tecnológico caso de estudio del presente plan de investigación denotan la necesidad de una herramienta que permita el análisis multicriterio en la toma de decisiones en materia de sostenibilidad a la hora de seleccionar las líneas de investigación a desarrollar.

Así, el presente plan de investigación pretende desarrollar una herramienta multicriterio que permita evaluar la sostenibilidad en la toma de decisiones basada en la metodología MIVES, como respuesta a la necesidad del centro ámbito de estudio ante la carencia actual de una herramienta lo suficientemente robusta de estas características.

El presente plan de investigación hace referencia a un caso concreto del ámbito empresarial, no extrapolable inmediatamente en el sector debido a que cada empresa construye y promueve una cultura empresarial y una visión estratégica, que puede diferir en cierta medida del caso de estudio del presente plan de investigación, pero sí contribuye a la comprensión de la estructuración del pensamiento en un caso de estudio concreto que puede ser empleado como punto de partida para otras empresas del sector.

La valoración y agregación cuantitativa de los distintos requisitos que constituyen los tres pilares básicos de la sostenibilidad es importante para comparar de forma objetiva la incidencia relativa de alternativas de procesos e introducir mejoras. La mayoría de estos requisitos tienen unidades de medida diferentes, por ello, para valorar el grado de sostenibilidad, es importante basarse en metodologías multicriterio de valoración que permitan valorar y ponderar todos esos requisitos de diferente índole. La metodología MIVES permite obtener un único índice de valor que mide el grado de sostenibilidad del proceso evaluado (Viñolas *et al.*, 2009).

Por todo ello, se puede plantear el **objetivo principal** del presente plan de investigación como la aplicación y adecuación de la metodología MIVES para la evaluación de la sostenibilidad en la toma de decisiones destinadas a la selección de líneas de investigación en el ámbito empresarial del sector de la construcción analizando el caso de estudio concreto de la empresa constructora ACCIONA Infraestructuras. La metodología MIVES ya ha sido aplicada para realizar valoraciones multicriterio y para evaluar la sostenibilidad de diferentes alternativas en campos de la ingeniería. En este proyecto de investigación se trata de demostrar la versatilidad de la herramienta MIVES para su aplicación en un caso concreto del ámbito empresarial en la toma de decisiones en materia de I+D.

Objetivos específicos: Para poder alcanzar el objetivo general de este plan de investigación se plantean los siguientes objetivos específicos:

1. Analizar la metodología MIVES para evaluar su idoneidad como herramienta multicriterio para su empleo en la evaluación de la sostenibilidad de la toma de decisiones en materia de I+D dentro del ámbito empresarial del sector de la construcción y mejorarla adecuándola al caso de estudio concreto de ACCIONA Infraestructuras
2. Estudiar los componentes que se emplean actualmente en un caso de estudio concreto de una empresa de construcción española en la toma de decisiones en materia de I+D
3. Proponer un sistema de evaluación de las líneas de investigación homogeneizador que permita comparar líneas de investigación de diferentes unidades de negocio
4. Determinar el árbol de toma de decisión mediante la selección de los requerimientos, criterios e indicadores más representativos posibles y que más se asemejen a la realidad del caso de estudio
5. Comparar la variabilidad existente para el caso de criterios económicos entre el empleo de indicadores numéricos cuantitativos e indicadores no numéricos cualitativos establecidos mediante atributos

4. Estado del arte

El presente capítulo pretende plantear una revisión general del estado actual de la I+D en el ámbito privado, especialmente en el sector de la construcción, y de las diferentes herramientas con las que las empresas cuentan para la evaluación de la sostenibilidad y cómo esa sostenibilidad se introduce en la toma de decisiones.

Estado de la I+D en España en el sector de la construcción

Uno de los factores claves para conseguir mejoras significativas desde el punto de vista económico y social, así como mejorar los niveles de competitividad en términos internacionales, es la inversión en actividades relacionadas con la Investigación, el Desarrollo y la Innovación (I+D+i). Esto abarca desde el desarrollo o adopción de nuevas tecnologías y la mejora de procesos productivos hasta el diseño y confección de nuevas y creativas formas de organización y comercialización de productos o servicios.

Lo anterior implica que, si bien el descubrimiento de avances tecnológicos y no tecnológicos es importante, también lo es la habilidad para aplicar estos avances e innovaciones en procesos o actividades a los que aporten valor agregado a través de una mayor eficiencia y utilización de los recursos disponibles. Múltiples organismos internacionales, como la OCDE, en coordinación con las agencias estadísticas de la mayoría de los países, desde hace ya algunos años han medido y cuantificado los esfuerzos innovadores que se llevan a cabo en las principales economías del mundo. En el desarrollo de estas tareas, y a lo largo de los años, ha ido mejorando la batería de indicadores así como los conceptos y definiciones con el fin de ir incorporando a su metodología, la naturaleza de las nuevas tecnologías y el ritmo al que evoluciona la sociedad del conocimiento.

Gracias a estos esfuerzos metodológicos y estadísticos, se hace posible que los países coordinen sus políticas públicas en la consecución de objetivos definidos y, al mismo tiempo, proporcionen información que permita conocer su evolución y seguir sus progresos. En la Unión Europea, la Agenda de Lisboa (EU 2000) firmada en el año 2000 que pretendía convertir a la región en «la economía del conocimiento más dinámica y competitiva del mundo» y para ello había marcado una agenda para 2010 con hitos muy claros en materia de inversión en I+D+i y la posterior estrategia Europa 2020, donde se han marcado las estrategias para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador (EU, 2010), han promovido las estrategias a seguir para el desarrollo en materia de inversión en I+D+i a nivel europeo durante los últimos 20 años. En el año 2000, España partía de una situación desfavorable con respecto a otras economías europeas aunque consiguió una mejora significativa de sus indicadores hasta el año 2011, con una pequeña decaída debido a la crisis económica hasta la actualidad. Al mismo tiempo, los esfuerzos innovadores de las empresas españolas han desarrollado su propia dinámica, al concentrarse en actividades de innovación no tecnológica como las relacionadas con los nuevos modelos de organización y comercialización de productos y servicios (González Fuentes, *et al.*, 2010).

La inversión en actividades de I+D+i se ha identificado como uno de los factores con mayor influencia en la creación, acumulación y difusión de conocimiento. Incluso, múltiples trabajos en esta área han determinado que existen efectos «derrame» (*spillover*) positivos que traspasan varias dimensiones (geográficas, sectores, etc.) y se extienden a lo largo del tiempo. De forma más particular, Romer (1990) apunta a la actividad de innovación como una fuente importante de generación y acumulación de conocimiento. Esta actividad de innovación es entendida como todas aquellas labores de investigación o diseño de políticas o ideas creativas encaminadas al desarrollo de nuevos productos y servicios. En otras palabras, la innovación es el resultado de los incentivos que el mercado ofrece a las empresas, convirtiéndose en estrategias bien definidas que dependen de factores como la estructura funcional de la economía, el tamaño del mercado y de comportamientos peculiares en las demandas de ciertos

productos o servicios. De esta forma, se pueden distinguir dos modelos de actividades innovadoras: modelos de invención (Grossman y Helpman, 1991; Romer, 1990) y modelos de *aprender haciendo* (*learning by doing*: Barro, 1989). En el primero de estos modelos, la generación y/o adopción de procesos innovadores dependen básicamente de las dimensiones y amplitud del mercado en donde las empresas comercializan sus productos y servicios así como del marco legislativo e institucional que fomenta o restringe este tipo de actividades. En los modelos *learning by doing*, los incentivos que encuentran las empresas para realizar procesos innovadores dependen en gran parte de la naturaleza y variedad de los productos o servicios que comercializa y de las economías de escala que se hayan alcanzado y acumulado a través de sus operaciones.

Asimismo, las dos categorías en los modelos de innovación, mencionadas anteriormente, subrayan la necesidad de un entorno favorable para la generación y difusión de ideas innovadoras. En concreto, se pueden distinguir tres obstáculos a la innovación (González Romero, 2006). En primer lugar se encuentran los fallos de mercado y que se presentan por la naturaleza del proceso mediante el cual se gesta y desarrolla una innovación. Existe una incertidumbre en todo desarrollo innovador que no permite conocer a priori si las repercusiones o resultados serán positivos y rentables. Al mismo tiempo, ocurre en ocasiones que se presentan dificultades a la hora de apropiarse de los resultados, ya sea porque la naturaleza de la idea es de carácter público, no pudiendo impedir su libre utilización. Desde este punto de vista, la intervención pública para solventar estos fallos de mercado se vuelve capital. En segundo lugar, diversos organismos como la OCDE han apuntado a la existencia de fallos institucionales que involucran a la política científica y de innovación en los países a través de sus universidades y sistema educativo, organizaciones profesionales (centros de investigación públicos y privados, parques tecnológicos, etc.) y aquellas instituciones relacionadas con la financiación de dichas actividades. Si estos agentes no funcionan de forma eficaz y si el marco legal (incentivos fiscales) no es adecuado para canalizar a los actores innovadores a través del correcto mecanismo de incentivos, la actividad innovadora podría ser limitada y de bajo rendimiento. Finalmente, los fallos de redes se producen cuando la coordinación entre estas organizaciones e instituciones y las empresas o individuos innovadores es deficiente, dificultando la realización y consecución de inversiones en I+D+i. Ejemplos de este tipo de fallos son la escasa movilidad de trabajadores, investigadores y científicos o la ausencia de vínculos y relaciones formales entre los centros de formación o educación y la comunidad empresarial.

