



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela T.S. de Ingenieros de  
caminos, Canales y Puertos

## **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA**

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de  
Caminos, Canales y Puertos

### **TRABAJO DE FIN DE MÁSTER**

# **ESTUDIO DE LAS NECESIDADES SOCIALES Y AMBIENTALES DE ESPAÑA PARA LA SELECCIÓN DE CRITERIOS SOSTENIBLES EN LA CONTRATACIÓN DE OBRA PÚBLICA**

**Autor:**

Madeleine Aguilar Morocho

Máster Universitario en Planificación y Gestión en  
Ingeniería Civil

**Tutor:** Laura Montalbán Domingo

**Cotutor:** Tatiana García Segura

Curso: 2017 / 2018

Fecha: Noviembre / 2018

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a todos quienes contribuyeron con la realización de este trabajo, especialmente:

A Dios, por ser mi guía.

A Pedro, por motivarme y apoyarme día a día a superarme en mi vida personal y lo en lo profesional.

A mis padres, hermanos y sobrino, por siempre apoyarme en las metas que me propongo.

A mi tutora Laura Montalbán y cotutora Tatiana García, por su tiempo, paciencia y conocimientos impartidos, lo que me ha ayudado a crecer profesionalmente.

# ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	11
1.2. ALCANCE .....	14
1.3. OBJETIVOS.....	14
1.3.1. OBJETIVO PRINCIPAL .....	14
1.3.2. OBJETIVOS SECUNDARIOS .....	14
2. SOSTENIBILIDAD EN LA CONTRATACIÓN DE OBRA PÚBLICA .....	15
2.1. CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE .....	16
2.2. CONTRATACIÓN SOSTENIBLE.....	17
2.3. EVALUACIÓN DE SOSTENIBILIDAD .....	19
2.4. CRITERIOS AMBIENTALES .....	22
2.5. CRITERIOS SOCIALES .....	25
3. TOMA DE DESICIONES MULTICRITERIO .....	30
3.1. PROCESO DE TOMA DE DESICIONES MULTICRITERIO.....	31
3.2. CLASIFICACIÓN DE MÉTODOS DE TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIO .....	32
3.2.1. METODOS DE TOMA DE DECISIONES MULTI-ATRIBUTO (Multiple Attribute Decision-Making, MADM) .....	33
a. Métodos de puntuación directa.- .....	33
b. Métodos basados en la distancia.- .....	33
c. Métodos de comparación por pares.- .....	33
d. Métodos basados en funciones de valor.- .....	34
e. Métodos de superación (outranking methods).- .....	34
3.2.2. MÉTODOS DE SUPERACIÓN .....	35
3.2.2.1. ELECTRE .....	36
3.2.2.2. PROMETHEE .....	38
3.2.3. RESUMEN DE CLASIFICACIÓN Y CONCLUSIONES .....	44
4. METODOLOGÍA .....	46
4.1. BASES DE DATOS .....	47
4.2. IDENTIFICACIÓN DE INDICADORES.....	50
4.3. ANALISIS ESTADÍSTICO .....	57
4.4. HERRAMIENTA DE TOMA DE DESICIONES (PROMETHEE) .....	60

<b>5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DEL DESEMPEÑO SOSTENIBLE DE LOS PAÍSES DE LA UNIÓN EUROPEA E IDENTIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES PRINCIPALES.....</b>	<b>63</b>
<b>5.1. INDICADORES DEFINITIVOS.....</b>	<b>63</b>
<b>5.2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>70</b>
5.2.1. ENERGIA .....	70
5.2.2. EMISIONES .....	72
5.2.3. RESIDUOS.....	74
5.2.4. AGUA.....	77
5.2.5. FLORA Y FAUNA .....	79
5.2.6. IGUALDAD DE GÉNERO .....	83
5.2.7. EMPLEO.....	87
5.2.8. SEGURIDAD Y SALUD .....	91
5.2.9. DESARROLLO TECNOLÓGICO.....	92
5.2.10. IGUALDAD SOCIAL .....	94
5.2.11. CORRUPCIÓN .....	96
<b>5.3. RESUMEN DEL DESEMPEÑO SOSTENIBLE.....</b>	<b>98</b>
<b>5.4. NECESIDADES SOSTENIBLES DE ESPAÑA .....</b>	<b>99</b>
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>100</b>
6.1. CONCLUSIONES.....	100
6.2. RECOMENDACIONES .....	102
<b>7. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>104</b>
<b>8. ANEJOS .....</b>	<b>109</b>
<b>ANEJO 1: APLICACIÓN PROMETHEE.....</b>	<b>109</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Relación entre Sostenibilidad – Desarrollo Sostenible – Construcción sostenible – Contratación sostenible (Elaboración propia) .....	16
Figura 2: Proceso de toma de decisiones multicriterio (Elaboración propia).....	31
Figura 3: Funciones de preferencia PROMETHEE (Brans et al., 1986) .....	41
Figura 4: Pre-ordenes según PROMETHEE I (Penadés, 2017) .....	43
Figura 5: Pre – orden según PROMETHEE II (Brans et al., 1986).....	44
Figura 6: Clasificación de Métodos de Toma de Decisiones Multicriterio (Elaboración propia).....	44
Figura 7: Proceso PROMETHEE (Elaboración propia).....	61
Figura 8: Función de preferencia III (Brans et al., 1986) .....	62
Figura 9: Desempeño de los países de la UE.....	98
Figura 10: Desempeño Sostenible de España .....	99
Figura 11: Función de preferencia III (Brans et al., 1986) .....	117

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Criterios ambientales (Elaboración propia).....	25
Tabla 2: Criterios sociales (Elaboración propia).....	30
Tabla 3: Ventajas y Limitaciones de los MCDA (Elaboración propia).....	46
Tabla 4: Indicadores inicialmente considerados.....	57
Tabla 5: Alternativas – Países (Elaboración propia).....	63
Tabla 6: Alfa de Cronbach.....	66
Tabla 7: Indicadores definitivos.....	69
Tabla 8: Tabla de decisión - Energía.....	70
Tabla 9: Ranking Total - Energía.....	71
Tabla 10: Ranking Parcial - Energía.....	71
Tabla 11: Tabla de decisión - Emisiones.....	72
Tabla 12: Ranking total - Emisiones.....	73
Tabla 13: Ranking parcial - Emisiones.....	73
Tabla 14: Tabla de decisión - Residuos.....	75
Tabla 15: Ranking Parcial – Residuos.....	75
Tabla 16: Ranking Total – Residuos.....	75
Tabla 17: Tabla de decisión – Agua.....	77
Tabla 18: Ranking Total - Agua.....	78
Tabla 19: Ranking Parcial - Agua.....	78
Tabla 20: Tabla de decisión - Flora y Fauna (a).....	80
Tabla 21: Ranking total - Flora y Fauna (a).....	80
Tabla 22: Ranking parcial - Flora y Fauna (a).....	80
Tabla 23: Tabla de decisión - Flora y fauna (b).....	82
Tabla 24: Ranking parcial - Flora y Fauna (b).....	83
Tabla 25: Ranking Total - Flor y fauna (b).....	83
Tabla 26: Tabla de decisión - Igualdad de género (valores originales) (a).....	84
Tabla 27: Tabla de decisión – Igualdad de género (Valores absolutos) (a).....	84
Tabla 28: Ranking parcial - Igualdad de género (a).....	85
Tabla 29: Ranking total - Igualdad de género (a).....	85
Tabla 30: Tabla de decisión - Igualdad de género (b).....	86
Tabla 31: Ranking Total - Igualdad de género (b).....	86
Tabla 32: Ranking parcial - Igualdad de género (b).....	86
Tabla 33: Tabla de decisión - Empleo (a).....	87
Tabla 34: Ranking total - Empleo (a).....	88
Tabla 35: Ranking parcial - Empleo (a).....	88
Tabla 36: Tabla de decisión - Empleo (b).....	90
Tabla 38: Ranking total - Empleo (b).....	90
Tabla 37: Ranking parcial - Empleo (b).....	90
Tabla 40: Tabla de decisión - Seguridad y Salud.....	91
Tabla 41: Ranking total - Seguridad y Salud.....	91
Tabla 42: Ranking parcial - Seguridad y Salud.....	91
Tabla 43: Tabla de decisión - Desarrollo Tecnológico.....	93
Tabla 44: Ranking total - Desarrollo Tecnológico.....	93
Tabla 45: Ranking parcial - Desarrollo Tecnológico.....	93
Tabla 46: Ranking - Igualdad Social.....	95
Tabla 47: Ranking - Corrupción.....	96

## RESUMEN EJECUTIVO

**TÍTULO DEL TRABAJO DE FIN DE MÁSTER:** Estudio de las necesidades sostenibles de España para la selección de criterios en la contratación de obra pública.

**AUTOR:** Madeleine Aguilar Morocho.

<b>1. Planteamiento del problema a resolver:</b>	La construcción es uno de los sectores más activos de un país y aporta al desarrollo de la sociedad, sin embargo, sus actividades generan muchos impactos sociales, medioambientales y económicos. Dado que en general, los proyectos de construcción son licitados, se considera que la inclusión de criterios sociales y ambientales en las licitaciones, permiten obtener importantes beneficios bajo contexto de sostenibilidad, sin embargo, los responsables de seleccionar dichos criterios, se enfrentan a diferentes tipos de barreras a la hora de establecer criterios y asignar sus valoraciones.
<b>2. Objetivos:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Estudiar las necesidades sostenibles de España a partir de la selección de criterios en la contratación de obra pública.</li><li>• Definir criterios sociales y ambientales.</li><li>• Identificar indicadores sociales y ambientales internacionales asociados a cada uno de los criterios.</li><li>• Analizar las necesidades sostenibles de España a nivel internacional en base a los indicadores establecidos.</li><li>• Identificar las prioridades sociales y ambientales de España, así como los criterios sostenibles clave para un mejor desempeño sostenible.</li></ul>
<b>3. Estructura organizativa:</b>	<ol style="list-style-type: none"><li><b>1. Introducción.</b> – Se describe el problema a resolver, los objetivos a conseguir y el alcance del trabajo.</li><li><b>2. Sostenibilidad en la contratación de obra pública.</b> - Se presenta los principales conceptos entorno a la sostenibilidad en el sector de la construcción y en base a la bibliografía revisada se establece los criterios sostenibles a utilizar en la evaluación del desempeño de los países.</li><li><b>3. Toma de decisiones multicriterio.</b> - Se presenta una revisión bibliográfica entorno a la clasificación de los distintos métodos de toma de decisiones y finalmente se enfoca en los métodos de superación.</li><li><b>4. Metodología.</b> - Se explica sobre en qué consiste el análisis estadístico y los parámetros a utilizar en la herramienta de toma de decisiones multicriterio PROMETHEE.</li><li><b>5. Análisis y discusión del desempeño sostenible de los países de la Unión Europea e identificación de</b></li></ol>

	<p><b>las necesidades principales.</b> - Se muestra lo más importante del desarrollo y resultados del análisis estadístico y la aplicación de la herramienta PROMETHEE, en donde también se discute sobre los resultados y el desempeño de los países de la Unión Europea, para finalmente enfocarse en España.</p> <p><b>6. Conclusiones y recomendaciones.</b> - En este capítulo se presenta las principales conclusiones y recomendaciones para futuras aplicaciones.</p> <p>En el apartado de Anejos, se muestra a detalle la aplicación del método PROMETHEE y sus resultados, para cada una de las categorías de criterios.</p>
<b>4. Método:</b>	La metodología utilizada consiste en que, a partir de establecer criterios sociales y medioambientales, se lleve a cabo una comparativa de los desempeños de los países de la Unión Europea utilizando la herramienta de toma de decisiones multicriterio PROMETHEE y en base a esto identificar sus principales necesidades. Para finalmente enfocar el análisis en España.
<b>5. Cumplimiento de objetivos:</b>	Se definieron criterios sostenibles sobre; Energía, Emisiones, Residuos, Agua, Flora y Fauna, Igualdad de Género, Empleo, Seguridad y Salud, Desarrollo Tecnológico, Igualdad Social y Corrupción. Se identificaron indicadores ambientales y sociales en correspondencia con los criterios establecidos y luego se llevó a cabo el análisis de desempeños de los países de la Unión Europea a partir de la aplicación de PROMETHEE, de donde se obtuvo rankings de los países, para luego enfocarse en el análisis de España.
<b>6. Contribuciones:</b>	Se identificó las principales necesidades y criterios sociales y ambientales vitales para incluir en las licitaciones públicas en España, además se demostró que la herramienta PROMETHEE resultó ser una herramienta práctica para el desarrollo y análisis de una comparativa de países bajo criterios sostenibles pre-establecidos.
<b>7.Recomendaciones:</b>	Para la evaluación de desempeño sostenible se recomienda utilizar un conjunto de alternativas, en este caso países, que mantengan una economía similar para mejorar la comparativa. Así como utilizar datos de bases fiables.
<b>8. Limitaciones:</b>	El presente trabajo utiliza datos del año 2014 hasta el 2017, debido a que en las bases de datos no se registran datos actualizados del año en curso para todos los indicadores.
<b>9. Palabras claves:</b>	Sostenibilidad, Contratación Pública, Criterios Ambientales, Criterios Sociales, Análisis Multicriterio, PROMETHEE.

## RESUMEN

El Desarrollo Sostenible surgió por los efectos destructivos, sociales y ambientales a causa del crecimiento económico en el mundo. Consiste en satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus necesidades, integrando tres factores fundamentales, que son; sociales, económicos y ambientales.

Los proyectos de construcción de obras civiles son vitales para el desarrollo de una sociedad, sin embargo, las actividades de este sector causan numerosos impactos económicos, ambientales y sociales, por lo que para seguir el camino del desarrollo sostenible se debería implementar prácticas más limpias en la construcción. Dado que en general estos proyectos del sector público son licitados, se considera que la inclusión de criterios sostenibles en esta fase aporta beneficios significativos en un contexto de sostenibilidad. Sin embargo, al momento de seleccionar dichos criterios, se presentan diferentes tipos de barreras, en donde una de las más comunes es la confusión y falta de objetividad en los responsables de establecer los criterios.

Por lo tanto, en el presente trabajo se pretende desarrollar una metodología que facilite la selección de criterios sociales y ambientales vitales que deberían ser incluidos en las licitaciones de obra pública, a partir de la identificación de las necesidades sostenibles en base a la comparativa entre países de la Unión Europea. Dado que al tener varias alternativas (países) y diferentes criterios de evaluación, se presenta un problema de toma de decisiones multicriterio, por lo que para la comparativa se utiliza el método de toma de decisiones multicriterio PROMETHEE, el cual permite obtener una ordenación de países en base a las preferencias establecidas.

Debido a que el objetivo principal de este trabajo es el de estudiar las necesidades sostenibles de España a partir de la selección de criterios en la contratación de obra pública, este trabajo finalmente enfoca el análisis en España para identificar sus necesidades sostenibles a partir de su desempeño en comparación con otros países bajo diferentes criterios sociales y ambientales pre-establecidos.

## **ABSTRACT**

Sustainable development arose from the destructive, social and environmental effects, due to the economic growth in the world. It consists to meet the needs of the present without compromising the capacity of future generations to meet their needs.

The projects related to civil work construction are vital to the society development, however, the activities of this sector cause many economic, environmental and social impacts. Therefore, in order to follow the path of sustainable development, cleaner practices should be implemented in the construction. Since, in general, this type of projects in the public sector are tendered, it is considered that the inclusion of sustainable criteria in this phase brings significant benefits in a context of sustainability. However, at the time of selecting these criteria, different types of barriers are presented, where one of the most common is the confusion and lack of objectivity in those responsible for establishing the criteria.

Therefore, in this work we intend to develop a methodology that facilitates the selection of social and environmental criteria that should be included in public works biddings, based on the identification of the sustainable needs, based on the comparison between countries of the European Union. Since having several alternatives (countries) and different evaluation criteria, there is a multi-criteria decision-making problem, so for the comparison is used the decision-making multicriteria method PROMETHEE, which allows get a country ranking based on the established preferences.

Because the main objective of this work is to study the sustainable needs of Spain from the selection of criteria in the recruitment of public works, this work finally focuses the analysis in Spain to identify its sustainable needs from its performance compared with other countries under different social and environmental criteria pre-established.

## RESUM

El Desenvolupament Sostenible va sorgir pels efectes destructius, socials i ambientals a causa del creixement econòmic al món. Consistix a satisfer les necessitats del present sense comprometre la capacitat de les futures generacions per a satisfer les seues necessitats, integrant tres factors fonamentals, que són; socials, econòmics i ambientals.

Els projectes de construcció d'obres civils són vitals per al desenvolupament d'una societat, no obstant això, les activitats d'aquest sector causen nombrosos impactes econòmics, ambientals i socials, per la qual cosa per a seguir el camí del desenvolupament sostenible s'hauria d'implementar pràctiques més netes en la construcció. Atés que en general aquests projectes del sector públic són licitats, es considera que la inclusió de criteris sostenibles en aquesta fase aporta beneficis significatius en un context de sostenibilitat. No obstant això, al moment de seleccionar aquests criteris, es presenten diferents tipus de barreres, on una de les més comunes és la confusió i falta d'objectivitat en els responsables d'establir els criteris.

Per tant, en el present treball es pretén desenvolupar una metodologia que facilite la selecció de criteris socials i ambientals vitals que haurien de ser inclosos en les licitacions d'obra pública, a partir de la identificació de les necessitats sostenibles sobre la base de la comparativa entre països de la Unió Europea. Atés que en tindre diverses alternatives (països) i diferents criteris d'avaluació, es presenta un problema de presa de decisions multicriteri, per la qual cosa per a la comparativa s'utilitza el mètode de presa de decisions multicriteri PROMETHEE, el qual permet obtindre una ordenació de països sobre la base de les preferències establides.

Pel fet que l'objectiu principal d'aquest treball és el d'estudiar les necessitats sostenibles d'Espanya a partir de la selecció de criteris en la contractació d'obra pública, aquest treball finalment enfoca l'anàlisi a Espanya per a identificar les seues necessitats sostenibles a partir del seu acompliment en comparació amb altres països baix diferents criteris socials i ambientals pre-establits.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El concepto de desarrollo sostenible surgió por los efectos destructivos, sociales y ambientales, a causa del crecimiento económico en el mundo y ha venido evolucionando a lo largo del tiempo (Hosseinijou, Mansour, & Shirazi, 2014). La Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (World Commission on Environment and Development - WCED) en el Our Common Future Report de 1987, definió al desarrollo sostenible como; “satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus necesidades” (WCED, 1987), esta definición integra tres factores fundamentales, que son; sociales, económicos y ambientales (Torres-Machí, Chamorro, Pellicer, Yepes, & Videla, 2015), por lo que a su vez son considerados como las tres dimensiones claves para evaluar la sostenibilidad (Bratt, Hallstedt, Robèrt, Broman, & Oldmark, 2013).

Los proyectos de construcción de obras civiles son vitales para el desarrollo de una sociedad, especialmente, por que participan de forma importante en el ámbito económico de los países (Penadés-Plà, García-Segura, Martí, & Yepes, 2018), cada año se destina grandes cantidades de dinero para llevar a cabo proyectos de construcción, tanto en el sector público como en el sector privado (Ruparathna, Asce, & Hewage, 2013). Entre los principales objetivos del sector de la construcción está el de satisfacer las necesidades de una determinada comunidad y por lo tanto mejorar su calidad de vida, sin embargo, las actividades del sector de la construcción causan numerosos impactos económicos, ambientales y sociales (Ruparathna & Hewage, 2015). Por lo tanto, es importante implementar prácticas más limpias en la construcción, porque de esta manera se estaría contribuyendo con un desarrollo sostenible (Hill & Bowen, 1997; Pons, Penadés-Plà, Yepes, & Martí, 2018).