En resumen, las actividades relacionadas con la inversión en I+D+i, especialmente las relativas a la innovación, se identifican como un factor importante en la mejora de eficiencia de la actividad económica, generando externalidades positivas que se traducen en un desarrollo económico sostenible y un crecimiento de la productividad a largo plazo. Independientemente del tipo de modelo que se pretenda fomentar –invención, *learning by doing* o mixto– la importancia que cobra la eficaz coordinación de los organismos implementadores y agentes reguladores de la política científica y de innovación en los países, así como el establecimiento de un marco legal e institucional que defina correctamente los incentivos que los agentes innovadores (empresas, organismos o individuos) deberán traducir y convertir en estrategias rentables para sus actividades, resulta fundamental para la correcta canalización de estas actividades en la generación de riqueza económica (González Fuentes, *et al.*, 2010).

Según el Manual de Frascati, documento propuesto por la OCDE y cuyo nombre oficial es «Propuesta de Norma Práctica para encuestas de Investigación y Desarrollo Experimental», las actividades de I+D+i se definen como «la investigación y desarrollo experimental que 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» (OCDE, 2002). Esta definición es la que se ha tenido en cuenta por los institutos estadísticos a nivel internacional, como EUROSTAT, y por las organizaciones encargadas de desarrollar instrumentos y herramientas de

medición en estas áreas con el fin de homogeneizar los estándares de medida y favorecer las comparaciones a nivel internacional y regional. En cuanto a la situación y evolución reciente de las actividades de I+D+i en España, se ha evaluado la información que el Instituto Nacional de Estadística (INE) proporciona a través de dos productos: La Estadística sobre Actividades de I+D y la Encuesta sobre Innovación Tecnológica en las Empresas. Ambas operaciones estadísticas se publican con carácter anual, y el dato más reciente publicado es el correspondiente al periodo 2013. La Estadística sobre Actividades de I+D se realiza en función de las recomendaciones de la OCDE, que se encuentran recogidas en el Manual Frascati con el fin de establecer la definición de I+D+i aceptada en foros internacionales. En otras palabras, esta Estadística proporciona información basada en definiciones y clasificaciones aceptadas internacionalmente con lo que permite las comparaciones a nivel internacional y regional. Por su parte, la Encuesta sobre Innovación Tecnológica en las Empresas recoge información de más de 43.000 empresas en territorio español de diez o más empleados sobre su actividad innovadora como «la adquisición de nuevas tecnologías, innovaciones tecnológicas, actividades de I+D, gastos en innovación, regionalización de los gastos de innovación, impacto económico de la innovación tecnológica, objetivos de la actividad innovadora, fuentes de ideas innovadoras, obstáculos a la innovación y otras innovaciones no tecnológicas». Además, esta operación estadística proporciona datos relevantes que nutren y se utilizan para el cálculo del European Innovation Scoreboard (EIS), elaborado por la Dirección General de Investigación de la Comisión Europea, mediante el cual se proporciona un resumen de los resultados de la Unión Europea en materia de innovación.

Una de las ventajas que ofrece la edición más reciente de la Encuesta sobre Innovación Tecnológica en las Empresas (2013) es que, con la creación del nuevo Manual de Oslo en donde se ha revisado (2005) la definición de empresa innovadora para incorporar información relativa a las innovaciones no tecnológicas, permite conocer el esfuerzo realizado por las empresas en este tipo de actividades, distinguiendo entre innovaciones de marketing e innovaciones organizativas.

La siguiente tabla (tabla 1) presentan los resultados de uno de los principales indicadores sobre actividad innovadora que se encuentran disponibles por Sector Industrial, que es el denominado Intensidad de Innovación, definida como la importancia relativa del gasto realizado en actividades innovadoras en la cifra de negocios en las empresas.

Tabla 1: Actividades para la innovación tecnológica 2013: Empresas con actividades innovadoras por ramas de actividad, tipo de indicador y tamaño de la empresa. Unidades definidas en las variables (Realizado a partir de los datos de Encuesta sobre Innovación en las empresas 2013: Innovación Tecnológica. Resultados por ramas de actividad (CNAE-2009))

	Menos de 250 empleados	250 y más empleados	Total
TOTAL EMPRESAS			
Total	14772	1347	16119
I+D interna	6916	964	7880
Adquisición de I+D (I+D externa)	3705	568	4273
Adquisición de maquinaria, equipos y hardware o software avanzados y edificios	5850	499	6349
Adquisición de otros conocimientos externos para innovación	415	72	487
Formación para actividades de innovación	4791	360	5151
Introducción de innovaciones en el mercado	2748	413	3161
Diseño, otros preparativos para producción y/o distribución	1582	165	1747
Porcentaje de empresas con actividades innovadoras en 2013 sobre el total de empresas	10,33	40,98	11,02
1. AGRICULTURA, GANADERÍA, SILVICULTURA Y PESCA			
Total	452	16	468
I+D interna	121	8	129

Estado del arte

Adquisición de I+D (I+D externa)	94	5	99
Adquisición de maquinaria, equipos y hardware o software avanzados y edificios	285	5	290
Adquisición de otros conocimientos externos para innovación	10	.	10
Formación para actividades de innovación	214	7	221
Introducción de innovaciones en el mercado	59	1	60
Diseño, otros preparativos para producción y/o distribución	28	.	28
Porcentaje de empresas con actividades innovadoras en 2013 sobre el total de empresas	7,17	27,39	7,36
TOTAL INDUSTRIA			
Total	5945	619	6564
I+D interna	3699	538	4237
Adquisición de I+D (I+D externa)	1788	354	2142
Adquisición de maquinaria, equipos y hardware o software avanzados y edificios	2034	207	2241
Adquisición de otros conocimientos externos para innovación	133	29	162
Formación para actividades de innovación	1323	140	1463
Introducción de innovaciones en el mercado	1292	209	1501
Diseño, otros preparativos para producción y/o distribución	528	81	609
Porcentaje de empresas con actividades innovadoras en 2013 sobre el total de empresas	18,89	71,8	20,3
22. Construcción (CNAE 41, 42, 43)			
Total	792	58	850
I+D interna	204	56	260
Adquisición de I+D (I+D externa)	156	30	187
Adquisición de maquinaria, equipos y hardware o software avanzados y edificios	327	14	342
Adquisición de otros conocimientos externos para innovación	74	2	76
Formación para actividades de innovación	374	18	392
Introducción de innovaciones en el mercado	63	15	78
Diseño, otros preparativos para producción y/o distribución	180	5	185
Porcentaje de empresas con actividades innovadoras en 2013 sobre el total de empresas	5,42	47,9	5,77
TOTAL SERVICIOS			
Total	7583	654	8236
I+D interna	2891	363	3254
Adquisición de I+D (I+D externa)	1667	178	1845
Adquisición de maquinaria, equipos y hardware o software avanzados y edificios	3204	273	3477
Adquisición de otros conocimientos externos para innovación	198	42	240
Formación para actividades de innovación	2880	194	3074
Introducción de innovaciones en el mercado	1334	188	1521
Diseño, otros preparativos para producción y/o distribución	846	79	925
Porcentaje de empresas con actividades innovadoras en 2013 sobre el total de empresas	8,37	29,12	8,87

Notas: 1.- '.'=dato numérico igual a cero no resultante de redondeo '..'=dato protegido por secreto estadístico

Fuente: Instituto Nacional de Estadística

Tal y como se puede apreciar, las empresas en el territorio español presentan en 2013, por término medio, una intensidad de innovación de entorno 1%-2% de su cifra de negocios, sin embargo el comportamiento que se registra en el sector de la construcción es muy inferior al 1%.

En cuanto al gasto en innovación tecnológica por sectores y ramas de actividad según las estadísticas del 2013, el gasto en innovación tecnológica aumentó un 1.6%. Por el contrario, descendió un 23.4% en agricultura, un 16.6 % en el sector de la construcción y un 3.6% en los servicios (INE, 2015).

El Sector de la Construcción es un sector estratégico para España y para Europa, suministrando los edificios y las infraestructuras en las que los ciudadanos desarrollan sus vidas, y los emplazamientos e

instalaciones para que la industria pueda ejercer su actividad, y empleando a más personas que cualquier otro sector industrial. Sin embargo, debido a que gran parte de las empresas del Sector son PYME's, su contribución al PIB español, así como su importancia desde el punto de vista económico, no es a menudo, completamente reconocido.

El Sector tiene una influencia clave en la sostenibilidad: extrae más materiales en bruto que cualquier otro sector, y la creación y operación del ambiente construido (incluyendo la energía usada en el procesado y transporte de los materiales y productos de la Construcción) suma, al menos, el 50% del consumo europeo de energía. Teniendo en cuenta este porcentaje y los objetivos propuestos por la UE para incrementar el uso de energías renovables y las emisiones de efecto invernadero, es necesaria una mayor interrelación entre los sectores de construcción y operación y el energético.

Por lo tanto, cualquier estrategia, para alcanzar los objetivos económicos, medioambientales y sociales en España, debe incluir medidas, desarrolladas a través de la I+D+i, encaminadas a mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los procesos y productos relacionados con la concepción, construcción, explotación y mantenimiento del hecho constructivo (González Fuentes, *et al.*, 2010).

Por otra parte, en el marco de la actual crisis económica, el sector de construcción está sufriendo una coyuntura de fuerte descenso en el volumen de negocio, que afectará indudablemente al tejido productivo (ampliamente dominado por las PYMEs), al igual que a la competitividad y productividad del sector debido a una previsible reducción de la inversión en I+D+i (PTEC, 2011).

Sin embargo y a pesar de la coyuntura, el sector de construcción tiene el compromiso y la convicción para aprovechar las nuevas perspectivas, nuevos modelos de negocio y la internacionalización. Apostando por el potencial del sector para la contribución al desarrollo sostenible mediante el desarrollo de nuevos materiales, productos, procesos y servicios que contribuyan a crear:

- Ciudades más eficientes, amigables, limpias y sostenibles.
- Infraestructuras inteligentes para la interconexión de ciudades y centros productivos.
- Nuevos procesos de construcción más eficientes y seguros.
- Mejora de la habitabilidad de las ciudades, llevando equipamientos e infraestructuras impactantes bajo tierra, dejando los espacios en superficie para los ciudadanos.
- Un uso más eficiente de los recursos naturales, tales y como el agua y la energía. Reduciendo drásticamente su consumo, las emisiones asociadas y la dependencia energética externa a los combustibles fósiles.
- Nuevos modelos de negocio, incrementar la competitividad y generar empleo.

Por todo ello, en las próximas décadas, el sector de la construcción debe encarar una serie de retos importantes de carácter estratégico según la visión estratégica 2025 elaborada por la PTEC, en base a los siguientes objetivos específicos:

Mejorar la competitividad del Sector de la Construcción español

En comparación con la industria tradicional manufacturera, el sector de la construcción tiene un 30% menos de productividad (en términos de producción por hora trabajada). Al menos el 15 % de los costes de construcción se emplean en corregir errores en obra.

El rendimiento del sector de la construcción tiene también un papel crítico para la competitividad y el crecimiento de la industria española, produciendo de forma más efectiva y flexible en costes, en entornos de trabajo mejores o utilizando recursos de investigación avanzados.

La integración satisfactoria de los nuevos estados miembros de la Unión Europea constituye un campo nuevo para la posible exportación de tecnología, así mismo abre nuevos mercados a las empresas españolas en este sector. Por ello, el objetivo debe focalizarse en reducir los costes del ciclo de vida e incrementar el retorno de la inversión en los proyectos de infraestructuras.

Integración social y comunidades sostenibles

Es posible construir edificios y ciudades más habitables o amigables (por ejemplo para las personas de la tercera edad) y crear ambientes urbanos que ayuden a aumentar la seguridad y hacer que las personas se sientan más felices. Los productos derivados del sector de la construcción, tienen una vida larga y tienen un enorme impacto directo en la calidad de vida de los ciudadanos. La conservación del Patrimonio Cultural contribuye a mantener la identidad de los ciudadanos, su respeto frente a la multiculturalidad y a aumentar su calidad de vida. Los procesos constructivos deben evolucionar de forma que se incremente la seguridad y la calidad de vida de los propios trabajadores.

Cambio climático e impacto ambiental

El sector de la construcción tiene unos retos ambientales tan importantes como los de cualquier otro sector. En Europa el 40 % de la energía se consume en edificios, para calefacción y refrigeración y para la operación de los servicios o iluminación. El sector de la construcción consume alrededor del 40% de los recursos materiales, generando el 40 % del total de residuos y produciendo el 35% de las emisiones de gases efecto invernadero. Así, un objetivo crítico para el sector de la construcción consiste en reducir el impacto ambiental de los procesos constructivos desde la perspectiva de análisis de ciclo de vida, considerando los impactos desde la extracción de las materias primas hasta el fin de vida de las infraestructuras construidas. Esto requiere el uso extensivo de la I+D+i en las empresas del sector.

Además de estos objetivos específicos, la Plataforma Tecnológica Española de la Construcción ha definido, según lo anterior, los siguientes objetivos generales en su visión estratégica para los próximos 10 años:

- Incremento de la competitividad: Conseguir un sector competitivo en España y en el exterior, incrementando su tecnología y productividad.
- Mayor respeto al medio ambiente: Armonizar la actividad de la construcción con el entorno en el que actúa, potenciando actuaciones para la conservación y mejora del medio ambiente.
- Aumento de la seguridad: Alcanzar niveles óptimos de seguridad y salud en todos los procesos constructivos.
- Mejora de la calidad de vida: Lograr espacios de vida de calidad y adaptados a las necesidades de los ciudadanos.

En la siguiente tabla (Tabla 2), se desarrollan los objetivos planteados por la PTEC en tres ejes principales (equilibrio urbano, infraestructuras y procesos), desglosando los objetivos por ejes y sus impactos esperados:

Tabla 2: Visión 2025 para el sector de la construcción

Ejes			
	Entorno urbano	Infraestructuras	Procesos
Motivación	Crear entornos urbanos inteligentes, sostenibles, atractivos, adaptables y accesibles, que permitan asegurar la calidad de vida de sus habitantes presentes y futuros.	Diseño, construcción, mantenimiento y seguridad en comunicaciones que faciliten la movilidad de personas y mercancías y la integración territorial.	El sector de la construcción aspira a la mejora continua de las condiciones de seguridad tanto de los trabajadores del sector como de los usuarios finales y de los ciudadanos siendo en este sentido muy importante el desarrollo y adaptación de tecnologías TIC y robótica que permitan desarrollar con éxito procesos constructivos en su totalidad. Más en concreto, las motivaciones definidas en el eje de procesos son:
	Promover los tipos y morfologías adecuados, tanto en edificación como a nivel urbano, que permitan mejorar la calidad ambiental y el confort y resuelvan la mezcla de usos privados y públicos.	Diseño, construcción, mantenimiento, continuidad y seguridad en las infraestructuras de captación, generación y abastecimiento de agua y energía.	
	Reducir la dependencia energética y las emisiones de GEI.	Reducción del impacto ambiental de las infraestructuras a lo largo de todo su ciclo de vida útil.	Mejora de la productividad.
	Regenerar y rehabilitar las zonas degradadas del tejido urbano de forma que edificios, espacio público e infraestructuras cumplan con los futuros requisitos de habitabilidad, salubridad, movilidad y accesibilidad.	Reducción de costes de las infraestructuras en todo su ciclo de vida útil.	Seguridad global (laboral, ambiental). Aseguramiento de la calidad estructural.
	Asegurar la conservación de todos los elementos significativos del patrimonio natural e histórico.		Tecnificación de los procesos constructivos.
Objetivos	Desarrollar estrategias urbanas para la mejora de la calidad de vida, sostenibilidad y habitabilidad de las ciudades europeas	I+D+i en tecnologías enfocadas al desarrollo, mantenimiento y gestión de infraestructuras más eficientes económicamente, más duraderas, más respetuosas con el medio ambiente y energéticamente eficaces, más seguras, más fiables, más inteligentes, y para una sociedad integradora	Racionalizar el uso de la TICs mejorando la interconectividad de los distintos sistemas informáticos y la mejora de las comunicaciones en obra.
	Desarrollar tecnologías que permitan adaptar la demanda y producción energética alcanzando entornos urbanos de energía positiva, integrando energías renovables y tecnologías eficientes		Automatización integral de todos los procesos de la obra terrestre y subterránea con un incremento de la seguridad y productividad.
	Optimizar los trazados y mejorar la eficiencia energética de las redes de instalaciones urbanas existentes	Desarrollo de nuevos materiales que sean sostenibles, inteligentes, seguros, económicos y autoadaptables; para mejorar el ciclo de vida de las infraestructuras.	Reducción de las emisiones de CO2 durante los procesos constructivos.
	Desarrollar nuevos conceptos, métodos, materiales y técnicas sostenibles y preventivas para la gestión, conservación, rehabilitación, restauración y puesta en valor del Patrimonio Cultural urbano		Investigación en nuevos materiales de construcción. Nanomateriales y desarrollo de nuevos métodos de construcción modular. Automatización de maquinaria.
	Realizar un análisis económico y energético global de los productos de construcción, para abordar la sostenibilidad del sector y disminuir su vulnerabilidad ante el cambio climático		Ciclo de vida de materiales. Salud estructural. Gestión de residuos. Construcción sostenible: respeto al medioambiente, eficiencia energética en proceso, fabricación. Introducción de Tics en las infraestructuras. IOCT: Internet Of Construction Technology. Gestión integral de todos los agentes