Teniendo en cuenta que la construcción es uno de los sectores más activos (Penadés-Plà, Martí, García-Segura, & Yepes, 2017), es muy importante considerar la sostenibilidad en todas las etapas de un proyecto de construcción, desde la fase de diseño, como también en las fases de construcción, mantenimiento y explotación. Al desarrollar una construcción congruente con la sostenibilidad, nace el término “construcción sostenible”, que se refiere a la integración balanceada de los factores sociales, económicos y ambientales de la construcción, logrando que los costos y beneficios sean evaluados en las tres dimensiones claves de la sostenibilidad (Sourani & Sohail, 2011).

Las entidades públicas llevan a cabo proyectos de construcción, como hospitales, carreteras, centros educativos, puentes, entre otros, buscando satisfacer las necesidades de la población, estos proyectos en la mayoría de ocasiones son licitados (Casapino Espinoza, 2016), por lo que al integrar la sostenibilidad en esta fase se podría obtener beneficios muy significativos (Sourani & Sohail, 2011), dado que la licitación es un proceso clave en los proyectos de construcción, que engloba desde la identificación de las necesidades hasta el final del proyecto (Ruparathna et al., 2007).

En muchos países se ha venido implementando políticas sostenibles en la licitación de proyectos de construcción, con el objetivo de minimizar los impactos en el medioambiente y la sociedad (Testa et al., 2016a). Sin embargo, al momento de desarrollar una licitación de proyectos de construcción bajo dichas políticas, se presentan diferentes barreras, aunque éstas son diferentes en cada país, una de las principales es la confusión que existe entre los responsables de la toma de decisiones de la entidades públicas sobre qué indicadores sostenibles incluir en las licitaciones y como llevar a cabo su evaluación de manera objetiva (Sanz & Pellicer, 2017; Sourani & Sohail, 2011). Generalmente, la valoración de criterios sostenibles en la fase de licitación se realiza en base a las experiencias pasadas, conocimiento y/o intuición para tomar decisiones por parte de profesionales o expertos del sector de la

construcción, por lo tanto, la importancia asignada a los criterios tiene un nivel alto de subjetividad, lo que se debe a la falta de metodología y técnicas estructuradas integradas para la evaluación de la sostenibilidad (Ugwu, Kumaraswamy, Wong, & Ng, 2006).

De lo anteriormente señalado nace el problema a resolver en el presente trabajo, por lo tanto, para intentar que la valoración de criterios sostenibles en las licitaciones de obra pública se lleve a cabo de manera objetiva, se pretende desarrollar una metodología que facilite la selección de criterios sociales y medioambientales vitales que deberían ser incluidos en las licitaciones de obra pública, en base a las necesidades sostenibles identificadas en la comparativa de desempeños entre varios países, para luego enfocar el análisis a España.

Los Análisis de decisión multicriterio (Multiple Criteria Decision Analysis - MCDA) son métodos que ayudan a los decisores a tomar decisiones en los casos en que existe más de un criterio en cuestión (Penadés, 2017). Al utilizar los métodos MCDA se puede enfrentar a los problemas complejos, dividiéndolos en problemas más simples o más pequeños. Después de seleccionar algunos criterios y hacer juicios sobre los mismos, se presenta una visión conjunta que represente la mejor opción de solución (Pohekar & Ramachandran, 2004). Por lo que, estos métodos son una alternativa interesante para medir la sostenibilidad ya que es posible extraer las preferencias del responsable de la toma de decisiones, a través de los pesos o preferencias asignados a los criterios, y desarrollar políticas que mejoren la sostenibilidad (Phillis, Grigoroudis, & Kouikoglou, 2011).

Debido a que la selección de criterios sostenibles a incluir en una licitación significa un proceso de toma de decisiones multicriterio, porque se deben considerar varios indicadores y alternativas al mismo tiempo, en el presente trabajo se utilizará el método de toma de decisiones PROMETHEE, con el objetivo de obtener una ordenación de países y así evaluar la situación de

España en un contexto de sostenibilidad ambiental y social. Se pretende que la metodología propuesta se pueda aplicar de manera ágil teniendo en cuenta las limitaciones de información y racionalidad (Antanasijević, Pocaajt, Ristić, & Perić-Grujić, 2017).

En la última década, se han incrementado el número de publicaciones sobre decisión multicriterio en donde se proponen interesantes métodos, pero la ventaja de los métodos PROMETHEE es que la información adicional que se requiere es muy clara y precisa (Fernández, 2002).

## **1.2. ALCANCE**

El alcance del trabajo, se centra en el análisis del desempeño sostenible de los países de la Unión Europea. Para ello, se identificará indicadores sostenibles a nivel internacional y se analizarán las necesidades de España con el objeto de identificar los criterios prioritarios de sostenibilidad a incluir en las licitaciones de los contratos de obra pública.

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. OBJETIVO PRINCIPAL**

Estudiar las necesidades sostenibles de España a partir de la selección de criterios en la contratación de obra pública.

### **1.3.2. OBJETIVOS SECUNDARIOS**

- a) Definir criterios sociales y ambientales.
- b) Identificar indicadores sociales y ambientales internacionales asociados a cada uno de los criterios.
- c) Analizar las necesidades sostenibles de España a nivel internacional en base a los indicadores establecidos.
- d) Identificar las prioridades sociales y ambientales de España, así como los criterios sostenibles clave para un mejor desempeño sostenible.

## **2. SOSTENIBILIDAD EN LA CONTRATACIÓN DE OBRA PÚBLICA**

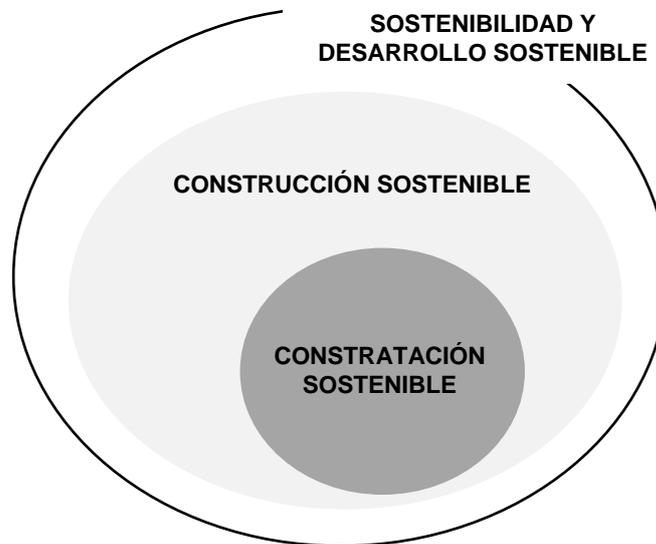
La historia de la definición y evaluación de la sostenibilidad es corta, pero el esfuerzo por capturar su esencia es bastante intenso (Phillis et al., 2011) y las diversas definiciones de sostenibilidad han venido siendo examinadas con el objetivo de encontrar un terreno común entre los ideales de "sostenibilidad" en general, y los de "construcción sostenible" en particular (Hill & Bowen, 1997).

En el documento de (Sanz & Pellicer, 2017) se exponen diferentes conceptos de sostenibilidad, del cual se extrae el propuesto por Ortiz, Castells y Sonnemann (2009) quienes definen a la sostenibilidad como “un concepto de mejora de la calidad de vida y, por lo tanto, permiten que las personas vivan en un ambiente saludable y mejoren las condiciones ambientales, económicas y sociales para las generaciones presentes y futuras”. Mientras que el concepto de desarrollo sostenible más conocido es el presentado en la introducción de este trabajo, propuesto por la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, el mismo que dice así; “el desarrollo sostenible es satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus necesidades” (WCED, 1987).

Al considerar la integración de factores económicos, ambientales y sociales en proyectos de construcción se permite llevar a cabo una gestión sostenible (UN,2005), estos tres factores son conocidos como los tres pilares de la sostenibilidad (Torres-Machi, 2015), entonces, dado que por lo general cada proyecto de construcción tiene una fase de licitación o contratación, esta se convierte en un punto clave para mejorar la gestión sostenible de un proyecto (Ruparathna et al., 2013).

Debido a que las tres dimensiones claves de la sostenibilidad son; ambiental, social y económica (Bratt et al., 2013), en la contratación sostenible se pretende concebir productos, procesos y servicios que satisfagan las

necesidades de la sociedad, al tiempo que logren un equilibrio entre los intereses económicos y ambientales (Jeswiet, 2007).



*Figura 1: Relación entre Sostenibilidad – Desarrollo Sostenible – Construcción sostenible – Contratación sostenible (Elaboración propia)*

Con la figura N°1 se trata de expresar gráficamente la relación entre los cuatro conceptos mencionados a lo largo del apartado N°2 y sus sub-apartados.

## **2.1. CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE**

Para avanzar en la comprensión de construcción sostenible se ha utilizado como punto de partida la evolución del concepto de desarrollo sostenible que se ha mencionado anteriormente y Hill & Bowen (1997) proponen que los principios de la construcción sostenible se convierten y se dividen en cuatro pilares, que son; social, económico, biofísico y técnico, con un conjunto de principios generales, orientados a procesos. Por lo tanto, al centrarnos en la sostenibilidad del sector de la construcción, se trata del término "construcción sostenible", el cual se propuso originalmente para describir la responsabilidad de la industria de la construcción en la consecución de la "sostenibilidad". En noviembre de 1994 se celebró la Primera Conferencia Internacional sobre Construcción Sostenible en Tampa, Florida, Estados Unidos de América. El convocante de la conferencia, Kibert (1994b), propuso que la construcción

sostenible significa “crear un entorno construido sano utilizando los principios de recursos eficaces y basados en la ecología ” (Hill & Bowen, 1997).

Al centrarse en un contexto de construcción, las tres dimensiones claves de la sostenibilidad, se refieren a lo siguiente; la dimensión social que trata temas relacionados principalmente con la salud y seguridad, igualdad de género, creación de oportunidades laborales, etc. Al mismo tiempo que la dimensión económica se refiere a temas como los costes, viabilidad económica y financiamiento del proyecto, entre otros. Finalmente, la dimensión ambiental se centra en el manejo de residuos, en minimizar el consumo de agua y energía, promueve la sustitución de recursos no renovables, etc. (Sourani & Sohail, 2011).

El término “construcción sostenible” generalmente se usa para describir un proceso que comienza mucho antes de la construcción de la obra, es decir que también se refiere a las etapas de planificación, diseño, y que continúa después de la construcción en la etapa de mantenimiento y/o explotación (Hill & Bowen, 1997). Debido a que la construcción es un sector muy representativo de un país debido a su volumen (Bratt et al., 2013), se ha venido considerando integrar los criterios de sostenibilidad en la construcción a través de los procesos de contratación, especialmente en el sector público (Adetunji et al., 2003; Brown et al., 2012; Sierra et al., 2018a; Walker et al., 2012). Por lo tanto, se considera que la contratación sostenible es una iniciativa prometedora para promover la construcción sostenible (Ruparathna & Hewage, 2015).

## **2.2. CONTRATACIÓN SOSTENIBLE**

La contratación es un proceso integral de cualquier proyecto de construcción que incluye todas las actividades relacionadas con la provisión de bienes, servicios y consultoría necesarios para lograr los objetivos del proyecto (Martins, 2009; Sears, 2008).

Las primeras iniciativas sobre implementar prácticas respetuosas sobre el medioambiente en las licitaciones públicas en general, aparecieron durante 1980 y 1990 (Varnäs, Balfors, & Faith-Ell, 2009), de donde nació el término “Contratación Pública Ecológica (Green Public Procurement - GPP)” y que la Comisión Europea lo define como; “un proceso mediante el cual las autoridades públicas y semipúblicas satisfacen sus necesidades de bienes, servicios y obras buscando y escogiendo resultados y soluciones que tienen un impacto reducido en el medio ambiente a lo largo de todo su ciclo de vida, como en comparación con productos/soluciones comparables. Un procedimiento de contratación será considerado como "verde" solo si ha llevado a la compra de un producto sustancialmente "más ecológico" y solo si las características ambientales de este producto van más allá de lo que se debe cumplir sobre la base de la legislación ambiental europea o nacional”.

Debido a que la contratación pública ecológica se centra únicamente en las áreas ambientales de interés, evolucionó el término “contratación pública sostenible (Sustainable Public Procurement - SPP) ”, el cual contempla potencialmente una variedad de áreas, pero se centra principalmente en aspectos sociales y ambientales, es decir, la contratación pública sostenible se refiere al acto de integrar una preocupación por los impactos sociales y ambientales más amplios dentro de las adquisiciones llevadas a cabo por los organismos del gobierno o del sector público (Brammer & Walker, 2011; Evans, Nuttall, Mouat, & Ewing, 2010).

La contratación de obras de construcción es un proceso multidimensional que combina aspectos como la estrategia contractual, las condiciones contractuales, la cultura, la sostenibilidad, la economía, el entorno político, entre otros (Rowlinson & McDermott, 1999). Por lo tanto, la contratación sería un mecanismo potencial multidimensional para mejorar la sostenibilidad de un proyecto de construcción (Ruparathna & Hewage, 2015), así como también sostiene McCrudden (2004) que la contratación pública puede ser la herramienta para hacer respetar los derechos humanos en la construcción. Entorno a esto, los gobiernos han venido desarrollando marcos políticos para

apoyar y mejorar la contratación pública sostenible, aprovechando el potencial del sector público como gran comprador de bienes, servicios y obras, impulsando la inclusión de criterios sociales y medioambientales (Palmujoki, Parikka-alhola, & Ekroos, 2010), estas políticas aclaran cómo el poder de los adjudicadores pueden contribuir a los aspectos sostenibles de una licitación, mientras obtienen la mejor relación calidad-precio para su contratación, aunque originalmente las organizaciones respectivas se centraban en reducir los impactos medioambientales desde la contratación pública, sin embargo últimamente este interés se ha extendido hasta los impactos sociales (Bratt et al., 2013).

### **2.3. EVALUACIÓN DE SOSTENIBILIDAD**

A pesar de que los objetivos tradicionales del proyecto de construcción son el tiempo, el costo y la calidad, últimamente, la investigación ha comenzado a examinar la sostenibilidad en las actividades de la cadena de suministro de forma integrada, de modo que los problemas sociales y medioambientales se consideran parte de un todo relacionado (Brammer & Walker, 2011). Por lo tanto, Palmujoki (2010) propone que las organizaciones gubernamentales además de proponer y exigir la inclusión de criterios sostenibles en la contratación de obra pública, también deben garantizar que estos sean claramente especificados y medibles. Aunque se han aplicado diferentes preferencias de contratación, su efectividad puede ser difícil de evaluar ya que no existen metodologías claras (Varnäs et al., 2009).

Varios estudios apuntan que la adopción de contratación sostenible es lenta y carece de metodologías para su evaluación (Foray , 2011; Centre for European Policy Studies, 2012), es por esto que la opinión de expertos ha venido siendo el método más frecuente para formular los criterios sostenibles a considerar en las licitaciones de obra pública, así como para desarrollar su evaluación (Bratt et al., 2013; Varnäs et al., 2009), tal amplitud y complejidad que implica dicho procedimiento, probablemente contribuyan a la ansiedad y la confusión en el nivel operacional, lo que lleva a la inercia entre los responsables de la toma de decisiones. Por lo tanto, la metodología utilizada para evaluar los criterios

sostenibles en las licitaciones juega un papel importante. (Meehan & Bryde, 2011).

Por ejemplo, en un análisis realizado por (Montalbán-Domingo, García-Segura, Sanz, & Pellicer, 2018) 451 documentos de licitación fueron analizados, en donde se incluyeron 2724 indicadores sociales, y solo el 19% de ellos tenían métricas asociadas, esto es una clara demostración que existe una gran deficiencia con respecto a metodologías establecidas para evaluar objetivamente la sostenibilidad, en dicho estudio la sostenibilidad social exactamente.

La evaluación del ciclo de vida ambiental (environmental life cycle assessment - ELCA) y evaluación del ciclo de vida social (social life cycle assessment - SLCA) son técnicas relativamente nuevas utilizadas para medir por separado aspectos ambientales y sociales de la sostenibilidad, respectivamente, estas están en relación a las normas ISO 14040 (2006a) y 14044 (2006b) (Dong & Ng, 2015) y en UNEP (2009) se presenta una discusión exhaustiva sobre estos enfoques.

La cumbre mundial sobre desarrollo sostenible en Johannesburgo fue un hito importante para la contratación sostenible y una de las recomendaciones de esta cumbre fue tomar consideraciones de desarrollo sostenible en el proceso de toma de decisiones de compras públicas (Ruparathna & Hewage, 2015; United Nations, 2002), así que, establecer mejoras en las metodologías sobre la toma de decisiones en los procesos de licitación de obra pública es un aspecto muy importante, por lo que para simplificar y ayudar dichos procesos, algunos piden un mayor uso de herramientas como los sistemas de gestión ambiental y herramientas de apoyo en la toma de decisiones (Varnäs et al., 2009). Todo esto porque la contratación pública sostenible demanda que las especificaciones de adquisición sean enfocadas en que una obra o servicio cumpla con un impacto ambiental mínimo o más bajo y / o un impacto social positivo, en relación con otra obra / servicio que cumple el mismo propósito, por lo tanto es claro que las entidades gubernamentales deben tomar decisiones

importantes teniendo en cuenta diferentes factores e impactos (Uttam & Le Lann Roos, 2015).

En relación a la utilización de herramientas de toma de decisiones en contexto de la sostenibilidad, Ghoddousi, Nasirzadeh, & Hashemi (2018) sostienen que tomar la decisión óptima considerando indicadores de sostenibilidad en proyectos de construcción es crucial para lograr una construcción sostenible. Por lo tanto, el uso de modelos de evaluación multicriterio basados en indicadores de sostenibilidad, hace que la selección de soluciones sostenibles sea más clara y precisa, por lo que este tipo de método juega un papel importante en la contratación de proyectos de construcción sostenible. Por ejemplo, Ugwu & Haupt (2007) propusieron modelos basados en la herramienta de toma de decisión multicriterio AHP para calcular el índice de sostenibilidad para evaluar propuestas de diseño de infraestructura.

Lamentablemente en la actualidad no existe una metodología estándar para medir la sostenibilidad comúnmente aceptada, además implementar políticas de sostenibilidad requiere tomar decisiones después de evaluar alternativas. En estas situaciones, el establecimiento de modelos y métricas apropiados es importante para ayudar en el proceso de decisión (Dos Santos & Brandi, 2015).

Además, es importante mencionar que aunque muchos planes de acción a nivel de la UE y nacionales fomentan los criterios de compra sostenible, y por lo tanto se incluyen más a menudo en las licitaciones, no es necesariamente el caso de que se integren en las cláusulas finales del contrato y si se da el caso de que son incluidos, al redactar los términos de los contratos con las obligaciones sostenibles, la autoridad contratante debe escribirlos de forma simple y eficiente para evitar problemas de interpretación, por lo tanto se requiere criterios de compra sostenibles más claros, detallados y proactivos en las licitaciones y cláusulas contractuales (Palmujoki et al., 2010).