Impactos	Garantía de habitabilidad y confort para la población y condiciones climáticas pronosticadas en 2025.	Aumento de la fiabilidad en el nivel de servicio de las infraestructuras.	Diseño global del entorno, teniendo en cuenta todos los agentes que forman parte del proceso.
	Nuevos modelos de ciudades sostenibles desde el punto de vista medioambiental, social, económico y cultural	Obtención de infraestructuras rentables, eficientes, seguras y sostenibles.	Optimización del consumo, utilización y distribución de la energía
	Reducción de las emisiones de CO2 en las ciudades del 20%.	Incorporación de los avances tecnológicos a la normativa del sector.	Automatización de procesos peligrosos. Reducción del riesgo laboral.
	Reducción del consumo energético de las ciudades en un 20%	Conocimiento por parte de la sociedad del papel decisivo de las infraestructuras en el desarrollo, la cohesión social y territorial, la calidad de vida y la sostenibilidad.	Integración de redes de comunicación de última tecnología en las infraestructuras.
	Incorporación en la construcción de nueva planta y rehabilitación, por normativa, de sistemas para la reducción del consumo energético y de agua, la recuperación de aguas pluviales y grises, la integración bioclimatistas y el aprovechamiento de fuentes de EERR.	Disminución de la conflictividad de las actuaciones en el entorno construido.	Reducción de la huella en el entorno.
	Una reducción media en el tiempo de puesta en obra de la edificación y obra civil, del 25%, gracias a sistemas modulares ligeros e industrializados.	Mejora de la competitividad del sector de la construcción nacional en el conjunto de los mercados europeos y globales	La introducción de nuevos materiales (plásticos reforzados, hormigones reforzados-hormigones de alta resistencia- nuevos materiales orgánicos-materiales plásticos de síntesis, etc.)
	Utilización, de, al menos, un 10 % de materiales de construcción nuevos focalizados en elementos y materiales constructivos naturales, de baja energía y nanomateriales, de respuesta conjunta al sector.	Reducir en un 30% el número de los accidentes laborales en el sector, así como su gravedad, y en un 40% la mortalidad por accidentes de los usuarios de las infraestructuras de transporte.	La investigación debería aportar su contribución en diversos aspectos, por ejemplo:
	Incremento de la rehabilitación de edificios e infraestructuras existentes en un 25 %	Contribuir al cumplimiento del objetivo 20/20/20 de la Unión Europea, es decir, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero al menos en un 20% en comparación con los niveles de 1990, o en un 30% si se dan las condiciones al efecto; incrementar el porcentaje de las fuentes de energía renovables en nuestro consumo final de energía al menos hasta un 20% y en un 20% la eficiencia energética.	Optimización en el cálculo de los proyectos de obras Minimización del consumo de energía para su construcción y su mantenimiento
	El 80% de los edificios y espacios urbanos de centros históricos estarán debidamente rehabilitados y regenerados socialmente, constituyendo nuevamente el centro de vida de la ciudad	Cumplimiento de las Directivas Europeas de calidad del aire para el 90% de la población, disminuyendo como mínimo en un 50% las superaciones actuales de los niveles límite de calidad del aire en ciudades.	Optimización de su calidad y aumento de su vida útil Minimización de los costes de mantenimiento
		Disminuir al menos un 20% el consumo energético específico por viajero-km y ton-km.	Innovación en productos y procesos en materia de obras públicas, edificación y obras especiales.
		Reducir los costes de mantenimiento de las infraestructuras en un 25%	

Elaborado a partir de PTEC, 2011.

La innovación en el sector de la construcción

Existe una necesidad de implementar procesos y herramientas cuya finalidad última sea mejorar la capacidad de gestión de una entidad mediante la correcta implementación de métricas, y esto puede ser aplicable al sector de la construcción. Así, dotar de criterio a los órganos de gestión es el fin último de dichas métricas, y es, por tanto, una responsabilidad básica de la dirección de las entidades. Con la implementación de dichas métricas, se quiere transmitir por parte de la dirección de los órganos de gestión, la necesidad de establecer un compromiso de toda la organización, con relación al correcto

desempeño asociado a un proceso concreto. La monitorización de dicho proceso transmite a su vez, un sentido de urgencia, de criticidad, de importancia en lo relativo a plazos y consecución de objetivos, que como resultado, redundan en un mayor impacto y alineación de las organizaciones con los proyectos que se emprenden. Sin embargo, cuando esas métricas quieren abarcar naturalezas más “etéreas”, como es la innovación, no existe un consenso en la metodología idónea para su implementación (PTEC, 2015).

Personalizando en el sector constructivo, existen una serie de “barreras/tópicos iniciales” que hacen que la implementación de dichas métricas de innovación, resulte muy laboriosa en comparación con otras métricas implementadas para otros procesos. Esas barreras iniciales responden a:

- Modelo de innovación genérico para el sector de la construcción: así como en otras áreas, sí que existen modelos ampliamente consensuados para su implementación como herramientas de medida (Calidad, Medio Ambiente, Seguridad...), en lo relativo al proceso innovador, depende en mayor medida si cabe, de la realidad organizacional de la entidad que lo lleva a cabo. No se puede generalizar un modelo exitoso para cualquier tipo de entidad, requiere de un conocimiento muy preciso de las potencialidades y limitaciones de la propia entidad, como es el caso de estudio de ACCIONA Infraestructuras del presente plan de investigación.

Con independencia de la tipología y tamaño de la entidad, se pueden encontrar modelos y herramientas aplicables a cada realidad, pero siempre y con carácter previo, se requiere de una labor de generación de Cultura Innovadora y carácter estratégico de dicha actividad, esa permeabilidad a los procesos innovadores es el verdadero motor de la innovación.

- Propia naturaleza del proceso a medir. La innovación requiere de procesos en donde hay una clara contribución de elementos “intangibles”, difíciles de medir de forma cuantitativa, pero con un nivel de contribución muy significativo para conseguir el éxito del proceso innovador.

Aunque real, y no limitante, lo crítico en este campo es tener identificados y evaluados esos “elementos intangibles”, apreciar su existencia, implicaciones e impactos durante el proceso, y este hecho es lo que realmente permite corregir las desviaciones durante el proceso. La manera de codificarlos y de cuantificarlos es secundaria y siempre susceptible de mejorarse conforme se aumenta el nivel de experiencia en la gestión de esta materia.

- Falta de inercia sectorial. La realidad sectorial del sector de la construcción, con un articulado normativo muy claro y delimitado en la mayoría de los ámbitos de aplicación, condiciona el enfoque de las entidades sobre sus potenciales en materia de innovación. En muchos casos, se autolimitan, bien sea por no tener soporte normativo sobre el que articular la innovación, bien por considerar demasiada “arriesgada” o carente de “garantías normativas” la apuesta innovadora.

Una parte que debe tenerse muy en cuenta desde los primeros estadios de la innovación, es su puesta en valor o salida a mercado. De hecho, esa debe ser la única motivación de cualquier proyecto de innovación, su efectiva transferencia al mercado. Lo que limita la puesta en valor de los proyectos no es falta de inercia, en muchos casos, sino falta de previsión, experiencia o incluso puro desconocimiento, en lo relativo a las vías de acceso al mercado. Siempre existen vías, de hecho son una realidad más que consolidada procesos tales como los Documentos de Idoneidad Técnica, el Aseguramiento de la Innovación, la Compra Pública Innovadora y otras soluciones existentes, aptas como vías de evaluación y validación de la innovación. Dicho esto, aunque estas barreras son reales, no son limitantes, y existen referencias de éxito en el sector de la construcción en materia de innovación perfectamente extrapolables a otras entidades (PTEC, 2015)

Tradicionalmente, al sector de la construcción se le atribuye una fama de “inmovilista”, falto de iniciativa o respuesta, en comparación con otros sectores productivos. Quizás eso se podría justificar en otros periodos, donde los ciclos económicos y la propia dinámica del sector, no permitía apreciar como importante o crítica la inversión en Innovación, o lo que es lo mismo, el mantenimiento de esa competitividad en el futuro, pues los recursos se destinaban a la ganancia coyuntural del momento. Pero la realidad actual del sector de la construcción, invita a procesos de catarsis, de reinención, en donde la necesidad se ha mostrado como un arma tremendamente poderosa para dibujar un escenario, en donde la apuesta por la Innovación, ha pasado a ser indispensable dentro del manual de supervivencia de las entidades. Esta mentalidad debe ser común para todos los actores que intervienen el sector de la construcción, pues todas las estructuras que fueron, deben buscarse y redefinirse en la situación actual, tratar de analizar y entender de forma clara, donde radica su fuerza y potenciarla. La cultura de la Innovación, aunque sea por necesidad, siempre es bienvenida, porque permite dar coherencia y armonía a las directrices que se transmiten. Esta cultura de la innovación se traduce en el requerimiento “Mejora de la capacidad competitiva” como consecuencia de la necesidad de innovación del caso de estudio del presente plan de investigación, que se desarrolla en más profundidad en el siguiente capítulo de metodología.

Sostenibilidad en la toma de decisiones en el ámbito empresarial (políticas de sostenibilidad de las empresas, iniciativas nacionales y europeas, etc.)

En el momento de la presentación del presente plan de investigación, este apartado está en proceso de elaboración.

5. Metodología

Para dar una respuesta a los objetivos planteados, los trabajos realizados hasta la fecha se han basado en el análisis de la toma de decisión en materia de I+D para un caso de estudio concreto en una empresa constructora, la evaluación de la adecuación de la metodología MIVES para la evaluación de la sostenibilidad en la toma de decisiones y el planteamiento del árbol de toma de decisión a partir de los datos analizados.

Una de las primeras acciones realizadas en este proyecto ha sido el mantenimiento de reuniones presenciales con los diferentes cargos responsables de la toma de decisiones (director y gerentes) del Centro Tecnológico de I+D+i de la empresa constructora ACCIONA Infraestructuras con el fin de conocer en profundidad la realidad de la toma de decisiones en materia de sostenibilidad a la hora de decidir la inversión a realizar para el comienzo de nuevas líneas de investigación.

Un problema de toma de decisiones con criterios múltiples o multicriterio (MCDM) se plantea cuando un decisor tiene que elegir entre un conjunto de alternativas, continuo o discreto, teniendo en cuenta distintos criterios o puntos de vista. MIVES es una metodología de toma de decisión multicriterio que evalúa cada una de las alternativas que pueden resolver un problema genérico definido, a través de un índice de valor. Esta metodología se engloba dentro de la teoría de utilidad multiatributo ya que para obtener el índice de valor de cada alternativa se realiza una suma ponderada de las valoraciones de los diferentes criterios considerados, admitiendo que existe certidumbre. Es decir, las preferencias del decisor respecto a los indicadores planteados son conocidas (Viñolas *et al.*, 2009).

La teoría de utilidad multiatributo presentada en la metodología MIVES se basa en encontrar un único índice de valor para cada una de las alternativas a partir de la agregación de las diferentes funciones de valor de cada uno de los indicadores estudiados. Este hecho, permite obtener una ordenación de todas las alternativas. Además, en la mayoría de metodologías, se obtiene un modelo de valor que permite valorar en un futuro otras alternativas con los mismos condicionantes que las anteriores valoraciones. Este modelo de valor puede realizarse gracias a que se conocen las preferencias del decisor y por ello, se conocen los pesos de cada uno de los aspectos valorados así como la forma de valorarlos. Además, este tipo de metodologías está pensado para resolver problemas de toma de decisión en las que el número de alternativas es discreto (Viñolas, 2011). Una de las características más importantes de la metodología MIVES y que la diferencia de muchas otras, es que el planteamiento de todo el modelo de valoración es anterior a la creación de las alternativas. De esta forma, las decisiones se toman al inicio, cuando se definen los aspectos que se tendrán en cuenta y cómo serán valorados. La ventaja de este planteamiento es que la toma de decisión se realiza sin que exista influencia de las valoraciones de las alternativas evitando que se produzca cualquier tipo de subjetividad (Viñolas *et al.*, 2009). Por todo ello, se considera que las metodologías de toma de decisión multicriterio que siguen la corriente de la teoría de utilidad multiatributo son las que mejor se adaptan a la toma de decisión en materia de I+D en el sector empresarial.

Las fases de la metodología MIVES son:

1. Delimitación de la decisión: se define quién toma la decisión, se fijan los límites del sistema y se establecen las condiciones de contorno.
2. Introducción del árbol de toma de decisión: se ordenan de forma ramificada los aspectos que se tendrán en cuenta en la decisión
3. Creación de las funciones de valor: se crean unas funciones para poder obtener valoraciones de 0 a 1 de todos los aspectos pertenecientes a la última ramificación.

4. Asignación de pesos: se asigna la importancia relativa de cada uno de los aspectos en relación a los restantes pertenecientes a una misma ramificación.
5. Definición de las alternativas: se definen diversas alternativas factibles al problema de toma de decisión planteado. En algunos casos, las alternativas están prefijadas al inicio de la toma de decisión y por ello, no se debe realizar esta fase
6. Valoración de las alternativas: se obtiene el índice de valor para cada una de las alternativas planteadas.
7. Realización de un análisis de sensibilidad: se analiza el posible cambio del índice de valor de cada una de las alternativas en el caso de variar los pesos o las funciones de valor definidas en las primeras fases. Esta fase es opcional dentro de la metodología MIVES.

En el caso del presente plan de investigación, hasta la fecha se ha llegado hasta la fase de introducción del árbol de toma de decisión.

Para realizar esta herramienta de toma de decisión en materia de sostenibilidad para líneas de I+D en referencia a un caso de estudio concreto se propone el desarrollo de un árbol de toma de decisión basado en la metodología MIVES, que valora de una forma integrada todos los aspectos que intervienen en el desarrollo sostenible. Su capacidad de fragmentar un problema complejo y de estructurar el pensamiento del decisor en pequeñas secuencias independientes conjugadas genera un esquema de análisis fácil de interpretar y reproducir. Además, la sencillez conceptual y operacional, junto al que breve tiempo de implementación y robustez debida a la capacidad del modelo de proporcionar datos coherentes, hacen que esta herramienta sea la ideal para el desarrollo de la herramienta de toma de decisión.

Debido a la naturaleza de las alternativas analizadas, la primera operación que ha de realizarse es una homogeneización de las distintas alternativas o líneas de investigación que van a ser evaluadas, para poder emplear una metodología de comparación basada en la teoría de la utilidad multiatributo de alternativas homogéneas.

En este sentido, para la homogeneización de las alternativas de la toma de decisión en materia de I+D, se ha de definir un índice para la evaluación de la priorización según el origen de la idea, según el grado de innovación de la idea y la mejora de la capacidad competitiva, ya que son tres requerimientos claves para el establecimiento de las alternativas en el caso de estudio del presente plan de investigación, como se indica en la siguiente tabla (Tabla 3)

Tabla 3: Índice para la homogeneización de las líneas de investigación

Índice de homogeneización		
Requerimientos	Criterios	Indicadores
Origen de la idea	Negocio	Número de ideas/UNE/año
	Tendencias	Número de ideas por evaluación de tendencias/año
	Técnicos de I+D	Número de ideas por grupo/año
Innovación	En proceso de elaboración	En proceso de elaboración

A la hora de buscar los criterios adecuados al requerimiento de innovación, se ha de tener en cuenta que la innovación se destina a defender y mejorar el valor de la entidad caso de estudio, hay un alineamiento de la innovación con los objetivos estratégicos (de hecho esto influye plenamente en el requerimiento denominado origen de la idea, puesto que la mayor prioridad viene dada de las ideas aportadas directamente por las Unidades de Negocio) y además la actividad de innovación debe asegurar, de forma sostenible, su capacidad de ofrecer resultados productivos para la entidad (aspecto plenamente relacionado con el requerimiento denominado mejora de la capacidad competitiva).

Para seleccionar los criterios e indicadores referentes a la innovación, el presente proyecto además de analizar la información dada por el caso de estudio de ACCIONA Infraestructuras, tendrá en cuenta aquellas indicaciones del documento “Cuaderno PTEC: Métricas de Innovación” (PTEC, 2015) que se adecúen al caso de estudio concreto, como los que se mencionan a continuación:

- Indicadores Temporales. Su objeto es acotar temporalmente cada uno de los hitos a conseguir durante el proceso innovador. Deben planificarse y definirse con una frecuencia acorde a la realidad de la entidad (semanas, meses o años), son las métricas de base sobre las que se articulan el resto de magnitudes de control. Ya que los procesos son secuenciales (aunque con retroalimentaciones múltiples), permiten de forma muy intuitiva chequear el “status” de los proyectos.

- Indicadores Intensivos. Condicionados por la propia Identidad Corporativa de la entidad, delimita el nivel de alineamiento con su ideario corporativo, y agrupa a indicadores que deben ser comunes a todos los proyectos, independientemente de su dotación prevista, prioridad o impacto potencial. En este caso, debido a ese enfoque holístico, la naturaleza de los mismos puede ser muy diversa, desde indicadores relativos a criterios medioambientales, seguridad laboral, nivel de comunicación y transparencia, vías de financiación, etc. o cualquier otra temática que la entidad autoimponga como condición *sine qua non*.

- Indicadores Extensivos. Con la finalidad de informar sobre el desempeño, gestión e impacto final, de los recursos empleados para la consecución de un proyecto. Los temporales, aunque pertenecen a esta categoría, se suelen tratar de forma independiente pues facilitan la comprensión del proceso innovador.