Así como también es importante enfatizar que la aplicación de la sostenibilidad en la contratación pública implica el trabajo conjunto de proveedores,

diseñadores, empresas de la construcción, contratistas y agencias gubernamentales (Uttam & Le Lann Roos, 2015), ya que, para la contratación de obra pública sostenible, un factor clave es la gestión de las relaciones interorganizacionales (Meehan & Bryde, 2011). Como se revela en muchos estudios, el principal factor que promueve la responsabilidad ambiental y social en la industria de la construcción es la legislación gubernamental (Barnes & Croker, 2013; Zhu, 2011).

## **2.4. CRITERIOS AMBIENTALES**

El interés por la protección del medio ambiente ha desempeñado un papel en la política de la Comunidad Europea desde el Tratado de Roma (1957) y la conciencia sobre los impactos medioambientales producto de la industria de la construcción ha aumentado durante las últimas décadas, lo que ha influido en la investigación y en la práctica de la construcción (Palmujoki et al., 2010; Varnäs et al., 2009).

Medir la sostenibilidad ambiental es un desafío que requiere una evaluación cuidadosa de una amplia gama de criterios ambientales y al ser una tarea complicada, por lo general se lleva a cabo a través de índices existentes que buscan medir y comparar el desempeño ambiental entre las naciones (Cook, Saviolidis, Davíðsdóttir, Jóhannsdóttir, & Ólafsson, 2017).

En los primeros intentos de incluir criterios ambientales en los procesos de contratación de obra pública, se trataban sobre el control de la contaminación, luego han ido evolucionando y los más comunes se refieren al reciclaje, la reutilización, la eliminación de desechos durante la producción, el uso de energía, el uso de sustancias nocivas, emisiones de CO<sub>2</sub>, el entorno de trabajo, el control de ruido y el sistema de gestión ambiental en la organización del contratista (Meehan & Bryde, 2011; Varnäs et al., 2009). Por ejemplo, Anthonissen (2015) ha analizado un estudio piloto para usar las emisiones de

dióxido de carbono como un criterio de evaluación para un proyecto de vía pública en Flandes, Bélgica.

Ólafsson et al. (2014) bosquejaron un conjunto de indicadores ambientales para evaluar la sostenibilidad de los países, tales como; rendimiento energético, gestión de residuos, calidad del aire y contaminación, calidad y contaminación del agua, uso del suelo, agricultura y pesca, biodiversidad, bosques y degradación del suelo. A partir de esto, Cook, Saviolidis, Davíðsdóttir, Jóhannsdóttir, & Ólafsson (2017) con el afán de desarrollar un conjunto de indicadores ambientales nacionales enfocados concretamente a Islandia y Noruega, utilizan como punto de partida criterios medioambientales como; rendimiento energético, gestión de residuos, calidad del aire y contaminación, calidad del agua y contaminación, uso de la tierra, agricultura y pesca, biodiversidad, bosques y suelos.

Lehane et al. (1997) sostienen que la literatura académica muestra una serie de argumentos que favorecen el uso de criterios ambientales, referentes al monitoreo del progreso y la representación del progreso a lo largo del tiempo. Mientras que Ugwu et al. (2006) señalan como criterios comúnmente utilizados; el uso de la tierra, el agua, el aire, el ruido, la ecología y la gestión de desechos, además también indica la utilización de otros criterios basados en utilización de recursos y aspectos relacionados con la gestión de proyectos.

Debido a la falta de metodologías establecidas en la selección de criterios para evaluar la sostenibilidad, a lo largo del tiempo diferentes autores han ido desarrollando varios trabajos entorno a este tema, como por ejemplo la Agencia Europea de Medio Ambiente (European Environment Agency - EEA) desarrolló una selección de criterios en base a diferentes preguntas, tales como: ¿lo que está sucediendo con el medio ambiente y los seres humanos; (1) importa? (2) estamos mejorando? y (3) estamos en general mejor? (Cook et al., 2017; EEA, 1999).

En base a la literatura revisada, en el presente trabajo se utilizará los criterios ambientales mostrados en la siguiente tabla, para la evaluación de los países.

En general, tales criterios son útiles para monitorear el progreso, comprender la sostenibilidad, capacitar a todos los involucrados en el proceso, como consultores, clientes, contratistas, proveedores, etc. (Ugwu et al., 2006).

<b>Energía</b>	<p>Gracias a este criterio es posible evaluar el acceso universal a servicios de energía modernos, conocer la mejora de la eficiencia energética, así como también conocer la proporción de energía renovable, el uso de energía también refleja factores climáticos, geográficos y económicos, etc. La estrategia de la Unión de la Energía destaca que una mayor eficiencia energética reducirá la dependencia de las importaciones de energía, reducirá las emisiones e impulsará el crecimiento y los empleos. (Eurostat, 2018). Además, incluir este criterio es interesante también porque muchos impactos ambientales se asocian con la generación de energía a partir de combustibles fósiles (Cook et al., 2017). Las entidades gubernamentales son cada vez más conscientes de hacer un mejor uso de los recursos energéticos y se han enfocado en mejorar la eficiencia energética, ya que es una forma de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (The World Bank, 2017).</p>
<b>Emisiones</b>	<p>Bajo este criterio se puede evaluar los problemas causados por las emisiones de diferentes tipos de gases o partículas, por ejemplo, existen indicadores como; las emisiones de gases efecto invernadero. Además, es importante llevar a cabo una evaluación bajo este criterio, ya que las emisiones contribuyen a los múltiples impactos de cambio climático global y agravan la acidificación de los océanos, por otro lado, las partículas finas pueden tener efectos adversos en la salud humana y ser responsables y/o contribuir a una serie de problemas respiratorios (OECD, 2015a). La exposición a la contaminación del aire no solo afecta la salud de las personas del mundo, también con lleva enormes costos económicos y representa un</p>

	obstáculo para el desarrollo (The World Bank, 2017).
<b>Residuos</b>	Se pretende evaluar la gestión de residuos por parte de las entidades gubernamentales, por ejemplo “residuos municipales” es uno de los indicadores disponibles para describir en términos generales la generación total de residuos (Eurostat, 2018). Por otro lado, existen indicadores relacionaos al reciclaje, que permite evaluar las prácticas eficientes de gestión de residuos y analizar la reducción de la demanda futura de recursos naturales (Cook et al., 2017).
<b>Agua</b>	Con este criterio se pretende evaluar los impactos en los recursos hídricos causados por la extracción de agua (OECD, 2015b). Además, es interesante evaluar también las afecciones negativas en la calidad del agua, causadas por la descarga de aguas residuales de hogares e industrias que contienen materia orgánica y sustancias tóxicas (Cook et al., 2017; Eurostat, 2018).
<b>Flora y Fauna</b>	Waas et al. (2014) definen la equidad de inter-especies como; la supervivencia de otras especies en igualdad de condiciones con la supervivencia humana. Es interesante evaluar el progreso hacia las políticas existentes sobre biodiversidad al identificar el número de mamíferos, aves, reptiles y plantas amenazados (Cook et al., 2017).

*Tabla 1: Criterios ambientales (Elaboración propia)*

## 2.5. CRITERIOS SOCIALES

Debido a que el concepto de sostenibilidad social aún está evolucionando Valdes-Vasquez & Klotz (2013) proponen que es un momento importante para comenzar a definir los procesos de sostenibilidad social que deben integrarse durante las fases de planificación y diseño de proyectos de construcción, esto incluye los procesos de contratación, sin embargo esta situación hace que los problemas sociales sean difíciles de considerar y medirlos cuantitativamente en la contratación pública de la construcción, por lo que para superar las deficiencias existentes se deberían aplicar políticas sociales sólidas (Montalbán-Domingo et al., 2018). Además, Hill & Bowen (1997) enfatizan que la perspectiva social de la construcción sostenible es quizás el componente

más difícil de abordar en la contratación de proyectos de construcción. Sierra et al. (2018b) también sostienen que no está claramente establecida la definición de criterios sociales y por lo general se utiliza un limitado grupo de estos.

Según Pocock et al., (2016), Popovic et al. (2018) y UNEP (2009) los beneficios resultantes de la inclusión de criterios sociales considerados en las contrataciones de obra pública, se basan en mejorar la calidad de vida humana, aumentar la transparencia, implementar capacitación profesional, buscar la equidad intergeneracional, la distribución equitativa de los costes sociales de la construcción y la mejora de la capacidad de los desfavorecidos. Por ejemplo, en referencia al criterio de seguridad y salud ocupacional, Montalbán-Domingo et al. (2018) señalan que la inclusión de este criterio mejora las condiciones de trabajo, minimiza las tasas de accidentes y reduce los costes del proyecto.

En el estudio realizado por Montalbán-Domingo et al. (2018) en donde se analiza documentos de licitación de 10 países, bajo los criterios de; patrimonio cultural, empleo, salud y seguridad, locales, ética profesional, participación pública, capacitación e impacto en los usuarios, clasifican en tres niveles la inclusión de estos criterios en las licitaciones analizadas, en primer lugar está el criterio de salud y seguridad, especialmente con su indicador planes de gestión de seguridad salud en el lugar de trabajo, en el segundo nivel está el criterio referente a empleo, concretamente el indicador de empleo de grupos vulnerables, en el mismo nivel se situaron los criterios; impacto de los usuarios, ética profesional y capacitación. En el tercer nivel se posicionan los criterios; local y patrimonio cultural.

En el mismo estudio mencionado en el párrafo anterior, los países analizados se agrupan entre Anglosajones y otro grupo de países de Habla-Hispana, de donde se destaca dos grandes diferencias entre estos dos grupos de países, la primera diferencia es que en los países Anglosajones la inclusión de criterios como; local capacitación (training), impacto en los usuarios (user's impact) es notablemente mayor en relación al otro grupo de países. Por otro lado, de manera general, en los países de Habla-Hispana se da un porcentaje menor de

inclusión de cada uno de los criterios sociales analizados en el estudio. Por lo que, estos resultados demuestran la falta de métodos objetivos para evaluar la sostenibilidad social en las contrataciones públicas (Montalbán-Domingo et al., 2018).

Autores como Andrecka (2017) y Popovic et al. (2018) afirman que en relación la sostenibilidad social, son utilizados generalmente criterios relacionados con temas como; cuestiones laborales, protección de los derechos humanos y cuestiones éticas. la salud, la seguridad, los derechos humanos, el trabajo infantil, los problemas laborales, las iniciativas comunitarias y los beneficios laborales. McCrudden (2004) señala que la inclusión de criterios relacionados a la participación local, podría ser una ventaja para los contratistas y trabajadores locales, frente a los competidores extranjeros, bajo el mismo contexto Abdel-Raheem y Ramsbottom (2016) sostienen que mejorar el negocio local puede atraer inversiones adicionales.

En el documento desarrollado por Sierra, Pellicer, & Yepes (2016) cuyo objetivo fue determinar la relevancia de un conjunto de criterios que evalúen la sostenibilidad social a lo largo del ciclo de vida de un proyecto de infraestructura pública, los criterios más relevantes, por etapa del ciclo de vida, fueron; Participación de los interesados (etapas de diseño y demolición), Población local externa (etapa de diseño), Recursos humanos internos (etapas de construcción y demolición), Acción macrosocial de actividades socioambientales (etapa de construcción), y Acción macrosocial de las actividades socioeconómicas (etapa de operación).

Dentro de los criterios para evaluar la sostenibilidad social, se incluye al desarrollo industrial inclusivo y sostenible, ya que se considera como una fuente principal de ingresos, porque permite aumentos rápidos pero sostenidos, en la calidad de vida de las sociedad, dado que la investigación, el desarrollo y la innovación (I + D + I) impulsan el crecimiento económico, la creación de empleo, la productividad laboral y la eficiencia de los recursos, por lo tanto son cruciales para una economía basada en el conocimiento y garantiza la competitividad entre empresas (Eurostat, 2017).

Para alcanzar el desarrollo sostenible, la igualdad de género es considerado como un factor crucial, esta igualdad busca conseguir una participación equilibrada de mujeres y hombres en la educación formal, en el mercado laboral y en posiciones de liderazgo. Reducir la brecha de género en el empleo, especialmente, es un aspecto económico y social urgente, ya que los beneficios de esta igualdad tienen impacto en los individuos y en la sociedad en conjunto, por lo tanto, para medir el desempeño sostenible social de los países, es importante incluir indicadores de igualdad de género (European Commission's Expert Group on Gender and Employment Issues, 2009).

La corrupción resulta ser una amenaza para el Desarrollo Sostenible, ya que se pierde mucho dinero de los fondos destinados para invertir en desarrollo a causa de la corrupción (PNUD, 2016), según la Comisión Europea (2018), la contratación pública, en sectores como; la construcción, la energía, el transporte, la defensa y la asistencia sanitaria, es muy vulnerable a la corrupción, dado el nivel de los flujos financieros que se generan y la estrecha interacción entre los sectores público y privado. Las políticas encaminadas a reducir la corrupción benefician a las empresas dinámicas y competitivas, al contribuyente y a la sociedad en general, al tiempo que limitan las posibilidades de abuso por parte de los intereses creados.

Como conclusión de la literatura revisada sobre los criterios sociales, seis categorías son identificadas para la evaluación del desempeño social entre países que se llevará a cabo en este trabajo y se muestran en la siguiente tabla:

<b>Igualdad de género</b>	Importante para evaluar la forma en que desarrollamos la equidad intergeneracional (Waas et al., 2014). El propósito de incluir este criterio en la licitación públicas es el de mejorar la desigualdad de oportunidades con respecto al género (Popovic et al., 2018).
<b>Empleo</b>	Loosemore (2015) lo considera un criterio clave para medir la sostenibilidad social. Por ejemplo, la

	<p>subcontratación y el aumento del empleo temporal pueden representar problemas sociales (Montalbán-Domingo et al., 2018). El empleo decente son de importancia clave para el desarrollo y la prosperidad de los países, así como para el bienestar y la realización personal de la población. El crecimiento económico sostenible también significa generar oportunidades de empleo para todos y mejorar las condiciones de trabajo para aquellos ya en empleo (Eurostat,2018). El Banco Mundial (2017) describe que el desempleo es una medida clave para controlar si un país está en camino de lograr el Objetivo de Desarrollo Sostenible, de promover el crecimiento económico sostenible, inclusivo, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos.</p>
<p><b>Seguridad y salud</b></p>	<p>Una característica del sector de la construcción, es un entorno que cambia a menudo con duras condiciones de trabajo, por lo que una de las formas para evaluar el desempeño de las empleadores y colaboradores en este ámbito, puede ser en base a las cifras de accidentes (Popovic et al., 2018; Rahdari and Anvary Rostamy, 2015).</p>
<p><b>Desarrollo tecnológico</b></p>	<p>Se pretende evaluar el nivel de innovación existente en los países, se considera que la formación de los trabajadores juega un papel importante en este ámbito, ya que es la base para aumentar las habilidades, el conocimiento y la capacidad de los trabajadores para mejorar su crecimiento y desarrollo (FHWA-INVEST, 2012; ISI, 2015). La inversión en investigación y desarrollo (I + D) es un indicador clave de los esfuerzos del gobierno y del sector privado para obtener una ventaja competitiva en ciencia y tecnología (The World Bank, 2017).</p>

<b>Igualdad social</b>	Es importante incluir criterios que permitan analizar los esfuerzos por tener salarios justos y distribuciones justas de ingresos (Popovic et al., 2018; UNEP, 2009).
<b>Corrupción</b>	Se pretende evaluar el desempeño de los países bajo este criterio ya que la corrupción ha sido uno de los principales problemas en el sector de la construcción (Akenroye, 2013; Kenny, 2007).

*Tabla 2: Criterios sociales (Elaboración propia)*

### **3. TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIO**

En el entorno profesional se presentan muy a menudo situaciones en las cuales se debe decidir, en donde por lo general se trata de encontrar una alternativa “óptima”, sin embargo esto solo puede darse cuando se tiene un solo criterio de evaluación, por lo tanto la toma de decisiones se torna complicada porque lo más común en la realidad es tener varias alternativas frente a diferentes criterios que por lo general se miden en unidades diferentes (Hajkowicz & Collins, 2007), entonces es aquí en donde se recurre a los métodos de Toma de Decisiones Multicriterio (Multi-Criteria Decision Making - MCDM), también conocidos como Análisis de decisión multicriterio (Multi-criteria Decision Analysis - MCDA), que son un conjunto de técnicas usadas en problemas complejos de priorización (Løken, 2007). En otras palabras, los métodos de evaluación multicriterio posibilitan la toma de decisiones entre diferentes alternativas, considerando la multidimensionalidad del mundo real (Sierra, Yepes, & Pellicer, 2018). Tienen su inicio en los años 1960s y 1970s, debido al rápido crecimiento en las investigaciones después de la segunda guerra mundial, actualmente, estos métodos son una metodología establecida utilizada en diferentes áreas como por ejemplo; inversión empresarial, negocios, ingeniería, ciencia, valoración y gestión de los recursos medioambientales y otras áreas de las actividades de la sociedad, además existen muchos libros, aplicaciones, revistas científicas, incluso se han desarrolla paquetes de software en torno a estos métodos, con el fin de ayudar

al decisor a encontrar la solución óptima para cada tipo de problema (Mousseau, Roy, & Paris-dauphine, 2005).

Los métodos MCDA ordenan alternativas calificadas por la intensidad de las preferencias de los decisores y permiten encontrar soluciones de compromiso a partir de las preferencias que los propios decisores definen. El proceso se centra en el decisor y su capacidad lógica de análisis. La información subjetiva del decisor es capturada en las preferencias que le permiten orientar la decisión (Ishizaka & Nemery, 2013).

### 3.1. PROCESO DE TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIO

Antes de explicar el proceso de toma de decisiones multicriterio, es importante mencionar que se conoce como decisor (decision-marker) a la persona o grupo de personas responsables de tomar la decisión, así como también es el encargado de plantear los criterios de evaluación y escoger el método para llevar a cabo el proceso, además es quien tiene el poder de aceptar o rechazar la solución resultante (Penadés, 2017). También es importante mencionar que al hablar de alternativas se refiere a las posibles soluciones a adoptar por el decisor, éstas podrán ser de carácter cuantitativo o cualitativo, y el número de alternativas podrá ser finito o infinito.