Cómo medir resulta mucho menos intuitivo, y se debe diseñar en función de las capacidades y naturaleza de la propia entidad, aun así, hay que seguir una serie de pautas con carácter general:

- Sistemático y planificado. Fundamental para un correcto análisis, a tiempo, del estado del proyecto. Cada toma de datos no puede suponer la paralización o bloqueo de la entidad.

- Cuadros de indicadores didácticos e intuitivos. Esta información permite dotar de criterio a los órganos responsables de la gestión del proceso innovador. Hacer cómodo al usuario, el análisis correcto de la información, redundante en mejorar la eficiencia del proceso, y por tanto, reduce el tiempo requerido entre la detección de una desviación y la definición de una acción correctiva.

- Manejable. Tener mucha información no implica saberla utilizar. Con carácter general, la información debe ser suficiente para pulsar la realidad del proceso, y si se quiere mayor nivel de detalle en temas concretos, recurrir a un trabajo específico para ello.

- Selectivo. El hecho de que algo se pueda medir, no siempre implica que aporte valor al criterio final, por tanto, hay que tratar de definir estrictamente aquellos que pulsen la realidad del proceso, que permitan obtener una visión clara del grado de alineamiento con los objetivos estratégicos en los que se basa todo proceso innovador.

- Parametrizable. Las naturalezas de los proyectos y sus diferentes finalidades hacen que los enfoques y formas de medir deban ser diferentes para asegurar la calidad de la información en ambos casos. Así, proyectos a corto plazo no pueden adoptar la misma sistemática que proyectos estratégicos de generación de capital tecnológico a largo plazo.

En el momento de presentación del presente plan de investigación, los criterios e indicadores de los requerimientos denominados “Innovación” y “Mejora de la Capacidad Competitiva de la empresa” se encuentran en proceso de elaboración.

En el presente proyecto de investigación, se emplea la metodología MIVES como herramienta de medición de los distintos criterios e indicadores del requerimiento “Innovación”.

Delimitación de la decisión

Siguiendo el manual de la metodología MIVES (Rojí *et al.*, 2006; San José y Josa, 2008) la primera etapa define quién toma la decisión, cuáles son los límites del sistema y qué condiciones de contorno existen.

Quién toma la decisión: la toma de la decisión en el caso de estudio del presente proyecto se realiza por el director y gerentes de la Dirección de Innovación Tecnológica de ACCIONA Infraestructuras, con una posterior aprobación del comité formado por el presidente de la compañía y por todos los directores de las diferentes Unidades de Negocio de la misma. Generalmente, para el caso de empresas que tienen una dirección propia de Investigación y Desarrollo, las decisiones provienen de dicha dirección y son supervisadas por la dirección general de la compañía.

Límites del sistema: para identificar la toma de decisión, ésta se estructura en tres ejes tal y como puede verse en la ilustración 1. En uno de los ejes, la toma de decisión se descompone en todo su ciclo de vida, entendiendo por tal las etapas temporales de las diferentes alternativas (en este caso serían planteamiento, ejecución y explotación de resultados de la línea de investigación). En otro eje, la toma de decisión se divide en todos sus componentes, es decir, en las partes que constituyen las diferentes alternativas. Finalmente en el eje de los requerimientos figuran todos aquellos aspectos en los que se quieren valorar las diferentes alternativas. Esta estructuración está estrechamente relacionada con el árbol de toma de decisión ya que en el mismo figuran de forma ramificada todos los aspectos que serán valorados dentro de los límites de ciclo de vida y componentes establecidos en la primera etapa.

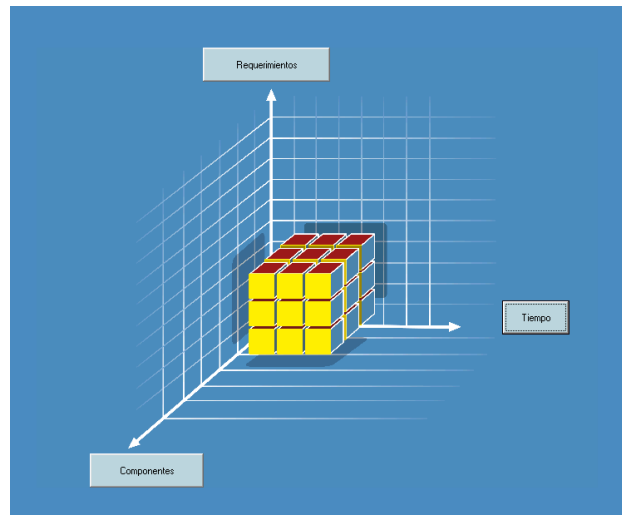


Ilustración 1: Representación de la estructura general de la toma de decisión

Condiciones de contorno: las circunstancias que rodean a la toma de decisión pueden ser diferentes dependiendo de factores temporales, geográficos, climatológicos, tipo de sociedad, etc. Para que la valoración de las alternativas que solucionan un problema sea comparable, las condiciones de contorno deben ser iguales. Para el caso de estudio planteado en el presente plan de investigación, las condiciones de contorno son similares para todas las alternativas estudiadas puesto que la decisión se toma dentro de una única unidad consistente en la Dirección de Innovación Tecnológica. Simplemente variarán las condiciones de contorno establecidas por la realidad de la empresa en el momento de la toma de la decisión. Por ejemplo, si ésta decisión ha de realizarse en un momento de crisis con un límite presupuestario, los requerimientos económicos vendrán marcados por un valor máximo establecido de inversión frente a retorno. Además, existen otra serie de condicionantes que se describen a continuación:

- Condicionantes con una cota máxima en su rango de validez: para el caso de estudio un condicionante con una cota máxima en su rango de validez es el espacio temporal no superior a cinco años, puesto que actualmente sólo se trabaja en líneas de investigación a corto y medio plazo.
- Condicionantes con una cota mínima en su rango de validez: para el caso de estudio no se han identificado hasta el momento.
- Condicionantes con una cota mínima y máxima en su rango de validez: para el caso de estudio no se han identificado hasta el momento.
- Condicionantes del tipo atributos en los que se exigen ciertas características a cada una de las alternativas: por ejemplo: cumplimiento en todos los casos de políticas de prevención, calidad y medio ambiente de la empresa en base a las distintas normativas ISO y OSHAS o el cumplimiento de la normativa técnica y legislativa exigida para llevar a cabo cada una de las líneas de investigación

En el caso de que la cuantificación de alguno de los condicionantes esté por debajo o por encima de los límites predeterminados, la alternativa no será valorada.

Árbol de toma de decisión

Con toda la información recopilada, se ha identificado la toma de decisión teniendo en cuenta los diferentes ejes (temporal, de componentes y de requerimientos) y se ha realizado un árbol de toma de

decisión para la evaluación de la sostenibilidad de la toma de decisión para la selección entre diferentes líneas de I+D.

La evaluación de la sostenibilidad de las líneas de investigación del caso de estudio del presente plan de investigación se entiende como la evaluación de requerimientos económicos, sociales y ambientales de la tecnología (entendida como producto, proceso o servicio) generada como resultado de la línea de investigación.

El árbol de toma de decisión de la metodología MIVES es la ordenación y estructuración en forma ramificada de todos aquellos aspectos que serán estudiados y que se han estructurado en la primera fase, ya que es allí donde se definen los requerimientos de la toma de decisión con todos sus aspectos estructurados y qué componentes y etapas del ciclo de vida se van a tener en cuenta. En la ilustración 2 se muestra un árbol de toma de decisión genérico.

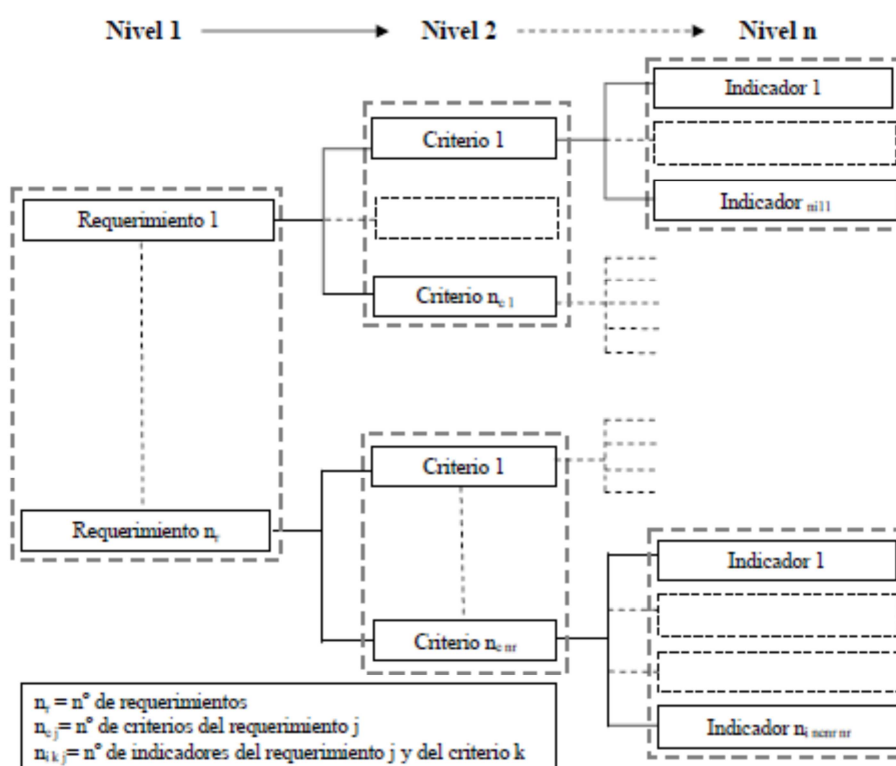


Ilustración 2: Árbol de toma de decisión genérico (Fuente Viñolas *et al.* 2009)