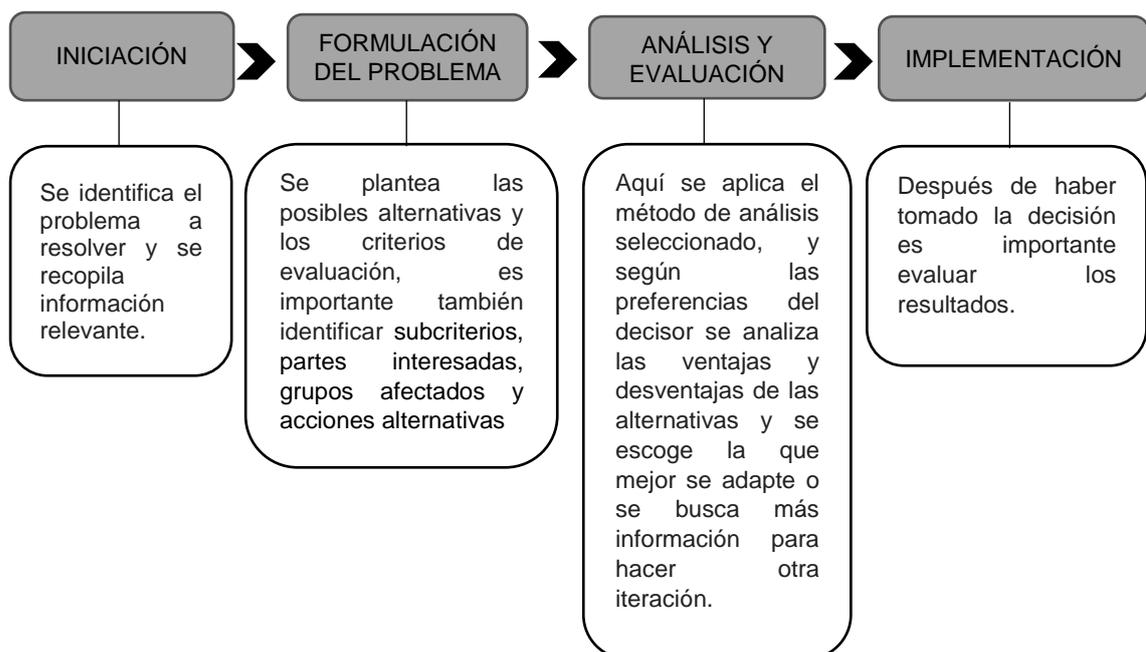


Figura 2: Proceso de toma de decisiones multicriterio (Elaboración propia)

En la figura 2, se explica el proceso de toma de decisiones, que se resume en el siguiente diagrama a partir de lo expuesto por Opricovic & Tzeng (2004) y Saaty (2008).

### **3.2. CLASIFICACIÓN DE MÉTODOS DE TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIO**

Según Hwang y Yoon (1981) los procesos de toma de decisiones se clasifican en; toma de decisiones multi-atributo (Multiple Attribute Decision-Making - MADM), y toma de decisiones multi-objetivo (Multiple Objective Decision-Making - MODM), los MADM se utilizan cuando es el caso de problemas discretos, en los que tanto el número de alternativas y criterios es finito (Torres-Machi, 2015), en este caso el decisor actúa al inicio del proceso, en la valoración de los criterios basándose en criterios subjetivos, por otro lado, los MODM son útiles cuando se trata de resolver problemas que tienen un conjunto continuo de soluciones, en base a una serie de restricciones, de donde se obtiene un conjunto de soluciones, por lo que el decisor actúa al final del proceso seleccionando una de estas soluciones (Penadés, 2017).

Waas et al. (2014) señala que la sostenibilidad se la puede manejar como un proceso de toma de decisiones multi-criterio estableciendo previamente criterios y así obtener un indicador de sostenibilidad, además Penadés (2017) también menciona que estos son los métodos con más posibilidad para utilizarse en la evaluación de sostenibilidad en proyectos de construcción reales, en comparación a los métodos multi-objetivo.

Considerando lo dicho en el párrafo anterior y teniendo en cuenta que en el presente trabajo se pretende evaluar el desempeño de los países de la Unión Europea en base a criterios pre-establecidos, a continuación, se explicará la clasificación de los métodos de toma de decisiones multi-atributo, a la vez que se mencionará los métodos más representativos de estas “subclasificaciones”. Finalmente, se expandirá la información sobre la subclasificación “Métodos de Superación”, abordando más específicamente los métodos PROMETHEE y ELECTRE.

### 3.2.1. METODOS DE TOMA DE DECISIONES MULTI-ATRIBUTO (Multiple Attribute Decision-Making, MADM)

Según lo expuesto por Penadés (2017), Hajkowicz & Collins (2007) y De Brito & Evers (2015) clasifican a los MADM de la siguiente manera:

- a. Métodos de puntuación directa
- b. Métodos basados en la distancia
- c. Métodos de comparación por pares
- d. Métodos basados en funciones de utilidad o valor
- e. Métodos de superación

**a. Métodos de puntuación directa.-** Consisten en asignar pesos a los criterios previamente normalizados para luego realizar la sumatoria, estos son los métodos más sencillos, ya que permiten evaluar las alternativas utilizando operaciones aritméticas básicas. El primer método desarrollado en esta categoría es el método SAW, el cual se puede utilizar cuando se tiene criterios que solo se necesita maximizar, mientras que existe otro método llamado COPRAS, el mismo que es útil cuando se necesita también minimizar criterios (Podvezko, 2011).

**b. Métodos basados en la distancia.-** Estos métodos consideran una función de agregación que representa la distancia entre alternativas y un punto específico, de donde se obtiene una solución factible, que es la más cercana a la ideal. Aquí se tiene los métodos VIKOR y TOPSIS, el primero determina una solución teniendo en cuenta solo la distancia a la solución ideal, mientras que TOPSIS determina una solución teniendo en cuenta la distancia más corta a la solución ideal y la mayor distancia de la solución ideal negativa (Opricovic & Tzeng, 2004).

**c. Métodos de comparación por pares.-** Una de las técnicas de comparación por pares más ampliamente aplicadas es el Proceso Analítico de Jerarquía AHP (Saaty, 1987), en donde los elementos a un nivel de jerarquía dado se comparan por pares para evaluar su preferencia relativa con respecto a un tercero

jerárquicamente superior, en ronda de comparaciones por pares entre los criterios, AHP mide la inconsistencia global mediante la Proporción de Consistencia, que se expresa como el cociente entre el Índice de Consistencia y el Índice Aleatorio (Saaty, 1994). A partir de AHP evolucionó el método Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique (MACBETH) y Analytic network process (ANP), este último desarrollado también por Saaty para solventar algunos inconvenientes del AHP con respecto a la independencia de los criterios (Penadés, 2017; Pohekar & Ramachandran, 2004).

- d. Métodos basados en funciones de valor.-** Los principales referentes de esta categoría son el Multi attribute utility theory - MAUT y multiattribute value Theory - MAVT, consisten en asignar una puntuación numérica a cada alternativa para producir un orden de preferencia, para luego a través de funciones, convertir la valoración de las alternativas en grados de satisfacción, en referencia a un criterio, consistente con los juicios de valor determinados por el o los decisores. La diferencia entre el MAUT Y MAVT, es que el primero identifica un grado de satisfacción en condiciones de incerteza y el segundo en condiciones de certeza. De los anteriormente mencionados evolucionó el método MIVES, el cual proporciona las ecuaciones que definen las diferentes funciones de satisfacción (Løken, 2007; Penadés, 2017).
- e. Métodos de superación (outranking methods).-** Estos métodos se basan en comparaciones binarias de alternativas, para verificar cuál de ellas es preferible con respecto a cada criterio. Al agregar la información de preferencia para todos los criterios, el método determina hasta qué punto se puede decir que una de las alternativas supera a la otra, y así se obtiene una clasificación de las alternativas en función de la relación de preferencia establecida anteriormente. Este tipo de métodos permiten trabajar cuando se tiene información incompleta (Antanasijević et al., 2017; Hajkovicz & Collins, 2007). Dentro de este grupo se encuentra el método PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enriched Evaluation) y ELECTRE (Elimination and Choice Expressing

Reality). PROMETHEE ofrece tanto un ranking global de las alternativas, como una comparación entre ellas.

A continuación, se expandirá la información sobre los métodos de superación, dado que en el presente trabajo se pretende realizar una comparación entre países, para lo que se necesita obtener un ranking a partir de criterios preestablecidos y con datos existentes de fuentes fiables. Debido a que el número de alternativas será extenso, porque se pretende realizar para todos los países de la Unión Europea, se descarta los métodos de comparación por pares, los mismo que pueden presentar inconsistencias cuando se trabaja con un gran número de alternativas (Torres-Machí et al., 2015). Los métodos basados en funciones de valor, no son necesarios en este caso por que difieren de los objetivos de este trabajo, así como los métodos basados en distancia y puntuación directa, cuyos resultados no se relacionan con el análisis propuesto en este caso. Por lo que se considera que los métodos de superación son los más adecuados para realizar el análisis en cuestión, sin restar importancia a los demás métodos.

### **3.2.2. MÉTODOS DE SUPERACIÓN**

Penadés (2017) presenta una revisión de bibliografía sobre la aplicación de los métodos de toma de decisión multi-atributo, si bien este autor se refiere a la evaluación de la sostenibilidad en puentes, sirve para tener una idea de qué método es más utilizado en contextos de sostenibilidad. De lo cual ha resultado que PROMETHEE es el segundo método más común. Behzadian, Kazemzadeh, Albadvi, & Aghdasi (2010) también presentan una revisión de la literatura, pero en este caso es exclusivamente de PROMETHEE, en donde se menciona que bajo el contexto de gestión medioambiental, dicho método es el más utilizado, mientras que por otro lado, con respecto a un contexto social, muy pocos documentos científicos en donde se utilice PROMETHEE han sido encontrados.

Por otro lado, Gilliams (2005) reveló que PROMETHEE es ligeramente preferible a ELECTRE y AHP, basado en facilidad de uso, simplicidad de la

estrategia modelo, variación de la solución e implementación. Además, Al-Shemmeri (1997) indica que los métodos PROMETHEE parecen ser más fáciles de entender por el que toma las decisiones y más simples de ser manejados en el análisis.

### **3.2.2.1. ELECTRE**

Presentado por primera vez por Benayoun, Roy y Sussman (1966) pero estaba incompleto, hasta que en el año 1968 Roy (1968) describió el método en detalle. Consiste básicamente en la comparación de alternativas por pares en base a criterio establecidos previamente y utiliza diversas funciones matemáticas para indicar el grado de dominancia de una alternativa respecto de otra, dicho en otras palabras reduce el número de soluciones aceptables, a través de dos subconjuntos, uno que engloba las soluciones muy favorables y otro que agrupa las menos favorables para el decisor a partir de una matriz llamada “matriz de decisión”, todo esto teniendo en cuenta dos aspectos importantes; la concordancia que se refiere a los pares de alternativas que superan a otro y la discordancia que se refiere a lo contrario (un par de alternativas que es superado por otro) (Roy, 1968).

En resumen, la metodología contempla la construcción de una relación de superación, la generación de índices de concordancia y discordancia y un análisis de los resultados obtenidos de la evaluación completa de todas las relaciones de superación obtenidas. El proceso finaliza con la selección de una alternativa o grupo de alternativas preferidas, consideradas como “la mejor solución de compromiso” (Corrente, Greco, & Słowiński, 2013).

El método ELECTRE trabaja con distintos tipos de criterios, los cuales se diferencian por la complejidad de su formulación y de la naturaleza del problema a resolver. Entre estos están; criterio verdadero, semi.criterio, criterio de intervalo y pseudo criterio. Los criterios verdaderos son los más básicos y suponen el método más sencillo de formular un criterio, mientras que en las últimas versiones de ELECTRE se utiliza pseudos criterios con el objetivo de mejorar la estructura de preorden. Actualmente hay seis versiones de este

método, ELECTRE I, II, III, IV, Tri e Is. Todos consisten básicamente en una evaluación por pares entre alternativas en base a criterios, entonces la principal diferencia entre estos métodos se basa en el tipo de criterio involucrado. En Govindan & Jepsen (2016) se puede encontrar una revisión de la literatura de los diferentes métodos ELECTRE y su aplicación, de manera más detallada.

- **Procedimiento.-** A continuación se describe el procedimiento del método ELECTRE I, que es el que considera los “criterios verdaderos” (Penadés, 2017):

Primero el decisor debe analizar qué criterios se quiere maximizar y que criterios son para minimizar, así se obtiene el valor óptimo, que va a depender de lo que el decisor establezca. Posteriormente se normaliza las puntuaciones, por lo que se obtiene los valores normalizados entre 0 y 1:  $r_{ik}'$  (si se requiere maximizar) y  $r_{ij}'$  (si se requiere minimizar). Adicionalmente se debe asignar los pesos respectivos a cada criterio.

Después se calcula los índices de concordancia, para esto se debe tener en cuenta que concordancia, es en donde una mayoría suficientemente fuerte de criterios mantiene la proposición de superación y otro de discordancia donde la minoría restante puede oponerse a la validación de la proposición (Roy, 1968).

Siendo  $C_{jk}$  el índice de concordancia, se tiene:

$$C_{jk} = \sum_{i=1}^n W_i \text{ con } j, k = 1 \dots n \text{ y } \neq K$$

Donde  $w_i$  son los pesos del criterio  $i$ .

Entonces, el índice de concordancia ( $C_{jk}$ ) de una alternativa  $A_j$  sobre otra alternativa  $A_k$  es la suma de los pesos de aquellos criterios en los que la alternativa  $A_j$  es mejor que la alternativa  $A_k$ .

Luego el índice de discordancia ( $D_{jk}$ ) se calcula así:

$$D_{jk} = \max_{i=1 \dots m} [r'_{jk} - r'_{ij}] \text{ con } j, k = 1 \dots n \text{ y } j \neq k$$

El índice de discordancia será cero si la alternativa  $A_j$  es mayor que la alternativa  $A_k$  en todos los criterios y en el resto se calcula como la formula antes indicada.

A partir de los índices de concordancia y discordancia se construye las matrices de concordancia y discordancia respectivamente, así como también el umbral de concordancia ( $C^*$ ), el cual es el valor próximo mayor o igual al promedio en los números de la matriz de concordancia y el valor del umbral de discordancia ( $D^*$ ) es el valor próximo menor o igual al promedio de la matriz de discordancia. Finalmente se realiza la comparación por pares y se obtiene la posición global de las alternativas, en donde una alternativa  $A_j$  supera a  $A_k$  si:

$$C_{jk} > C^* \text{ y } D_{jk} < D^*$$

### 3.2.2.2. PROMETHEE

Este método utiliza el principio de sobre calificación para ordenar las alternativas, combinado con la facilidad de uso y la disminución de la complejidad. Realiza una comparación de alternativas por pares para clasificarlos con respecto a una serie de criterios que el decisor debe indicar si se necesita maximizar o minimizar, así como también debe asignar pesos según la importancia relativa de los criterios, además el decisor debe escoger una función que defina la valoración de cada criterio (Brans, Vincke, & Mareschal, 1986; Penadés, 2017).

Debido a que un problema multicriterio, está compuesto por un conjunto finito de alternativas y por otro lado, un conjunto de criterios de evaluación en donde es difícil conseguir solo una alternativa óptima, es decir que sea mejor a las demás en todos los criterios, entonces se obtiene como resultado la llamada solución de compromiso. Para esto el método implica las relaciones de dominancia; preferencia (P), indiferencia (I) e incomparabilidad (R). Si una

alternativa es mejor que la otra en todos los criterios, se llama preferencia, mientras que si en un criterio se considera mejor y en otro peor, entonces se las considera incomparables, el propósito es reducir las incomparabilidades, por lo que el decisor debe analizar cuando se den estos casos, sin embargo esto no significa que se debe eliminar las incomparabilidades incluso cuando no sea realista, si se da el caso de que todas las incomparabilidades son automáticamente retiradas, la información obtenida puede ser cuestionable (Brans & Vincke., 1985).

Seis versiones de PROMETHEE han sido desarrolladas, PROMETHEE I (ranking parcial) y PROMETHEE II (ranking complete) que fueron presentados por primera vez por J.P. Brans en 1982 en una conferencia organizada por Nadeau y Landry en la Universidad Laval, Quebec, Canadá (L'Ingénierie de la Décision. Elaboration d'instruments d'Aide), luego fue desarrollado por J.P. Brans y B. Mareschal PROMETHEE III (ranking basado en intervalos), PROMETHHEE IV (para una clasificación completa o parcial de las alternativas cuando el conjunto de soluciones viables es continuo), PROMETHEE V (para problemas con restricciones de segmentación) (Brans & Mareschal,1992) y PROMETHHE VI (para la representación del cerebro humano) (Brans & Mareschal, 1995; Behzadian, Kazemzadeh, Albadvi, & Aghdasi, 2010).

- **Procedimiento.-** A continuación, se explicará el proceso del método y parámetros a considerar, básicamente de PROMETHE I y PROMETHEE II.

#### **a) Tabla de decisión**

Se plantea una tabla de decisión o preferencia que consiste en ubicar en las filas las alternativas y en las columnas los criterios, para colocar dentro de esta tabla los valores correspondientes a cada criterio según la alternativa, aquí también se debe indicar los pesos respectivos a cada criterio y si son criterios a maximizar o minimizar (Penadés, 2017). No es necesario normalizar los valores de las posibles alternativas o transformar a las mismas unidades o dimensiones (Prejmerean, 2012). PROMETHEE supone que el responsable de la toma de decisiones puede asignar los criterios de forma apropiada, al menos cuando el número de criterios no es demasiado grande (Macharis, 2004).

## **b) Función de preferencia**

Se debe seleccionar una función de preferencia para cada criterio, Brans et al. (1986) presentan seis tipos de funciones que se presentan en la figura 3, la función de preferencia traduce la diferencia entre las evaluaciones obtenidas por dos alternativas en un grado de preferencia que va de cero a uno (Brans & Vincke, 1985), en donde también se debe indicar los parámetros  $q$  y  $p$ , que definen el área de indiferencia y el área de preferencia estricta, respectivamente y su significado es el siguiente (Behzadian et al., 2010):

- $q$ = umbral de indiferencia, valor máximo de la diferencia entre dos alternativas para los que ésta se considera insignificante.
- $p$ = umbral de preferencia estricta, valor mínimo de la diferencia entre dos alternativas para los que se considera preferencia absoluta.
- $s$ = el valor de un valor intermedio entre  $p$  y  $q$ , punto de inflexión en modelos más avanzados.

La selección de la función de preferencia la hace el decisor en base al tipo de criterio, en Brans et al. (1986) se puede encontrar la información a detalle sobre cada tipo de criterio.

A partir de la función de preferencia se representa la intensidad de preferencia de una alternativa sobre otra para cada criterio, esta intensidad de preferencia será un valor entre 0 y 1, entre más se acerque a 1 la preferencia aumenta y si se acerca más a cero, sucede lo contrario, por lo tanto, se considera lo siguiente (Brans et al., 1986):

- $P(a,b)= 0$  ; significa indiferencia o no preferencia de  $a$  sobre  $b$ .
- $P(a,b) \approx 0$  ; significa preferencia débil de  $a$  sobre  $b$ .
- $P(a,b) \approx 1$  : significa preferencia fuerte de  $a$  sobre  $b$ .
- $P(a,b) = 1$  ; significa preferencia absoluta de  $a$  sobre  $b$ .

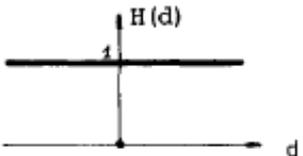
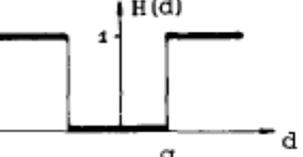
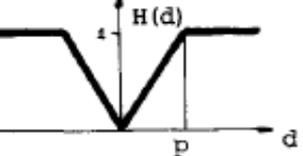
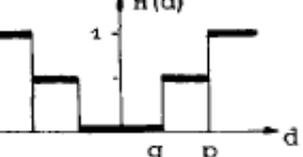
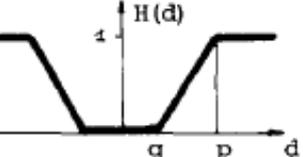
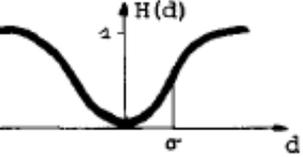
Types of generalized criteria		Parameters
I. Usual criterion		-
II. Quasi-criterion		q
III. Criterion with linear preference		p
IV. Level criterion		q, p
V. Criterion with linear preference and indifference area		q, p
VI. Gaussian criterion		$\sigma$

Figura 3: Funciones de preferencia PROMETHEE (Brans et al., 1986)

En la modelación de preferencias el decisor o hace una distinción en estricta preferencia para las desviaciones pequeñas o grandes entre  $f(a)$  y  $f(b)$ , en base a esto Roy (1977a) ha propuesto las nociones de cuasi-criterio y pseudocriterio, el primero se ha definido para considerar un área más grande de indiferencia y el pseudocriterio para tener en cuenta un área de transición entre la indiferencia y la preferencia, estas nociones han sido utilizadas con éxito en los métodos ELECTRE, sin embargo, esto solicita algunos parámetros, como los umbrales de concordancia, discordancia y

discriminación, que los profesionales no entienden fácilmente (Brans & Vincke, 1985).

### c) Índice de preferencia multicriterio ( $\pi$ )

Se define como el promedio ponderado de la función de preferencia ( $P_i$ ) y mide el grado de preferencia de una alternativa sobre la otra en todos los criterios:

$$\pi(a, b) = \sum_{i=1}^k w_i P_i(a, b)$$

$$\pi(b, a) = \sum_{i=1}^k w_i P_i(b, a)$$

$\pi(a,b)$  varía entre 0 y 1, en donde:

- Si  $\pi(a,b) \approx 0$ , demuestra a preferencia débil de  $a$  sobre  $b$  en todos los criterios.
- Si  $\pi(a,b) \approx 1$ , demuestra una fuerte preferencia de  $a$  sobre  $b$  en todos los criterios.

### d) Flujo de superación u ordenación ( $\emptyset$ )

Considerando que, en este tipo de problemas, una alternativa  $a$  se enfrenta a las  $(n-1)$  alternativas restantes, este flujo permite clasificar las alternativas y se lo calcula así:

**Flujo de ordenación positivo;**  $\emptyset^+(A_j) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^m \pi(A_j, A_k)$ , este expresa el carácter dominante de una alternativa respecto al resto, es decir muestra su carácter dominante y entre más alto, mejor será la alternativa.

**Flujo de ordenación negativo;**  $\emptyset^-(A_j) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^m \pi(A_k, A_j)$ , expresa el grado de debilidad de una alternativa respecto a las otras, es decir muestra su debilidad o como es dominada por las demás, por lo tanto entre menor sea su valor, mejor resulta la alternativa.

En este punto es en donde se diferencia PROMETHEE I y PROMETHEE II, ya que el primero permite una clasificación parcial, mientras que el segundo una clasificación global.

**e) Clasificación parcial (PROMETHEE I).**- Este pre-orden parcial se propone al responsable de la toma de decisiones para que lo analice según su priorización, ya que el método por si solo no decide que alternativa es mejor. Este ranking parcial se obtiene de la intersección de los flujos de ordenación positivos y negativos de cada alternativa, por lo que el decisor deber comparar los flujos de ordenación de cada par de alternativas y por lo tanto se tiene cualquiera de los siguientes pre-ordenes:

$$\begin{array}{l}
 aP^I b \Leftrightarrow \begin{cases} \Phi^+(a) > \Phi^+(b) \text{ y } \Phi^-(a) < \Phi^-(b), \text{ o} \\ \Phi^+(a) = \Phi^+(b) \text{ y } \Phi^-(a) < \Phi^-(b), \text{ o} \\ \Phi^+(a) > \Phi^+(b) \text{ y } \Phi^-(a) = \Phi^-(b) \end{cases} \\
 aI^I b \Leftrightarrow \Phi^+(a) = \Phi^+(b) \text{ y } \Phi^-(a) = \Phi^-(b) \\
 aR^I b \Leftrightarrow \begin{cases} \Phi^+(a) > \Phi^+(b) \text{ y } \Phi^-(a) > \Phi^-(b), \text{ o} \\ \Phi^+(a) < \Phi^+(b) \text{ y } \Phi^-(a) > \Phi^-(b) \end{cases}
 \end{array}$$

Figura 4: Pre-ordenes según PROMETHEE I (Penadés, 2017)

En donde: P= preferencia, I= Indiferencia, R= Incomparabilidad.

Cuando  $aP^I b$ , se interpretaría que  $a$  tiene asociada una mayor preferencia con una menor debilidad de  $a$  respecto a  $b$ . Mientras que, si los flujos de ordenación positivos y negativos son iguales, se trata de una indiferencia. Cuando  $aR^I b$ , quiere decir que una alternativa tiene mayor preferencia, pero asociada a una menor debilidad de la otra alternativa, por lo tanto se trata de una incomparabilidad, esto quiere decir que  $a$  es buena en base a determinados criterios cuando  $b$  es débil, y al mismo tiempo,  $b$  es buena en otros criterios en donde  $a$  es débil.

**f) Clasificación o ranking total (PROMETHEE II).**- En este caso se obtiene un flujo neto, en donde todas las alternativas son comparables, es decir ya no se tiene en cuenta las incomparabilidades, y se calcula de la siguiente manera:

$$\emptyset(A_j) = \emptyset^+(A_j) - \emptyset^-(A_j)$$

Los valores del ranking total van a estar en el rango entre -1 a 1, se los ordena de mayor a menor, por lo que los valores cercanos a 1 ocuparan los primeros

lugares del ranking, es decir la alternativa con mejor desempeño se ubicará en la posición N° 1.

$$\left\{ \begin{array}{ll} aP_{II}b & (a \text{ outranks } b) \quad \text{iff } \phi(a) > \phi(b), \\ aI_{II}b & (a \text{ is indifferent} \\ & \text{to } b) \quad \text{iff } \phi(a) = \phi(b). \end{array} \right.$$

Figura 5: Pre – orden según PROMETHEE II (Brans et al., 1986)

De la figura anterior, se interpreta como; Existe preferencia de **a** sobre **b**, cuando el flujo de ordenación de **a** es mayor al de **b**, por lo tanto, la alternativa **a** se ubicará en la primera posición. Mientras que **a** es indiferente con respecto a **b**, cuando sus flujos de ordenación son iguales.

### 3.2.3. RESUMEN DE CLASIFICACIÓN Y CONCLUSIONES

#### 3.2.3.1. RESUMEN

En la siguiente imagen se puede ver de manera resumida, la clasificación de los métodos de toma de decisiones descrita anteriormente:

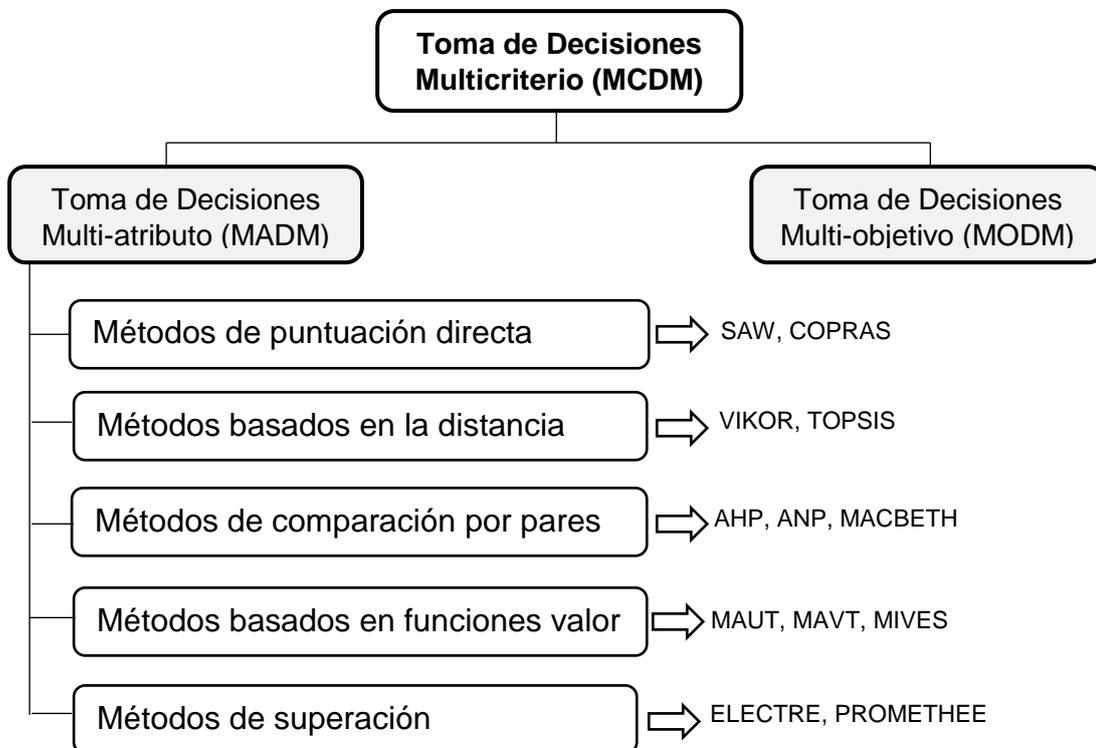


Figura 6: Clasificación de Métodos de Toma de Decisiones Multicriterio (Elaboración propia)

### 3.2.3.2. CONCLUSIONES

De la literatura revisada, se ha podido recopilar algunos comentarios sobre las ventajas y limitaciones de algunos métodos, a continuación, se muestra en la siguiente tabla:

TIPO DE MÉTODO	VENTAJAS	LIMITACIONES
Métodos de puntuación directa (SAW, COPRAS)	Son muy simples y fácil de entender, pueden ser aplicados tanto a criterios que se deseen maximizar o minimizar, ideales para trabajar con variables cuantitativas (Penadés, 2017).	COPRAS puede ser inestable debido a la variación de datos, y los resultados obtenidos pueden diferir de los datos (Podvezko, 2011).
Métodos basados en la distancia (VIKOR, TOPSIS)	Muy útiles cuando se conoce la solución ideal óptima y la solución ideal no óptima, por lo que se pueden utilizar para la selección de una frontera de Pareto (Penadés, 2017). VIKOR es muy útil particularmente en situaciones en la que el responsable de la toma de decisiones no puede o no sabe expresar su preferencia al comienzo del proceso, y cuando se presentan criterios en conflicto y no conmensurables (Opricovic & Tzeng, 2004).	El método TOPSIS introduce dos Puntos de "referencia", pero no considera la importancia relativa de las distancias desde estos puntos.
Métodos de comparación por pares (AHP, ANP, MACBETH)	Ramanathan & Ganesh (1995) afirman que AHP es simple, flexible, atractivo e intuitivo. Indicados para la valoración de criterios subjetivos y muy utilizado debido a su sencillez y popularidad (Penadés, 2017).	Según Saaty & Ozfmit (2005) muchos problemas de toma de decisión no pueden ser estructurados de forma jerárquica, ya que hay una interacción de dependencia entre elementos de diferentes niveles. Cuando el número de alternativas es grande, la comparación por pares se torna difícil con el AHP (Torres-Machí et al., 2015).
Métodos basados en funciones de valor (MAUT, MAVT, MIVES)	MAUT es uno de los métodos más riguroso para para la toma de decisiones con riesgos e incertidumbre (Løken, 2007).	Establecer las funciones de utilidad es una tarea difícil y engorrosa, porque la mayoría de modalidades no tienen una buena percepción de sus propias preferencias de riesgo (Siskos & Hubert, 1983).
Métodos de superación (ELECTRE, PROMETHEE)	Proporcionan una clara visión en la estructura del problema, modelan las preferencias del decisor de una manera realista e identifican dudas en la intensidad de las preferencias de los decisores, estos métodos son capaces de tratar problemas bajo incertidumbre (Behzadian, Kazemzadeh, Albadvi, & Aghdasi, 2010). Macharis et al. (2004) hicieron una comparación entre	Según Georgopoulou, Sarafidis, & Diakoulaki (1998) una diferencia principal entre PROMETHEE y ELECTRE es el procedimiento que se utiliza. PROMETHEE II dispone de un procedimiento de cálculo transparente, fácil para entender por cada decisor, mientras que los decisores a menudo encuentran los cálculos de ELECTRE III demasiados

	<p>PROMETHEE y AHP, que mostró que PROMETHEE tiene algunas fortalezas de varios enfoques. Válidos para trabajar con datos faltantes e información no tan clara (Penadés, 2017).</p>	<p>complejos, además requieren muchos parámetros, cuyos valores deben ser fijados por el que toma las decisiones (Brans &amp; Vincke, 1985).</p>
--	---	--

*Tabla 3: Ventajas y Limitaciones de los MCDA (Elaboración propia)*

Teniendo en cuenta que en el presente trabajo se pretende llevar a cabo un análisis que permita a los responsables de definir criterios para la evaluación de licitaciones de obra pública, identificar los criterios sostenibles claves de España a incluir en dichas licitaciones. La identificación de criterios sostenibles claves, será a partir de una comparación previa entre países de la Unión Europea, estableciendo previamente criterios medioambientales y sociales, por lo que para hacer dicha comparación entre países se utilizará PROMETHEE, mediante el cual se pretende obtener una ordenación de las alternativas, desde el país mejor posicionado hasta el peor, según las preferencias del decisor, este método no muestra solo preferencias entre criterios a través de los pesos asignados, sino que también permite fijar para cada criterio la escala con la que el decisor puede establecer su variación respecto a valores asignados a los umbrales.

#### **4. METODOLOGÍA**

Se desarrollará una metodología que facilite la selección de criterios sociales y ambientales que deberían ser incluidos en las licitaciones de obra pública, en base a las necesidades sostenibles existentes en España. Por lo tanto, para establecer dichas necesidades se llevará a cabo una comparación del desempeño entre países, aplicando la herramienta de Análisis Multicriterio PROMETHEE a los países de la Unión Europea, dado que son países que se caracterizan por tener un marco legal común. Finalmente, en base a la comparación entre países, se analizará y se concluirá sobre la situación de España bajo un contexto de sostenibilidad.

Primero se llevará a cabo la selección de las bases de datos, de donde se identificará los indicadores que correspondan a los criterios ambientales y sociales establecidos en los apartados 2.4 y 2.5, respectivamente. Luego se evaluará los indicadores teniendo en cuenta aspectos como su representatividad, relevancia y eficacia, posteriormente se llevará a cabo un análisis estadístico de los datos de los indicadores sociales y medioambientales inicialmente seleccionados con el objetivo de mejorar la calidad de la información y de esta manera se obtendrá un subconjunto de indicadores. A este subconjunto se aplicará la herramienta PROMETHEE, para finalmente analizar los resultados y extraer las conclusiones más representativas sobre la situación sostenible de España.

#### **4.1. BASES DE DATOS**

En 2015, la ONU aprobó la Agenda 2030, la misma que constituye el nuevo marco de desarrollo sostenible mundial, en donde se adoptaron un conjunto de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos. Cada objetivo tiene metas específicas que deben alcanzarse en los próximos 15 años. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) equilibran las tres dimensiones de principales de la sostenibilidad; económica, social y medioambiental, y son 17:

1. Fin de la pobreza
2. Hambre cero
3. Salud y bienestar
4. Educación de calidad
5. Igualdad de género
6. Agua limpia y saneamiento
7. Energía asequible y no contaminante
8. Trabajo decente y crecimiento económico
9. Industria, innovación e infraestructura
10. Reducción de las desigualdades
11. Ciudades y comunidades sostenibles
12. Producción y consumo responsables

13. Acción por el clima
14. Vida submarina
15. Vida de ecosistemas terrestres
16. Paz, justicia e instituciones sólidas
17. Alianzas para lograr los objetivos

Siguiendo las líneas del desarrollo sostenible, la Estrategia Sostenible de La Unión Europea con el objetivo de prever una medición de los avances hacia el desarrollo sostenible, creó un conjunto de indicadores, con un nivel de detalle apropiado, que permitan evaluar la situación en que se encuentra cada reto planteado. La lista de indicadores europeos de desarrollo sostenible se estructura en diez temas principales;

- Desarrollo socioeconómico
- Cambio climático y energía
- Transporte sostenible
- Consumo y producción responsables
- Recursos naturales
- Salud Pública
- Inclusión social
- Cambios demográficos
- Asociación mundial
- Buena gobernanza

Estos 10 temas recogen más de cien indicadores, los mismos que están expuestos en la web de la oficina de estadística de la Unión Europea (Eurostat), la misma que elabora cada dos años un informe de seguimiento de la estrategia de Desarrollo Sostenible, en base a los indicadores. Esta base de datos con el propósito de presentar datos de calidad, sigue un enfoque de gestión de la calidad global que se basa en el Código de Buenas Prácticas, el mismo que establece el estándar para desarrollar, producir y difundir datos estadísticos europeos, este Código a su vez se rige por el sistema estadístico Europeo (European Statistical System - ESS), el marco de garantía de este

sistema presenta actividades, métodos y herramientas que pueden proporcionar orientación y evidencia para la implementación el Código de Buenas Prácticas (Eurostat, 2018).

Además, existen los reportes de SDG Index and Dashboards Report, elaborado anualmente por la Red de Soluciones de Desarrollo Sostenible (Sustainable Development Solutions Network - SDSN) y la fundación Bertelsman Stiftung, con el objetivo de analizar los avances que están dando los países entorno al cumplimiento de los 17 ODS. En estos reportes se exponen datos públicos disponibles publicados por proveedores de datos oficiales (Banco Mundial, OMS, OIT, otros) y otras organizaciones, incluidos centros de investigación y organizaciones no gubernamentales (SDG INDEX, 2018).

Por otro lado, el Banco Mundial, presenta una serie de indicadores de desarrollo, como compilación de varias fuentes de datos oficiales, los mismos que corresponden a temas como; Medioambiente y recursos naturales, cambio climático, salud, nutrición y población, desarrollo social, desarrollo urbano, entre otros. A través de Grupo de gestión de datos sobre el desarrollo, el Banco Mundial coordina el trabajo estadístico y mantiene una serie de datos sectoriales, macroeconómicas y financieras. La base de datos del Banco Mundial (World Bank Open Data) para garantizar la calidad de sus datos, utiliza estándares, metodologías, fuentes, definiciones y clasificaciones que son aceptadas internacionalmente, como por ejemplo se basa en el Sistema General de Difusión de Datos (General Data Dissemination System - GDDS), el mismo que es un marco para evaluar los sistemas estadísticos y promover una mejor difusión y eficacia, este ha sido desarrollado por el Fondo Monetario Internacional (FMI) con colaboración del Banco Mundial. Además, dicha base de datos trabajo también bajo el Marco de evaluación de la calidad de los datos (Data Quality Assessment Framework – DQAF) , es una metodología que sirve para evaluar la calidad de la información y que reúne las mejores prácticas, conceptos y definiciones aceptados internacionalmente, incluidos los Principios

Fundamentales de las Estadísticas Oficiales de las Naciones Unidas y el GDD (The World Bank, 2018).

En el presente trabajo se utilizará las bases de datos Eurostat, World Bank Open Data y los reportes de SDG Index and Dashboards Report, para extraer los valores correspondientes a los indicadores con lo que se evaluará las alternativas en la herramienta de tomas de decisiones.