A continuación se presenta el árbol de toma de decisión completo para el caso de estudio en cuestión del presente plan de investigación (Tabla 4):

Tabla 4: Árbol de toma de decisión para la evaluación de la sostenibilidad de la selección de líneas de I+D para el caso de estudio concreto del presente proyecto de investigación

Requerimientos	Criterios	Indicadores
Requerimientos económicos	Costes	Inversión vs retorno
	Tiempo	Plazo de ejecución
Requerimientos sociales	Entrenamiento del equipo	Número de consultas/año
	Publicaciones, congresos	Número de publicaciones, conferencias, congresos/año
Requerimientos ambientales	Impacto ambiental	% de mejora de algún indicador de la metodología CML 2001
Requerimientos funcionales	Resolución problema técnico	Número de consultas resueltas en relación a la problemática/año
	Creación servicio tecnológico	Número de implantaciones del servicio/año
	Acceso a fondos públicos	Número de propuestas presentadas en la temática/año

El primer paso ejecutado para la realización del árbol fue la definición de todos los aspectos de cada requerimiento, todas las fases del ciclo de vida y todos los componentes de la toma de decisión para seleccionar cuáles son los que serán considerados en el caso de estudio. Así, se tendrán en cuenta aquellos aspectos que sean discriminantes y representativos en la toma de decisión.

En el eje del ciclo de vida se puede observar las fases de todas las líneas de investigación: planteamiento, control, ejecución, cierre y explotación. En el eje de componentes se tienen que tener en cuenta planteamiento, control, ejecución, cierre y explotación. En el tercer eje aparecen los requerimientos, que serían requerimientos económicos, sociales y ambientales, según los tres pilares de la sostenibilidad y un requerimiento funcional, debido a la naturaleza técnica de las líneas de investigación. A continuación se describe la elección de criterios e indicadores para cada requerimiento. Es muy importante considerar aquellos aspectos representativos de la toma de decisión y discriminantes, es decir, que hacen diferentes a las alternativas.

Aspectos del requerimiento funcional: en este requerimiento se ha considerado la funcionalidad de la línea de investigación como el motivo por el cual se genera esa línea de investigación, de ahí que se hayan establecido, tras las conversaciones establecidas con los diferentes gerentes y directores de la Dirección de Innovación Tecnológica, los siguientes aspectos:

1. Resolución de un problema técnico asociado a un proceso constructivo
2. Creación de un nuevo servicio tecnológico derivado de una necesidad de negocio
3. Incorporación de una tendencia que permitiría el acceso a fondos públicos de investigación

Estos tres aspectos se asocian dentro de la fase de planificación de la línea de investigación, y los indicadores por cada uno de los criterios se detallan en la siguiente tabla (tabla 5)

Tabla 5: Requerimiento funcional del árbol de toma de decisión

Requerimientos	Criterios	Indicadores
Requerimientos Funcionales	Resolución problema técnico	Número de consultas resueltas en relación a la problemática/año
	Creación servicio tecnológico	Número de implantaciones del servicio/año
	Acceso a fondos públicos	Número de propuestas presentadas en la temática/año

Aspectos del requerimiento económico: el requerimiento económico es un elemento básico en cualquier decisión empresarial, y se ha desglosado en los siguientes aspectos:

1. Costes asociados a la línea de investigación
2. Tiempo estimado para la implantación de la tecnología desarrollada en la línea en negocio

Los costes asociados a la línea de investigación variarán en función del componente en el que se encuentre la línea de investigación, ya que la inversión en horas de personal, ensayos, equipos, etc. varía en función de la etapa.

Los indicadores para cada uno de los criterios se definen en la siguiente tabla (Tabla 6)

Tabla 6: Requerimiento económico del árbol de toma de decisión

Requerimientos	Criterios	Indicadores
Requerimiento económico	Coste asociado a la línea de investigación	Inversión vs retorno (payback)
	Tiempo	Plazo de ejecución de la línea de investigación

Aspectos del requerimiento social: además de los requerimientos de resultados económicos en el sector empresarial, la toma de decisiones viene también influida por la posibilidad de consecución mediante la ejecución de líneas de investigación de resultados que afecten desde el punto de vista social a los trabajadores. En este aspecto, se han definido dos criterios como principales para evaluar las afecciones sociales en las distintas etapas del ciclo de vida de la línea de investigación, que son:

1. Entrenamiento del equipo para una mejor respuesta en tiempo y calidad en cuanto a la resolución de problemas y a la creación de servicios tecnológicos
2. Publicaciones, asistencias a congresos, formación del equipo, que motive y mejore la capacidad investigadora de los miembros del equipo que forman parte del desarrollo de la línea de investigación.

Los indicadores definidos para cada uno de los criterios se muestran en la siguiente tabla (Tabla 7)

Tabla 7: Requerimiento social del árbol de toma de decisión

Requerimientos	Criterios	Indicadores
Requerimientos sociales	Entrenamiento del equipo	Número de consultas/año
	Publicaciones, congresos	Número de publicaciones, conferencias, congresos/año

Aspectos del requerimiento ambiental: para poder evaluar la sostenibilidad de una toma de decisión, además de los requerimientos económicos y sociales, han de tenerse en cuenta los requerimientos ambientales. En este sentido, y bajo el caso de estudio del presente plan de investigación, se han considerado los aspectos ambientales como mediciones del impacto ambiental de las líneas de investigación que se están evaluando, en función del porcentaje de mejora de los impactos ambientales con respecto a la solución tradicional frente a la que la línea podría competir, o como porcentaje de mejora de algunas de las etapas de la línea de investigación, analizando siempre el impacto ambiental desde la perspectiva de análisis de ciclo de vida.

Para la evaluación del indicador se ha seleccionado la metodología de impacto CML 2001 que cuantifica los impactos ambientales en unidades de equivalentes de una sustancia que se toma como referencia del daño (por ejemplo, Potencial de Calentamiento Global, Kg de CO₂ equivalentes).

La metodología CML2001 (Guinée *et al.*, 2002) considera como de crucial importancia las siguientes categorías de impacto, que además son las que se consideran estándar y representativas según la norma UNE-EN 15804: 2012 de Sostenibilidad en materiales de construcción:

- Potencial de calentamiento global (100 años)

El cálculo de esta categoría de impacto se lleva a cabo teniendo en cuenta los gases de efecto invernadero que contribuyen a modificar el balance energético entre la tierra y la atmósfera. Para determinar su valor, se emplean los Potenciales de calentamiento global (Global Warming Potential, GWP) de los gases de efecto invernadero. Estos potenciales expresan la relación entre la absorción infrarroja incrementada debido a la emisión instantánea de 1 Kg de uno de estos gases y la debida a una emisión igual de dióxido de carbono, integradas ambas en el tiempo. Los potenciales de calentamiento global son publicados periódicamente por el panel intergubernamental de expertos en cambio climático (IPCC).

El resultado del cálculo se expresa en Kg de CO₂-Equivalentes.

- Potencial de acidificación

La acidificación consiste en la deposición de ácidos resultantes de la liberación de óxidos de nitrógeno y sulfuro en la atmósfera, suelo y aguas, donde puede variar la acidez del medio. El cálculo del valor de esta categoría se realiza considerando la importancia de los gases con capacidad acidificante en relación a la de la sustancia de referencia, el SO₂. El resultado del cálculo se expresa en Kg SO₂-Equivalentes

- Potencial de destrucción de la capa de ozono

La capa de ozono está presente en la estratosfera y actúa como filtro absorbiendo la radiación UV. La mayoría de los cloruros y bromuros, procedentes de compuestos fluorocarbonados, CFCs y otras fuentes,

reaccionan en presencia de las nubes estratosféricas polares emitiendo cloruros y bromuros activos que, bajo la acción catalizadora de los UV provocan la descomposición del ozono. El potencial de destrucción de la capa de ozono se define como la relación entre la descomposición del ozono en el estado de equilibrio debido a las emisiones anuales por una sustancia destructora y la descomposición del ozono en estado de equilibrio debido a una cantidad igual de CFC-11 (R-11).

El resultado del cálculo se expresa en Kg de R11-Equivalentes.