## **4.2. IDENTIFICACIÓN DE INDICADORES**

El objetivo de incluir indicadores sostenibles en la contratación pública es generalmente para evaluar y motivar el progreso hacia los objetivos de sostenibilidad (Montalbán-Domingo et al., 2018), por lo tanto la selección de estos indicadores se llevará a cabo bajo los criterios sostenibles definidos en las tablas 2.3 y 2.4, así como también se fundamentará en los indicadores establecidos para evaluar los objetivos de desarrollo sostenible de la ONU mencionados en el apartado 4.1, además se pretende identificar indicadores que permitan apreciar los impactos directos o indirectos de las actividades del sector de la construcción.

En la selección de indicadores se considerará lo mencionado por Ugwu et al. (2006), quienes sostienen que los indicadores deben ser cuantificables y eficaces, por lo que para su identificación se deberá tener en cuenta los siguientes aspectos;

- Debe ser relevante, y ajustarse al propósito de rendimiento y medición
- Comprensible, debe ser fácil para todos los usuarios presentes y futuro
- Debe ser útil para la comunidad (stakeholders).

También se tendrá en cuenta lo considerado por Cook et al. (2017); quienes realizan una selección de indicadores por adhesión teniendo en cuenta las

siguientes características: relevancia, utilidad, solidez, interpretabilidad, disponibilidad y calidad de los datos.

Al mismo tiempo que se seleccionará los indicadores de las bases de datos, se procederá a agrupar los indicadores recopilados inductivamente y por afinidad (Carnevalli and Miguel, 2008).

Se pretende que los indicadores seleccionados proporcionen información relevante a los responsables de establecer los criterios sostenibles a incluir en las licitaciones de obra pública en España. Para que de esta manera los criterios a utilizar, sean más objetivos en base a la situación sostenible de España frente a otros países según los datos estadísticos que presenten los indicadores.

En la siguiente tabla se muestra todos los indicadores inicialmente considerados, previo al análisis estadístico, en donde se muestra una breve definición, unidad de medida y base de datos utilizada.

INDICADOR	UNIDADES	RESUMEN DE DEFINICIÓN	BASE DE DATOS
<b>ENERGIA</b>			
Uso de Energía	Kg de equivalente de aceite (KOE) per cápita	Uso de energía primaria antes de la transformación a otros combustibles de uso final (como la electricidad y los productos derivados del petróleo). Incluye energía proveniente de combustibles renovables y desechos: biomasa sólida y productos de origen animal, gases y líquidos de biomasa y desechos industriales y municipales.	Banco Mundial
Consumo de energía de combustibles fósiles	%	El combustible fósil comprende productos de carbón, petróleo, petróleo y gas natural. Los combustibles fósiles son recursos no renovables porque tardan millones de años en formarse y las reservas se agotan mucho más rápido que las nuevas.	Banco Mundial

Consumo de energía final	Millones de toneladas de equivalente de aceite (MTOE) per cápita	El "consumo final de energía" solo cubre la energía consumida por los usuarios finales, como la industria, el transporte, los hogares, los servicios y la agricultura, excluye el consumo de energía del sector energético en sí y las pérdidas que ocurren durante la transformación y distribución de energía.	EUROSTAT
Proporción de energía renovable en el consumo final bruto de energía	%	Mide la participación del consumo de energía renovable en el consumo final bruto de energía de acuerdo con la Directiva de Energías Renovables. El consumo final bruto de energía es la energía utilizada por los consumidores finales más las pérdidas de la red y el autoconsumo de las centrales eléctricas.	EUROSTAT

### EMISIONES

Daño por emisión de partículas	% GNI (ingresos nacionales brutos)	El daño por emisiones de partículas es el daño debido a la exposición de la población de un país a concentraciones ambientales de partículas que miden menos de 2.5 micrones de diámetro (PM2.5).	Banco Mundial
Emissiones de CO2	Toneladas métricas per cápita	Las emisiones de dióxido de carbono son las derivadas de la quema de combustibles fósiles y la fabricación de cemento. Incluyen el dióxido de carbono producido durante el consumo de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos y la quema de gas. En gran parte subproductos de la producción y el uso de energía, que representan la mayor parte de los gases de efecto invernadero	Banco Mundial
Emissiones de CO2 de las industrias manufactureras y la construcción	% de la combustión total de combustible	Las emisiones de CO2 de las industrias manufactureras y la construcción contienen las emisiones de la combustión de combustibles en la industria.	Banco Mundial

PM2.5 contaminación del aire, población expuesta a niveles que exceden el valor de referencia de la OMS	% total	La porción de la población de un país que vive en lugares donde las concentraciones medias anuales de PM2.5 son mayores a 10 microgramos por metro cúbico, el valor recomendado por la OMS como el extremo inferior del rango de concentraciones sobre el cual se han observado efectos adversos para la salud debido a la exposición a PM2.5.	Banco Mundial
Emisiones de gases de efecto invernadero	Toneladas per cápita	El indicador mide todas las emisiones artificiales de gases de efecto invernadero, incluido el dióxido de carbono (CO2), el metano (CH4), el óxido nitroso (N2O) y los llamados gases fluorados (hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos, trifluoruro de nitrógeno (NF3) y hexafluoruro de azufre (SF6)).	EUROSTAT

## RESIDUOS

Residuos Sólidos Municipales No Reciclados	kg/persona/año	Las cantidades anuales de residuos sólidos municipales (MSW), incluidos los residuos domésticos, que no se reciclan.	SDG INDEX
Generación de desechos excluyendo los principales desechos minerales por peligrosidad	kg per cápita	Mide todos los residuos generados en un país, excluyendo los principales desechos minerales, el despojo de dragado y los suelos contaminados. Esta exclusión aumenta la comparabilidad entre los países ya que los residuos minerales representan grandes cantidades en algunos países.	EUROSTAT
Volumen de residuos en el sector de la construcción	Kilogramos per cápita	Representan residuos de la actividad económica de la construcción. Al presentar los datos en términos de kg por habitante se tiene en cuenta el tamaño del país.	EUROSTAT

## AGUA

Extracciones anuales de agua dulce	% de recursos internos	Se refieren al total de extracciones de agua dulce, sin contar las pérdidas por evaporación de las cuencas de almacenamiento.	Banco Mundial
Porcentaje de aguas residuales antropogénicas que reciben tratamiento	%	Porcentaje de agua residual recolectada, generada o producida que se trata, normalizada por la población conectada a las instalaciones centralizadas de tratamiento de aguas residuales.	SDG INDEX

## FLORA Y FAUNA

Agotamiento de los recursos naturales	% GNI (ingresos nacionales brutos)	El agotamiento de los recursos naturales es la suma de la deforestación neta, el agotamiento de la energía y el agotamiento de los minerales.	Banco Mundial
Ahorro ajustado: agotamiento neto de bosques	% GNI (ingresos nacionales brutos)	El agotamiento neto de los bosques se calcula como el producto de las rentas unitarias de recursos y el exceso de la cosecha de madera sobre el crecimiento natural. Si el crecimiento excede la cosecha, esta cifra es cero. Debido a que las estimaciones de agotamiento reflejan solo los valores de la madera, ignoran todos los beneficios externos y ajenos a la madera asociados con los bosques en pie.	Banco Mundial
Especies de aves, amenazadas	Número	Son el número de especies en peligro de extinción o vulnerables, clasificadas por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN).	Banco Mundial
Especies de peces, amenazadas	Número	Son el número de especies en peligro de extinción o vulnerables, clasificadas por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN).	Banco Mundial
Especies de mamíferos, amenazadas	Número	Son el número de especies en peligro de extinción o vulnerables, clasificadas por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN).	Banco Mundial
Especies de plantas, amenazadas	Número	Son el número de especies en peligro de extinción o vulnerables, clasificadas por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN).	Banco Mundial

## IGUALDAD DE GENERO

Brecha de empleo de género	%	Mide la diferencia entre las tasas de empleo de hombres y mujeres de entre 20 y 64 años. La tasa de empleo se calcula dividiendo el número de personas de 20 a 64 años en el empleo por la población total del mismo grupo de edad.	EUROSTAT
----------------------------	---	---	----------

Brecha salarial de género no ajustada	%	La brecha salarial de género no ajustada (GPG, por sus siglas en inglés) representa la diferencia entre las ganancias brutas promedio por hora de los empleados asalariados y las empleadas remuneradas como porcentaje de las ganancias brutas promedio por hora de los empleados remunerados masculinos.	EUROSTAT
---------------------------------------	---	--	----------

## EMPLEO

Desempleo, total	% del empleo total	El desempleo se refiere a la proporción de la fuerza laboral que no tiene trabajo pero que está disponible para buscar empleo.	Banco Mundial
Empleo vulnerable, total	% del empleo total	El empleo vulnerable se refiere a la suma de trabajadores familiares contribuyentes y trabajadores por cuenta propia, como porcentaje el empleo total.	Banco Mundial
Desempleo, total de jóvenes	% del total de la población activa de 15-24 años	El desempleo juvenil se refiere a la participación de personas de 15 a 24 años de edad sin trabajo pero disponible para buscar empleo.	Banco Mundial
Tasa de desempleo a largo plazo	% del total de la población activa	El desempleo de larga duración se mide para las personas económicamente activas (que incluye tanto a las personas empleadas como a las desempleadas) de 15 a 74 años de edad que han estado desempleadas durante 12 meses o más. El desempleo a largo plazo aumenta el riesgo de caer en la pobreza y tiene implicaciones negativas para la sociedad en su conjunto.	EUROSTAT
Tasa de desempleo por nacidos en el extranjero	%	El módulo ad-hoc "situación del mercado laboral de los migrantes y sus descendientes inmediatos" tuvo como objetivo comparar la situación en el mercado laboral de inmigrantes de primera generación, inmigrantes de segunda generación y nacionales, y analizar los factores que afectan la integración y adaptación en el mercado laboral.	EUROSTAT

## SEGURIDAD Y SALUD

Accidentes fatales en la construcción	Tasa de incidencia	La tasa de incidencia indica la importancia relativa de los accidentes fatales (mortales) en el trabajo en la población trabajadora. El numerador es la cantidad de accidentes fatales que ocurrieron durante el año. El denominador es el número de personas empleadas expresada en 100.000 personas.	EUROSTAT
Accidentes no mortales en la construcción	Tasa de incidencia	La tasa de incidencia indica la importancia relativa de los accidentes no mortales en el trabajo en la población trabajadora. El numerador es la cantidad de accidentes no mortales que ocurrieron durante el año. El denominador es el número de personas empleadas expresada en 100.000 personas.	EUROSTAT

## DESARROLLO TECNOLÓGICO

Gastos en investigación y desarrollo	% del PIB	Son gastos corrientes y de capital (tanto públicos como privados) en el trabajo creativo realizado sistemáticamente para aumentar el conocimiento, incluido el conocimiento de la humanidad, la cultura y la sociedad, y el uso del conocimiento para nuevas aplicaciones. La I + D abarca investigación básica, investigación aplicada y desarrollo experimental.	Banco Mundial
Investigadores en I + D	Por cada millón de personas	Los investigadores en I + D son profesionales dedicados a la concepción o creación de nuevos conocimientos, productos, procesos, métodos o sistemas y en la gestión de los proyectos en cuestión. Se incluyen estudiantes de postgrado de doctorado dedicados a I + D.	Banco Mundial
Solicitudes de patente ante la Oficina Europea de Patentes	Por millones de habitantes	Mide las solicitudes de protección de una invención dirigida directamente a la Oficina Europea de Patentes (OEP) o presentada en virtud del Tratado de Cooperación en materia de Patentes y designando a la OEP (Euro PCT), independientemente de si se otorgan o no. Los datos muestran el número total de solicitudes por país.	EUROSTAT

## IGUALDAD DE SOCIAL

Índice de Gini	0 a 100	Mide el grado de la distribución del ingreso. 0 representa la igualdad perfecta, 100 implica una desigualdad perfecta.	SDG INDEX
----------------	---------	--	-----------

## CORRUPCIÓN

Control de la corrupción	Rango de 0 a 100	Captura las percepciones de la medida en que se ejerce el poder público para obtener beneficios privados. Donde 0 corresponde al rango más bajo y 100 al rango más alto	Banco Mundial
--------------------------	------------------	---	---------------

Tabla 4: Indicadores inicialmente considerados

### 4.3. ANALISIS ESTADÍSTICO

Después de seleccionar los indicadores mostrados en la tabla anterior, se realizará un análisis estadístico básico, que consiste en calcular el coeficiente de variación de cada indicador y el alfa de Cronbach de cada categoría. Este procedimiento se lleva a cabo con el fin de simplificar el análisis del sistema y obtener un subconjunto óptimo de indicadores, reduciendo la dimensión y mejorando la calidad de los indicadores (Dos Santos & Brandi, 2015).

- **Coeficiente de variación (CV)**

Al tener un indicador para varios países, se puede presentar el problema de que sus valores sean muy similares, por lo tanto, la información que brinda aquel indicador, no es relevante, ya que el objetivo es establecer diferencias entre los países. Por lo tanto, se calcula el coeficiente de variación, el mismo que es una medida de dispersión, e indica el tamaño relativo de la desviación estándar con respecto a la media, y es adimensional, en otras palabras, sirve para medir la variabilidad de la muestra.

Se calcula como el cociente entre la desviación estándar y la media aritmética de la muestra, en caso que se necesite presentar en porcentaje se multiplica por cien.

$$CV = \frac{S}{\bar{X}}$$

Entre mayor sea CV, se considera una muestra heterogénea.

Entre menor sea CV, se considera una muestra homogénea.

Si resulta inferior a un nivel arbitrariamente establecido, se elimina del análisis por que se considera que el indicador no muestra información diversificada. En este trabajo se calculará en el programa informático Excel y se utilizará como nivel de referencia aceptable 0,10 (Młodak, 2013).

Se descarta si  $CV < 0,1$  o 10% → baja varianza.

Entonces CV debe ser  $> 0.1$ .

Es importante acotar, que se utiliza el coeficiente de variación, ya que los datos con lo que se va a trabajar se presentan en diferentes unidades, por lo que calcular solo la desviación estándar no es factible, ya que esta se precisa cuando se tiene valores expresados en las mismas unidades. Además, se debe tener en cuenta que el coeficiente de variación es oportuno para muestras donde se tiene solo valores positivos.

- **Coeficiente de Alfa de Cronbach**

Este coeficiente es una herramienta utilizada en lo que se conoce análisis de confiabilidad mediante la consistencia interna de la muestra, esto implica el estudio de las correlaciones entre indicadores de cada categoría. La consistencia interna sirve para conocer el grado de correlación que existe entre los datos. Este análisis es válido para indicadores expresados en diferentes unidades de medida y se necesita al menos dos ítems para poder estimar el valor del coeficiente alfa de Cronbach y cuanto mayor el número de ítems mayor será la fiabilidad de la escala (Welch & Comer, 1988; Cronbach, 1951).

La confiabilidad se utiliza para agregar indicadores conmensurables de una manera metodológica en un solo indicador agregado, ya que no existe una metodología estándar generalmente aceptada para agregar indicadores en un único indicador de sostenibilidad. Por lo tanto, este análisis es útil para conocer si un conjunto de indicadores se puede tratar consistentemente como una entidad, y así obtener un solo indicador que mida diferentes dimensiones de la sostenibilidad (Dos Santos & Brandi, 2015). Este procedimiento simplifica los análisis del complejo sistema de sostenibilidad ya que cuanto mayor sea la correlación entre los indicadores, menores serán las dimensiones estadísticas presente en el conjunto de datos (Nardo, 2005).

Aunque el objetivo de este trabajo, no es el de crear indicadores integrados, se utilizará el Alfa de Cronbach porque se considera un análisis útil para próximos estudios, en donde se necesite fusionar varios indicadores en uno solo, por ejemplo, en lugar de desarrollar indicadores ambientales, económicos y sociales distintos e independientes, se podría utilizar un solo indicador que exprese estas tres dimensiones (Dyllick & Hockerts, 2002).

El alfa de Cronbach puede ser calculado a partir de la correlación entre los ítems como una función del número de ítems del conjunto y la correlación media entre los ítems:

$$\alpha = \frac{N \times \bar{r}}{1 + (N - 1) \times \bar{r}}$$

Don  $N$  es igual al número de ítems y  $r$  es la correlación media entre los ítems.

En este trabajo, se utilizará el software SPSS para calcular el coeficiente Alfa de Cronbach, este programa muestra como resultado el valor del coeficiente para cada grupo de indicadores, así como también muestra como varía dicho valor según se elimine un indicador.

El valor de alfa de Cronbach oscila de 0 a 1, cuanto más cerca se encuentre el valor del alfa a 1 mayor es la consistencia interna de los ítems analizados. Nunnally (1978) sostiene que dentro de un análisis exploratorio estándar, el valor de fiabilidad en torno a 0.7 es adecuado y es el nivel mínimo aceptable. El autor reconoce que valores más bajos son utilizados a veces en la literatura. En las primeras fases de la investigación o estudios exploratorios un valor de fiabilidad de 0.6 o 0.5 puede ser suficiente, con investigación básica se necesita al menos 0.8 y en investigación aplicada entre 0.9 y 0.95 (Nunnally, 1967). Mientras que por otro lado Hair (2005) indica que un valor aceptable de alfa de Cronbach debería ser superior a 0.50.

#### **4.4. HERRAMIENTA DE TOMA DE DECISIONES (PROMETHEE)**

En el presente trabajo se pretende obtener una ordenación de países desde el mejor hasta el más débil y en base a la posición de España, evaluar sus necesidades sostenibles frente a otros países. Para esto se va a trabajar con la herramienta de toma de decisiones multicriterio PROMETHE I y PROMETHEE II.

PROMETHEE II presenta un ranking total el cual nos permitirá obtener la posición de España a nivel internacional, este ranking se obtiene a partir de la diferencia entre el flujo de ordenación positivo menos el flujo de ordenación negativo, resultando el llamado flujo neto. Por lo que se ordena los países según su valor de flujo neto, ocupando la posición la posición N°1 el de mayor valor, por lo tanto, el de mejor desempeño.

Por otro lado, PROMETHEE I, permite obtener un ranking parcial, a partir de las intersecciones de los flujos de ordenación de las alternativas, en donde se puede utilizar el análisis de incomparabilidades que ayuda a estudiar de una manera más real la situación entre los países en una comparación a pares, en la práctica real es factible utilizar ambas clasificaciones porque aunque es más fácil para el responsable de la toma de decisiones resolver el problema de

decisión utilizando el preorden completo (ranking total), el preorden parcial contiene más información realista (Brans et al., 1986).

En la siguiente imagen se puede observar de manera resumida los pasos a seguir para llevar a cabo PROMETHEE.