- Potencial de formación de ozono troposférico por reacciones fotoquímicas (procesos de smog fotoquímico)

Este indicador define la creación potencial de ozono a nivel troposférico, debido a la reacción, en presencia de luz solar, de ciertos contaminantes atmosféricos, entre los que destacan los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles (COV). La formación de ozono en la troposfera, donde se comporta como un foto-oxidante, junto con otras sustancias contaminantes, da lugar al fenómeno que se conoce como smog. Esta circunstancia puede ser perjudicial para la salud humana y los ecosistemas, así como causar daños a los materiales. El potencial de formación de oxidantes fotoquímicos se define como la relación entre el cambio en la concentración de ozono debido a un cambio en la emisión de un VOC y el cambio en dicha concentración debido a una variación en la emisión de eteno (una de las sustancias pertenecientes al grupo de los compuestos orgánicos volátiles, más reactivas en la formación de ozono en la troposfera).

El resultado del cálculo se expresa en Kg de Eteno-Equivalentes.

Así, el criterio que se ha definido ha sido el siguiente:

1. Impacto ambiental

El indicador definido para el criterio establecido se muestra en la siguiente tabla (Tabla 8)

Tabla 8: Requerimiento ambiental del árbol de toma de decisión

Requerimientos	Criterios	Indicadores
Requerimientos ambientales	Impacto ambiental	% de mejora de algún indicador de la metodología CML 2001 o del comportamiento global de todos los indicadores

En el momento de la presentación del presente plan de trabajo se está profundizando en la descripción de los criterios e indicadores, así como la función de valor que se asociará a cada uno de los indicadores.

Una vez que se defina el árbol de toma de decisión, se realizará un contraste del modelo de toma de decisión mediante la evaluación de líneas de investigación seleccionadas en el pasado en el caso práctico de estudio y también se probará el árbol de toma de decisión con varias líneas de investigación que aún no han sido probadas, con el fin de validar el empleo de la herramienta por los decisores en el caso de estudio concreto.

Además del contraste anteriormente mencionado, se pretende también realizar una comparación entre indicadores numéricos de los criterios establecidos para el requerimiento económico con indicadores en forma de atributos de los mismos criterios, con el fin de evaluar las posibles diferencias que puedan observarse.

6. Plan de trabajo

A continuación se muestra un esquema de la planificación de la ejecución de la tesis (Gráfico 1).

	2015						2016											
	JL	A	S	O	N	D	E	F	M	A	My	J	JL	A	S	O	N	D
Distribución de los trabajos																		
Contextualización																		
Capítulo 1: Introducción, objetivos y metodología																		
Capítulo 2: Estado del conocimiento																		
Aspectos metodológicos																		
Capítulo 3: Reconocimiento de necesidades y homogeneización de líneas																		
Capítulo 4: Componentes del árbol de toma de decisión																		
Capítulo 5: Contrastación del modelo de toma de decisión																		
Capítulo 6: Comparación de indicadores económicos numéricos y como atributos																		
Cierre																		
Capítulo 7: Conclusiones																		

Gráfico 1: Planificación temporal de la ejecución de los trabajos para la realización de la tesis

7. Referencias

- ACCIONA, 2014. Libro de Políticas de ACCIONA. Comité de Sostenibilidad. 11 de diciembre 2014.
- ACCIONA Infraestructuras, 2014. Plan estratégico I+D+i 2014-2016. Dirección de Innovación Tecnológica.
- Barro, R. 1989. Economic Growth in a Cross Section of Countries, National Bureau of Economic Research, Documento de trabajo nº 3120, Cambridge. Massachussets.
- EU. 2000. Nota de la Presidencia sobre Empleo, reformas económicas y cohesión social: hacia una Europa de la innovación y el conocimiento. 5256/00.
- EU. 2010. COM(2010) 2020. COMMUNICATION FROM THE COMMISSION. EUROPE 2020 A strategy for smart, sustainable and inclusive growth.
- González Fuentes, M.V., Membribes Quesada, A., y Chacón Bobadilla, D. 2010. La inversión en I+D+i en España. La aportación de las Comunidades Autónomas y las actividades de innovación por sectores. EAE Strategic Research Centre. Pp 29.
- González Romero, A. 2006. Conocimiento, Innovación y Crecimiento Económico. Revista Madrid, nº39. Comunidad de Madrid: Dirección General de Investigación.
- Grossman, G. y Helpman, E. 1991. Innovation and Growth in the Global Economy. Cambridge. Massachussets. The MIT press.
- Guinée, J.B.; Gorée, M.; Heijungs, R.; Huppes, G.; Kleijn, R.; Koning, A. de; Oers, L. van; Wegener Sleeswijk, A.; Suh, S.; Udo de Haes, H.A.; Bruijn, H. de; Duin, R. van; Huijbregts, M.A.J. 2002. Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. I: LCA in perspective. IIa: Guide. IIb: Operational annex. III: Scientific background. Kluwer Academic Publishers, ISBN 1-4020-0228-9, Dordrecht, 692 pp.
- INE. Instituto Nacional de Estadística. 2015. Notas de prensa. Encuesta sobre Innovación en las Empresas. Año 2013. Resultados definitivos. 27 enero 2015.
- OCDE. 2002. Manual de Frascati. Propuesta de Norma Práctica para Encuestas de Investigación y Desarrollo Experimental. FECYT. Fundación Española de Ciencia y Tecnología.
- ONU 1987. Our Common Future. Reporte de la Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo. 318 pp.
- PTEC. Plataforma Tecnológica Española de la Construcción. 2011. Visión Estratégica 2025.
- PTEC. Plataforma Tecnológica Española de la Construcción. 2015. Cuaderno PTEC Métricas de Innovación. Elaborado por el Grupo de Trabajo de Impulso a la Innovación de la PTEC y coordinado por SIKA.
- Rojí, E. Editor. 2006. Autores: Losada, R., Rojí, E., Cuadrado, J., Larrauri, M., Aguado, A., Josa, A., Alavedra, P., Ormazábal, G., Alarcón, B., Manga, R., Jiménez, L., San José, J.T., Garrucho, I., García, D. La medida de la sostenibilidad en edificación industrial. Modelo Integrado de Valor en Edificios Sostenibles (MIVES). LABEIN. UPV-EHU y UPC. Pp 249. ISBN 84-690-2629-1.

Referencias

Romer, P. 1990. Endogenous Technological Change. Journal of Political Economy, vol. 98, nº5, parts 2. Pp S71-S102.

San José, T. y Josa, A. 2008. Planteamiento MIVES para la evaluación. El caso de la EHE. Cemento y Hormigón. Vol. 913, pp 28-36.

Viñolas Prat, B. 2011. Aplicaciones y avances de la metodología MIVES en valoraciones multicriterio. Tesis Doctoral. UPC. Departamento de Ingeniería de la Construcción.

Viñolas, B., Cortés, F., Marqués, A., Josa, A. y Aguado, A. 2009. MIVES: Modelo Integrado de Valor Evaluaciones de Sostenibilidad-II Congrés Internacional de Mesura i Modelizació de la Sostenibilitat ICSMM 09. CIMNE, Barcelona.

8. Contribuciones esperadas

Dado que el presente plan de investigación surge de la necesidad real de una empresa del sector de la construcción, la principal contribución que se espera es la creación de una herramienta de análisis multicriterio basada en la metodología MIVES que pueda ser empleada para la toma de decisiones en materia de I+D en el caso de estudio concreto del presente plan de investigación. De hecho, los trabajos del presente plan de investigación se han incluido dentro de la línea de investigación relativa a Sostenibilidad en Obra Civil que se ejecuta en el grupo de Biotecnología y Medio Ambiente del área de Materiales del Centro Tecnológico caso de estudio. Esto hace que el enfoque del presente plan de trabajo sea eminentemente práctico y con el fin último de ser empleado como herramienta de trabajo en la evaluación de la sostenibilidad de la toma de decisiones en materia de I+D en la Dirección de Innovación Tecnológica de ACCIONA Infraestructuras.

Además, se pretende demostrar la idoneidad de la metodología MIVES como herramienta multicriterio para la evaluación de la sostenibilidad de la toma de decisiones en materia de I+D, mediante el estudio de los componentes que se emplean actualmente en un caso de estudio concreto y la creación de un sistema de evaluación de las líneas de investigación que permita homogeneizarlas para su comparación y análisis posterior en función de los parámetros derivados de la cultura de empresa del caso de estudio en cuestión, que permitirá evaluar en función del origen de la idea y el concepto de innovación que maneje el ámbito empresarial a evaluar, así como la mejora en la capacidad competitiva que pueda dar la línea de investigación.

Asimismo, con uno de los análisis que se realizará durante las siguientes etapas del presente plan de investigación, también se pretende realizar una comparación entre los resultados conseguidos mediante la evaluación de los criterios económicos del árbol de toma de decisión mediante indicadores de tipo numérico y cuantitativo y los resultados obtenidos con indicadores cualitativos que emplean atributos, para así establecer las diferencias entre dos formas diferentes de medir.