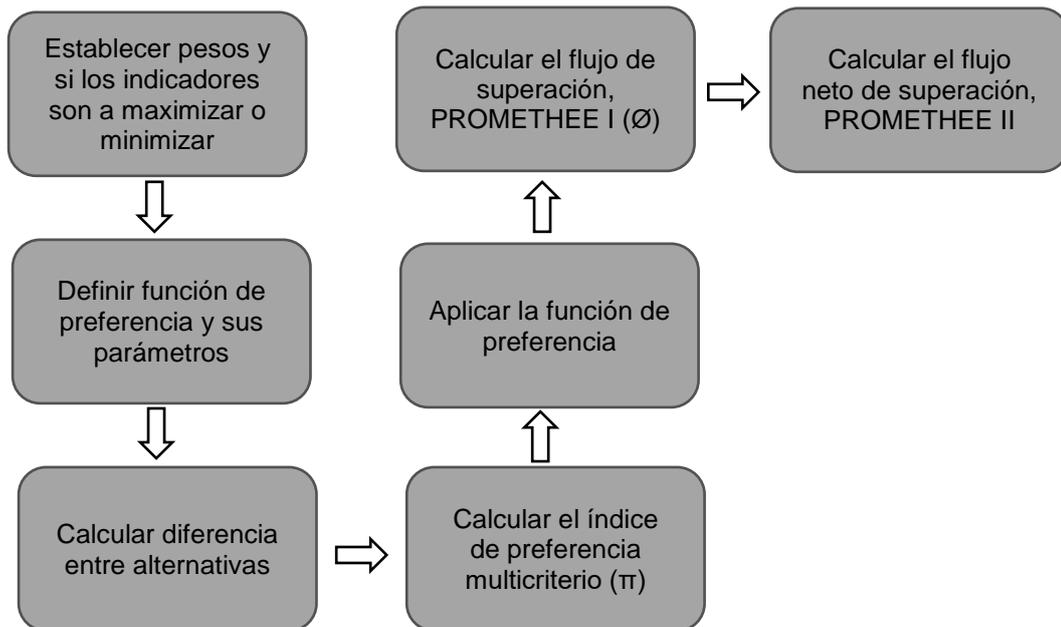


Figura 7: Proceso PROMETHEE (Elaboración propia)

- **Pesos**

Todos los indicadores tendrán el mismo peso, debido a que se considera que tienen el mismo nivel de importancia, en un contexto de sostenibilidad, además para evitar la subjetividad del decisor (Antanasijević et al., 2017).

- **Función de preferencia**

Se ha seleccionado la función de preferencia basada en el criterio de preferencia lineal, es decir la función III, se utilizará la misma para todos los indicadores (Antanasijević et al., 2017).

En esta función se debe establecer el umbral de preferencia estricta ( $p$ ), el mismo que será el valor máximo de los valores de las alternativas, para el caso en que sean indicadores a maximizar, mientras que, para el caso de los indicadores a minimizar, el valor de este umbral será el máximo también, pero con signo negativo (Herngren, 2006).

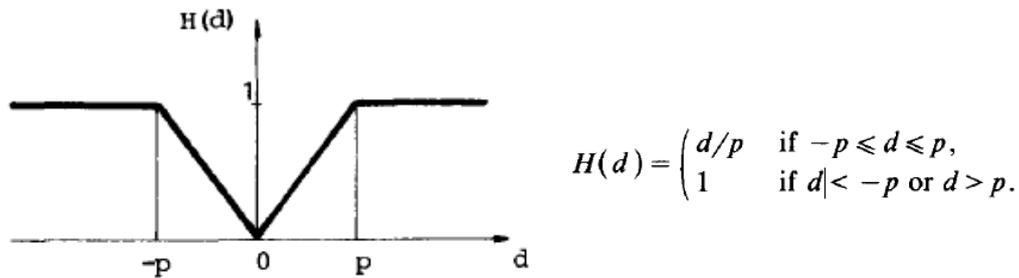


Figura 8: Función de preferencia III (Brans et al., 1986)

En base a la figura anterior, mientras  $d$  sea menor que  $p$ , la preferencia del decisor aumenta linealmente, cuando  $d$  es mayor que  $p$  se trata de una preferencia estricta.

- **Alternativas**

Para evaluar el desempeño sostenible de España, se considera necesario compararlo con otros países, por lo tanto, los países de la Unión Europea serán las alternativas del proceso de toma de decisiones, dado que tienen un marco legal común y se enlistan en la siguiente tabla:

A1	Alemania
A2	Austria
A3	Bélgica
A4	Bulgaria
A5	Chipre
A6	Croacia
A7	Dinamarca
A8	Eslovaquia
A9	Eslovenia
A10	España
A11	Estonia
A12	Finlandia
A13	Francia

A14	Grecia
A15	Hungría
A16	Irlanda
A17	Italia
A18	Letonia
A19	Lituania
A20	Luxemburgo
A21	Malta
A22	Países Bajos
A23	Polonia
A24	Portugal
A25	Reino Unido
A26	República Checa
A27	Rumanía
A28	Suecia

*Tabla 5: Alternativas – Países (Elaboración propia)*

## **5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DEL DESEMPEÑO SOSTENIBLE DE LOS PAÍSES DE LA UNIÓN EUROPEA E IDENTIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES PRINCIPALES**

En este apartado se presentará el desarrollo, los resultados obtenidos y discusión sobre estos, tanto del análisis estadístico como de la aplicación del PROMETHEE.

Se extrajeron los datos de los indicadores mostrados en la tabla 4, desde el año 2014 hasta el año 2017, se calculó el promedio de estos años para cada país y se trabajó con ese valor para todo el desarrollo del presente trabajo. Los datos se obtuvieron de las bases de datos Eurostat, World Bank Open Data y de los reportes de SDG Index and Dashboards Report.

### **5.1. INDICADORES DEFINITIVOS**

Siguiendo la metodología propuesta en el apartado 4, se calculó el Alfa de Cronbach en el programa estadístico SPSS, para cada una de las categorías de criterios ambientales y sociales establecidas en el apartado 2.4 y 2.5, respectivamente.

Aquí se realiza el primer filtro de los indicadores, por un lado se analiza el Alfa de Cronbach obtenido, ya que el programa SPSS indica cómo varía el valor del Alfa según se elimine un indicador, entonces se elimina algunos indicadores con el objetivo de mejorar la calidad de la categoría, sin embargo la eliminación de indicadores no solo es bajo esta premisa, sino que por otro lado se considera también los aspectos tal como se indica en el apartado 4.2, es por esto que en algunos casos, incluso cuando el programa SPSS indica que eliminando un determinado indicador, el valor del Alfa de la categoría mejora, no se lo eliminó porque fue considerado un indicador importante para evaluar las alternativas.

En la siguiente tabla se presenta todos los indicadores considerados al principio del análisis con su Alfa de Cronbach inicial, los indicadores que están de color rojo, son los que se eliminan, por lo que se obtiene un nuevo alfa para la categoría.

INDICADOR	UNIDADES	ALFA DE CRONBACH	ALFA DE CRONBACH DEFINITIVO
<b>ENERGIA</b>			
Uso de Energía	Kg de equivalente de petróleo per cápita	-0,175	0,060
Consumo de energía de combustibles fósiles	%		
Consumo de energía final	Millones de toneladas de petróleo equivalente		
Proporción de energía renovable en el consumo final bruto de energía	%		
<b>EMISIONES</b>			
Daño por emisión de partículas	% GNI (ingresos nacionales brutos)	-0,002	0,158
Emisiones de CO2	Toneladas métricas per cápita		

Emisiones de CO2 de las industrias manufactureras y la construcción	% de la combustión total de combustible		
PM2.5 contaminación del aire, población expuesta a niveles que exceden el valor de referencia de la OMS	% total		
Emisiones de gases de efecto invernadero	Toneladas per cápita		

### RESIDUOS

<b>Residuos Sólidos Municipales No Reciclados</b>	<b>kg/persona/año</b>		
Generación de desechos excluyendo los principales desechos minerales por peligrosidad	kg per cápita	0,100	0,126
Volumen de residuos en el sector de la construcción	Kilogramos per cápita		

### AGUA

Extracciones anuales de agua dulce	% de recursos internos		
Porcentaje de aguas residuales antropogénicas que reciben tratamiento	%	-0,340	-0,340

### FLORA Y FAUNA

Agotamiento de los recursos naturales	% GNI (ingresos nacionales brutos)		
Ahorro ajustado: agotamiento neto de bosques	% GNI (ingresos nacionales brutos)		
Especies de aves, amenazadas	Número	0,696	0,696
Especies de peces, amenazadas	Número		
Especies de mamíferos, amenazadas	Número		
Especies de plantas, amenazadas	Número		

### IGUALDAD DE GENERO

Brecha de empleo de género	%		
Brecha salarial de género no ajustada	%	-0,571	-0,571

**EMPLEO**

Desempleo, total	% del empleo total	0,941	0,941
Empleo vulnerable, total	% del empleo total		
Desempleo, total de jóvenes	% del total de la población activa de 15-24 años		
Tasa de desempleo a largo plazo	% del total de la población activa		
Tasa de desempleo por nacidos en el extranjero	%		

**SEGURIDAD Y SALUD**

Accidentes fatales en la construcción	Tasa de incidencia	0,013	0,013
Accidentes no mortales en la construcción	Tasa de incidencia		

**DESARROLLO TECNOLÓGICO**

Gastos en investigación y desarrollo	% del PIB	0,949	0,949
Investigadores en I + D	Por cada millón de personas		
Solicitudes de patente ante la Oficina Europea de Patentes	Por millones de habitantes		

**IGUALDAD DE SOCIAL**

Índice de Gini	0 a 100
----------------	---------

**CORRUPCIÓN**

Control de la corrupción	Rango de 0 a 00
--------------------------	-----------------

Tabla 6: Alfa de Cronbach

En la tabla anterior, se puede apreciar que para la categoría Energía, el alfa es bajo, incluso cuando se elimina algunos indicadores, lo mismo sucede con las categorías Emisiones y Residuos, por lo tanto, la correlación entre estos es baja. En las categorías Agua, Igualdad de Género y Seguridad y Salud, el valor del alfa resulta bajo, en parte esto se le atribuye a que se está utilizando solo dos indicadores, ya que la confiabilidad del conjunto tiende a aumentar entre más indicadores sean utilizados (Welch & Comer, 1988). Sin embargo, se mantienen las categorías tal como al inicio del análisis, ya que son útiles para

el objetivo de este trabajo. Con respecto a las categorías; Desarrollo Tecnológico, Empleo y Flora y Fauna, el valor del alfa de Cronbach es mayor a 0,50 lo que según la bibliografía revisada es considerado como aceptable, por lo que se mantienen los mismos indicadores considerados inicialmente. En las categorías Igualdad Social y Corrupción, al tener solo un indicador, no se calcula el Alfa de Cronbach.

Teniendo en cuenta el objetivo de este trabajo, no es el de crear indicadores integrados, pero se ha utilizado el Alfa de Cronbach porque se considera un análisis útil para próximos estudios, en donde se necesite fusionar varios indicadores en uno solo, por lo tanto, de los resultados obtenidos en este trabajo, se puede concluir que; en el caso de los indicadores cuya categoría obtuvo un valor aceptable (Desarrollo Tecnológico, Empleo y Flora y Fauna), podrían ser utilizados para integrarse y formar un solo indicador agregado, ya que la consistencia interna del grupo es alta y consecuentemente su fiabilidad también. En las demás categorías, cuando se requiera integrar indicadores, se debería agregar o buscar otros indicadores, con el objetivo de mejorar la fiabilidad del conjunto, sin embargo, para la finalidad de este trabajo los indicadores utilizados son considerados aceptables e importantes. Cabe recalcar que el análisis de consistencia interna basado en alfa de Cronbach, es solo una parte del análisis necesario para desarrollar indicadores agregados de sostenibilidad.

Del subconjunto de indicadores obtenidos, se calcula el coeficiente de variación para cada uno de ellos, en todos los indicadores se obtuvo un valor mayor a 0,10, que fue el mínimo valor establecido. A continuación, se muestra la tabla con los indicadores definitivos a utilizar, con su respectivo valor de coeficiente de variación, así como también se muestra si son criterios a minimizar o maximizar, ya que esta información se utiliza en la aplicación del método PROMETHEE.

INDICADOR	UNIDADES	CV	
<b>ENERGIA</b>			
Consumo de energía final	Millones de toneladas de equivalente de aceite (MTOE) per cápita	0,49	min
Proporción de energía renovable en el consumo final bruto de energía	%	0,60	max
<b>EMISIONES</b>			
Emisiones de CO2	Toneladas métricas per cápita	0,47	min
Emisiones de CO2 de las industrias manufactureras y la construcción	% de la combustión total de combustible	0,36	min
PM2.5 contaminación del aire, población expuesta a niveles que exceden el valor de referencia de la OMS	% total	0,45	min
Emisiones de gases de efecto invernadero	Toneladas per cápita	0,36	min
<b>RESIDUOS</b>			
Generación de desechos excluyendo los principales desechos minerales por peligrosidad	kg per cápita	0,80	min
Volumen de residuos en el sector de la construcción	Kilogramos per cápita	1,43	min
<b>AGUA</b>			
Extracciones anuales de agua dulce	% de recursos internos	1,16	min
Porcentaje de aguas residuales antropogénicas que reciben tratamiento	%	0,35	max
<b>FLORA Y FAUNA</b>			
Agotamiento de los recursos naturales	% GNI (ingresos nacionales brutos)	1,32	min
Ahorro ajustado: agotamiento neto de bosques	% GNI (ingresos nacionales brutos)	4,27	min
Especies de aves, amenazadas	Número	0,33	min
Especies de peces, amenazadas	Número	0,91	min
Especies de mamíferos, amenazadas	Número	0,78	min
Especies de plantas, amenazadas	Número	1,70	min
<b>IGUALDAD DE GENERO</b>			
Brecha de empleo de género	%	0,53	min

Brecha salarial de género no ajustada	%	0,59	min
---------------------------------------	---	------	-----

### **EMPLEO**

Desempleo, total	% del empleo total	0,51	min
Empleo vulnerable, total	% del empleo total	0,48	min
Desempleo, total de jóvenes	% del total de la población activa de 15-24 años	0,50	min
Tasa de desempleo a largo plazo	% del total de la población activa	0,76	min
Tasa de desempleo por nacidos en el extranjero	%	0,56	min

### **SEGURIDAD Y SALUD**

Accidentes fatales en la construcción	Tasa de incidencia	0,55	min
Accidentes no mortales en la construcción	Tasa de incidencia	0,91	min

### **DESARROLLO TECNOLÓGICO**

Gastos en investigación y desarrollo	% del PIB	0,53	max
Investigadores en I + D	Por cada millón de personas	0,49	max
Solicitudes de patente ante la Oficina Europea de Patentes	Por millones de habitantes	1,17	max

### **IGUALDAD DE SOCIAL**

Índice de Gini	0 a 100	0,11	min
----------------	---------	------	-----

### **CORRUPCIÓN**

Control de la corrupción	Rango de 0 a 00	0,20	min
--------------------------	-----------------	------	-----

*Tabla 7: Indicadores definitivos*

El cálculo del Coeficiente de variación se realizó en el software Excel, todos los indicadores cuentan con un coeficiente mayor a 0,10, lo establecido para considerar que estos indicadores tienen una alta varianza.

## 5.2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luego de haber obtenido el conjunto de indicadores definitivos, se procede a aplicar el método PROMETHEE, para esto se trabaja en el programa Excel y se realiza un análisis para cada categoría.

Aquí se debe tener presente el proceso mostrado en la figura 7. A continuación se presentará los resultados más relevantes de este proceso, y en el apartado Anejo, se mostrará a detalle el proceso. Cabe recalcar que todos los indicadores tienen el mismo peso y que la función de preferencia asignada es la función III para todos, mostrada en figura 8.

### 5.2.1. ENERGIA

- **Tabla de decisión**

INDICADORES		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
Consumo de energía final	min	2,57	3,12	3,12	1,32	2,00	1,55	2,43	1,87	2,29	1,74	2,13	4,47
Proporción de energía renovable en el consumo final bruto de energía	max	14,40	33,10	8,20	18,33	9,20	28,37	30,93	12,20	21,57	16,53	27,90	38,87

A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	p
2,23	1,41	1,75	2,33	1,90	1,96	1,74	6,78	1,30	2,83	1,66	1,56	2,00	2,29	1,12	3,19	-6,78
15,27	15,30	14,40	9,13	17,33	37,83	25,00	4,97	5,23	5,77	11,50	27,83	8,27	14,97	24,87	53,37	53,37

Tabla 8: Tabla de decisión - Energía

- **Resultados**

<b>PROMETHEE I: RANKING PARCIAL</b>			
	<b>PAIS</b>	<b><math>\emptyset^+</math></b>	<b><math>\emptyset^-</math></b>
A1	Alemania	0,041	0,112
A2	Austria	0,155	0,087
A3	Bélgica	0,017	0,190
A4	Bulgaria	0,115	0,052
A5	Chipre	0,042	0,120
A6	Croacia	0,164	0,021
A7	Dinamarca	0,148	0,048
A8	Eslovaquia	0,056	0,095
A9	Eslovenia	0,085	0,066
A10	<b>España</b>	<b>0,079</b>	<b>0,065</b>
A11	Estonia	0,132	0,038
A12	Finlandia	0,198	0,177
A13	Francia	0,052	0,089
A14	Grecia	0,093	0,066
A15	Hungría	0,068	0,077
A16	Irlanda	0,032	0,135
A17	Italia	0,075	0,066
A18	Letonia	0,221	0,018
A19	Lituania	0,129	0,033
A20	Luxemburgo	0,000	0,485
A21	Malta	0,078	0,141
A22	Países Bajos	0,018	0,193
A23	Polonia	0,065	0,094
A24	Portugal	0,159	0,022
A25	Reino Unido	0,041	0,128
A26	República Checa	0,049	0,093
A27	Rumanía	0,169	0,028
A28	Suecia	0,341	0,081

Tabla 10: Ranking Parcial - Energía

<b>PROMETHEE II: RANKING TOTAL</b>			
	<b>ALTERNATIVA</b>	<b><math>\emptyset</math></b>	<b>POSICIÓN</b>
A28	Suecia	0,260	1
A18	Letonia	0,203	2
A6	Croacia	0,143	3
A27	Rumanía	0,142	4
A24	Portugal	0,137	5
A7	Dinamarca	0,100	6
A19	Lituania	0,095	7
A11	Estonia	0,094	8
A2	Austria	0,068	9
A4	Bulgaria	0,063	10
A14	Grecia	0,027	11
A12	Finlandia	0,021	12
A9	Eslovenia	0,020	13
A10	<b>España</b>	<b>0,013</b>	<b>14</b>
A17	Italia	0,009	15
A15	Hungría	-0,008	16
A23	Polonia	-0,029	17
A13	Francia	-0,037	18
A8	Eslovaquia	-0,039	19
A26	República Checa	-0,044	20
A21	Malta	-0,063	21
A1	Alemania	-0,071	22
A5	Chipre	-0,078	23
A25	Reino Unido	-0,087	24
A16	Irlanda	-0,104	25
A3	Bélgica	-0,174	26
A22	Países Bajos	-0,175	27
A20	Luxemburgo	-0,485	28

Tabla 9: Ranking Total - Energía

Revisando el ranking parcial que brinda PROMETHEE I, resulta ser Suecia el candidato más fuerte por que presenta un flujo positivo ( $\emptyset^+$ ) de 0,341, sin embargo, su flujo negativo ( $\emptyset^-$ ) de 0,081 no es el menor de todos, ya que es Letonia quien tiene el menor flujo negativo (0,018), por lo tanto, Letonia es la menos débil. Sin embargo, al tener Suecia un mayor flujo positivo hace que la diferencia de flujos resulte la mejor, situándose en el ranking total de PROMETHEE II, en primer lugar, por ende, el país con mejor desempeño en Energía.

El país peor situado de esta categoría resulta ser Luxemburgo, ya que es el país que presenta mayor consumo de energía y además el menor porcentaje de energía renovable, entonces su ubicación en el ranking resulta ser lógica.

Por otro lado, analizando los valores de “Consumo de energía final”, Rumania es la que menor consumo presenta (1.12 MTOE per cápita) pero en la proporción de energía renovable existen otros países que presentan mejores valores que Rumania, entonces esto último es lo que no le permite situarse en primer lugar, sin embargo, su ubicación está entre los primeros puestos.

En el indicador “Proporción de energía renovable en el consumo final bruto de energía” se nota una gran diferencia entre el país mejor posicionado (Suecia) con 53.37% y el peor posicionado (Luxemburgo) con 4.97%.

Con respecto a España, se ubica en la posición 14, a pesar de que su consumo de energía final muestra un valor bajo con respecto a los demás países, su proporción de energía renovable no está entre los mejores valores. Sin embargo, se sitúa en una mejor posición que otros países de primer mundo, como Alemania, Reino Unido, Francia, lo que se puede atribuir a las diferencias existentes entre estructuras económicas, ya que al tener una mejor capacidad económica estos países llevan a cabo un mayor volumen de actividades económicas y consecuentemente consumen más energía (European Commission, 2017).

## 5.2.2. EMISIONES

- **Tabla de decisión**

INDICADORES		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
Emisiones de CO2	min	8,89	6,87	8,33	5,87	5,26	3,97	5,94	6,21	5,66	5,03	14,85	8,66
Emisiones de CO2 de las industrias manufactureras y la construcción	min	12,44	17,69	20,68	8,07	11,63	14,93	9,97	13,24	24,62	14,27	4,85	16,69
PM2.5 contaminación del aire, población expuesta a niveles que exceden el valor de referencia de la OMS	min	100	100	100	100	100	100	75	100	100	27	10	0
Emisiones de gases de efecto invernadero	min	11	9	11	8	11	6	9	8	8	7	15	11

A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	p
4,57	6,18	4,27	7,38	5,27	3,50	4,38	17,36	5,49	9,92	7,52	4,33	6,50	9,17	3,52	4,48	-17,36
15,70	9,09	15,59	10,57	11,19	12,65	11,15	9,30	1,28	14,72	10,28	12,92	9,60	14,02	18,24	17,40	-24,62
93	100	100	28	100	100	100	100	100	100	100	22	90	100	100	0	-100
7	9	6	13	7	6	7	21	6	12	10	7	8	12	6	6	-21

Tabla 11: Tabla de decisión - Emisiones

- **Resultados**

PROMETHEE I: RANKING PARCIAL			
	PAIS	$\emptyset^+$	$\emptyset^-$
A1	Alemania	0,037	0,142
A2	Austria	0,035	0,139
A3	Bélgica	0,021	0,196
A4	Bulgaria	0,098	0,074
A5	Chipre	0,062	0,098
A6	Croacia	0,096	0,083
A7	Dinamarca	0,122	0,066
A8	Eslovaquia	0,063	0,089
A9	Eslovenia	0,045	0,191
A10	España	0,215	0,042
A11	Estonia	0,274	0,200
A12	Finlandia	0,231	0,112
A13	Francia	0,086	0,087
A14	Grecia	0,082	0,082
A15	Hungría	0,086	0,089
A16	Irlanda	0,193	0,093
A17	Italia	0,086	0,071
A18	Letonia	0,111	0,069
A19	Lituania	0,097	0,066
A20	Luxemburgo	0,044	0,358
A21	Malta	0,188	0,058
A22	Países Bajos	0,023	0,176
A23	Polonia	0,060	0,107
A24	Portugal	0,245	0,027
A25	Reino Unido	0,099	0,072
A26	República Checa	0,027	0,164
A27	Rumanía	0,095	0,110
A28	Suecia	0,292	0,053

Tabla 13: Ranking parcial - Emisiones

PROMETHEE II: RANKING TOTAL			
	PAIS	$\emptyset$	POSICIÓN
A28	Suecia	0,240	1
A24	Portugal	0,218	2
A10	España	0,173	3
A21	Malta	0,130	4
A12	Finlandia	0,119	5
A16	Irlanda	0,101	6
A11	Estonia	0,074	7
A7	Dinamarca	0,057	8
A18	Letonia	0,043	9
A19	Lituania	0,031	10
A25	Reino Unido	0,027	11
A4	Bulgaria	0,023	12
A17	Italia	0,015	13
A6	Croacia	0,013	14
A14	Grecia	0,000	15
A13	Francia	-0,002	16
A15	Hungría	-0,003	17
A27	Rumanía	-0,016	18
A8	Eslovaquia	-0,025	19
A5	Chipre	-0,036	20
A23	Polonia	-0,048	21
A2	Austria	-0,104	22
A1	Alemania	-0,105	23
A26	República Checa	-0,137	24
A9	Eslovenia	-0,146	25
A22	Países Bajos	-0,152	26
A3	Bélgica	-0,175	27
A20	Luxemburgo	-0,314	28

Tabla 12: Ranking total - Emisiones

Cabe recalcar que el indicador “PM2.5 contaminación del aire, población expuesta a niveles que exceden el valor de referencia de la OMS”, muestra valores en cero para algunos países, porque las concentraciones en esos países no exceden el valor de referencia de la Organización Mundial de la Salud (10 microgramos por metro cúbico).

Analizando el ranking parcial, Suecia es el país más dominante con flujo positivo ( $\emptyset^+$ ) de 0,292, seguido por Estonia con un valor de  $\emptyset^+ = 0,274$ . Mientras que, al observar los flujos negativos, Portugal resulta ser el menos débil  $\emptyset^- = 0,024$ , seguido de España con un  $\emptyset^- = 0,042$ , pero Estonia refleja un valor de  $\emptyset^- = 0,200$ , por lo que al tener un alto flujo negativo resulta ser una de las alternativas más débiles. Es por esto que en el ranking total se ubica en la

posición N°7, a pesar de tener el segundo valor de flujo positivo más alto, pero hay que tener en cuenta que el ranking total resulta de la diferencia de  $\emptyset^+ - \emptyset^-$ .

En el ranking total, se ubica en la posición N°1 Suecia, en la posición N°2 Portugal y en la posición N°3 España, por lo tanto, Suecia es el país con mejor desempeño en Emisiones.

Se puede notar que el desempeño de los países con respecto a Emisiones, guarda un poco de relación con su desempeño en la categoría Energía, ya que los países que se ubican entre las últimas posiciones en esta categoría, también lo hacen en Energía, como es el caso de Luxemburgo, Países Bajos, Alemania, República Checa, Eslovaquia, Francia, entre otros. Esto tiene lógica, ya que en Europa en general, la mayor proporción de emisiones provienen de la producción y consumo de energía (European Environment Agency, 2017), además, la Agencia Europea de Medioambiente destaca que estos países son los que, por lo general, se desempeñan peor en aspectos relacionados a emisiones. La situación de Luxemburgo en específico, se puede atribuir en parte a un número considerablemente mayor de pasajeros y tráfico de tránsito que fluye hacia y a través del país, según informa de Eurostat (2018). Mientras que el desempeño del Reino Unido y España se debe en gran parte a un menor consumo de combustibles sólidos (principalmente carbón), en el sector energético (European Environment Agency, 2017).

### 5.2.3. RESIDUOS

- **Tabla de decisión**

INDICADORES		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
Generación de desechos excluyendo los principales desechos minerales por peligrosidad	min	1859	1787	3149	2465	878	672	1763	1653	1208	1404	9052	3210
Volumen de residuos en el sector de la construcción	min	2550	4714	1521	186	745	146	1873	256	395	439	511	2984

A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	p
1479	1990	1175	1724	1741	948	1056	2020	952	2568	1931	1182	1546	1158	1100	1911	-9052
3447	44	349	408	850	228	148	10748	2904	5380	447	145	1863	894	53	914	-10748

Tabla 14: Tabla de decisión - Residuos

## • Resultados

PROMETHEE I: RANKING PARCIAL			
	PAIS	$\emptyset^+$	$\emptyset^-$
A1	Alemania	0,049	0,091
A2	Austria	0,037	0,179
A3	Bélgica	0,051	0,118
A4	Bulgaria	0,086	0,049
A5	Chipre	0,113	0,012
A6	Croacia	0,142	0,000
A7	Dinamarca	0,059	0,063
A8	Eslovaquia	0,096	0,015
A9	Eslovenia	0,106	0,007
A10	España	0,098	0,012
A11	Estonia	0,059	0,415
A12	Finlandia	0,033	0,174
A13	Francia	0,052	0,116
A14	Grecia	0,097	0,026
A15	Hungría	0,109	0,006
A16	Irlanda	0,088	0,019
A17	Italia	0,077	0,031
A18	Letonia	0,124	0,002
A19	Lituania	0,122	0,002
A20	Luxemburgo	0,021	0,468
A21	Malta	0,078	0,085
A22	Países Bajos	0,025	0,244
A23	Polonia	0,083	0,028
A24	Portugal	0,116	0,003
A25	Reino Unido	0,066	0,057
A26	República Checa	0,096	0,018
A27	Rumanía	0,124	0,002
A28	Suecia	0,072	0,039

Tabla 15: Ranking Parcial – Residuos

PROMETHEE II: RANKING TOTAL			
	PAIS	$\emptyset$	POSICIÓN
A6	Croacia	0,142	1
A18	Letonia	0,122	2
A27	Rumanía	0,122	3
A19	Lituania	0,120	4
A24	Portugal	0,113	5
A15	Hungría	0,103	6
A5	Chipre	0,101	7
A9	Eslovenia	0,099	8
A10	España	0,086	9
A8	Eslovaquia	0,080	10
A26	República Checa	0,078	11
A14	Grecia	0,071	12
A16	Irlanda	0,069	13
A23	Polonia	0,055	14
A17	Italia	0,047	15
A4	Bulgaria	0,037	16
A28	Suecia	0,034	17
A25	Reino Unido	0,009	18
A7	Dinamarca	-0,004	19
A21	Malta	-0,007	20
A1	Alemania	-0,042	21
A13	Francia	-0,064	22
A3	Bélgica	-0,066	23
A12	Finlandia	-0,140	24
A2	Austria	-0,142	25
A22	Países Bajos	-0,219	26
A11	Estonia	-0,356	27
A20	Luxemburgo	-0,447	28

Tabla 16: Ranking Total – Residuos

Analizando los flujos positivos, Croacia tiene el mayor valor ( $\emptyset^+=0,142$ ), lo que significa que es la alternativa dominante, analizando los flujos negativos, resulta ser este mismo país la alternativa menos débil ( $\emptyset^- =0,000$ ), es decir Croacia es la llamada alternativa óptima o eficiente, porque no es dominada por ningún otro país y además es la menos débil. Entonces, en el ranking total resulta ser el país con mejor desempeño.

Como se puede apreciar en el ranking total, en las primeras posiciones se ubican algunos de los países más pequeños de la UE, como es de esperarse, ya que la generación de residuos está relacionada, en cierta medida, con la población y el volumen de la economía de un país, así como también de las actividades que se llevan a cabo. Por ejemplo, la gran cantidad de residuos generada en Estonia tiene que ver con la producción energética basada en el esquisto bituminoso, lo que hace que este país se ubica en el puesto 27 de 28, por otro lado, la posición N°28 de Luxemburgo se puede atribuir a su volumen de actividades de construcción y demolición (European Commission, 2017).

Hay que tener en cuenta, que en esta categoría se está utilizando el Indicador “Generación de desechos excluyendo los principales desechos minerales por peligrosidad”, que excluye los principales desechos minerales, el despojo de dragado y los suelos contaminados. Los residuos minerales representan grandes cantidades en algunos países, por ejemplo, en Rumania, se caracterizaban por tener un volumen de actividades extractivas relativamente considerable, actividad que genera muchos residuos minerales, entonces al tratarse de un indicador que excluye este tipo de residuos, permite que dicho país se ubique entre los primeros lugares.

Por otro lado, en el indicador “Volumen de residuos en el sector de la construcción”, España es uno de los países que genera menos residuos, esto se puede atribuir a que, debido a la crisis económica en España, el sector de la construcción ha bajado el volumen de sus actividades.

Es importante anotar también que según los reportes de la Comisión Europea (2017) las principales fuentes de residuos son la agricultura, la construcción, las actividades mineras y las zonas urbanas, teniendo en cuenta que los residuos agrarios son los más importantes en términos cuantitativos, mientras que los industriales son los que tienen repercusiones más graves sobre el medio ambiente. Las fuentes de residuos son distintas en cada país, por

ejemplo, los países de Europa Occidental registran el mayor porcentaje de residuos industriales, urbanos y del sector de la construcción, mientras que Europa Central y Oriental la constituyen las actividades extractivas (AEM, 2017).

#### 5.2.4. AGUA

- **Tabla de decisión**

INDICADORES		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
Extracciones anuales de agua dulce	min	6	31	50	26	33	2	11	4	6	34	14	6
Porcentaje de aguas residuales antropogénicas que reciben tratamiento	max	95	87	75	45	12	32	93	56	57	94	74	84

A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	p
15	17	84	2	29	1	4	4	90	97	21	24	6	13	15	2	-97
82	82	55	69	86	72	46	96	53	99	59	62	97	69	14	91	99

Tabla 17: Tabla de decisión – Agua

- **Resultados**

PROMETHEE I: RANKING PARCIAL			
PAIS	$\emptyset^+$	$\emptyset^-$	
A1 Alemania	0,232	0,006	
A2 Austria	0,141	0,091	
A3 Bélgica	0,088	0,201	
A4 Bulgaria	0,060	0,203	
A5 Chipre	0,036	0,386	
A6 Croacia	0,121	0,203	
A7 Dinamarca	0,206	0,018	
A8 Eslovaquia	0,127	0,096	
A9 Eslovenia	0,121	0,095	
A10 España	0,166	0,094	
A11 Estonia	0,133	0,059	
A12 Finlandia	0,188	0,020	
A13 Francia	0,153	0,045	
A14 Grecia	0,152	0,047	
A15 Hungría	0,027	0,427	
A16 Irlanda	0,165	0,050	
A17 Italia	0,142	0,085	
A18 Letonia	0,172	0,042	
A19 Lituania	0,118	0,137	
A20 Luxemburgo	0,243	0,003	
A21 Malta	0,023	0,463	
A22 Países Bajos	0,157	0,396	
A23 Polonia	0,084	0,128	
A24 Portugal	0,085	0,126	
A25 Reino Unido	0,244	0,004	
A26 República Checa	0,125	0,068	
A27 Rumanía	0,068	0,313	
A28 Suecia	0,232	0,006	

Tabla 19: Ranking Parcial - Agua

PROMETHEE II: RANKING TOTAL			
PAIS	$\emptyset$	POSICIÓN	
Luxemburgo	A20	0,240	1
Reino Unido	A25	0,239	2
Suecia	A28	0,227	3
Alemania	A1	0,226	4
Dinamarca	A7	0,188	5
Finlandia	A12	0,168	6
Letonia	A18	0,130	7
Irlanda	A16	0,116	8
Francia	A13	0,108	9
Grecia	A14	0,105	10
Estonia	A11	0,074	11
España	A10	0,073	12
República Checa	A26	0,057	13
Italia	A17	0,056	14
Austria	A2	0,051	15
Eslovaquia	A8	0,031	16
Eslovenia	A9	0,026	17
Lituania	A19	-0,018	18
Portugal	A24	-0,041	19
Polonia	A23	-0,044	20
Croacia	A6	-0,082	21
Bélgica	A3	-0,113	22
Bulgaria	A4	-0,143	23
Países Bajos	A22	-0,239	24
Rumanía	A27	-0,245	25
Chipre	A5	-0,349	26
Hungría	A15	-0,400	27
Malta	A21	-0,440	28

Tabla 18: Ranking Total - Agua

En el ranking parcial, Reino Unido es la alternativa más dominante con un flujo positivo ( $\emptyset^+$ ) de 0,244, seguida de Luxemburgo con  $\emptyset^+=0,243$ , esta última es la alternativa menos débil según su flujo negativo de 0,003, lo que le permite ubicarse en el puesto 1 del ranking total. Como se puede notar, no siempre la alternativa más dominante es necesariamente la que ocupe el puesto 1 en PROMETHEE II. Todo esto porque Luxemburgo y Reino Unido registran valores muy similares en la tabla de decisión, resultando ser Luxemburgo como el país con mejor desempeño con respecto a indicadores relacionados con Agua.

En esta categoría ocurre lo opuesto que, en las categorías antes analizadas, aquí los países con una mejor situación económica, se ubican en los primeros

lugares, ya que, por un lado, la extracción de agua dulce depende en parte en varios factores socioeconómicos, principalmente de la población, la fisiografía y las características climáticas. Por otro lado, al tener una mejor economía cuentan con una mejor gestión de extracción y tratamiento de agua (The World Bank, 2017).

Los países que se ubican en los últimos puestos en el ranking total, su situación se atribuye a que son países que a pesar de que su población tiene acceso a uso de agua dulce, no cuentan con acceso a sistemas de saneamiento adecuado, tratándose en concreto de Rumania, Bulgaria, Lituania.

Es importante mencionar, que en general, los países de la Unión Europea registran un buen desempeño con respecto a extracción de agua dulce y tratamiento de aguas residuales hace más de diez años, en comparación con el resto del mundo, sin embargo, se estima que la extracción de agua dulce aumentó debido al crecimiento poblacional, desarrollo industrial y la expansión de la agricultura de regadío (Eurostat, 2017).

#### **5.2.5. FLORA Y FAUNA**

En esta categoría se desarrollaron dos rankings, debido a que algunos países no cuentan con valores registrados en base a algunos indicadores considerados, aunque en la bibliografía revisada se menciona que PROMETHEE puede trabajar con datos faltantes, se decidió realizar primero un análisis con todos los países y luego otro análisis excluyendo a los países que no registran valores.

## a) TODAS LAS ALTERNATIVAS

- Tabla de decisión

INDICADORES		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
Agotamiento de los recursos naturales	min	0,04	0,08	0,00	0,96	0,03	0,37	0,62	0,02	0,01	0,02	0,13	0,17
Agotamiento neto de bosques	min	0,0036	0	0,0012	0	0	0	0	0	0,0055	0	0	0
Especies de aves, amenazadas	min	11	13	8	17	7	14	9	10	12	19	9	11
Especies de peces, amenazadas	min	24	11	13	22	24	64	18	33	5	80	5	6
Especies de mamíferos, amenazadas	min	5	3	2	8	6	9	2	6	4	17	1	2
Especies de plantas, amenazadas	min	36	17	0	9	21	8	1	7	25	234	0	2

A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	p
0,01	0,07	0,23	0,06	0,08	0,00	0,04	0,02		0,57	0,35	0,07	0,41		0,84	0,13	-0,96
0	0	0	0	0	0	0	0		0	0,0529	0	0		0	0	-0,05
16	17	13	9	17	11	10	3	5	10	11	15	11	9	17	11	-19,00
52	80	9	27	51	6	6	1	22	15	8	64	47	2	22	15	-80,00
9	11	3	5	8	1	2	0	2	3	5	13	5	3	9	1	-17,00
42	66	43	3	86	0	1	0	4	0	11	96	42	26	6	5	-234,00

Tabla 20: Tabla de decisión - Flora y Fauna (a)

- Resultados

### PROMETHEE I: RANKING PARCIAL

PAIS	Ø+	Ø-	
A1	Alemania	0,099	0,069
A2	Austria	0,120	0,042
A3	Bélgica	0,166	0,014
A4	Bulgaria	0,055	0,241
A5	Chipre	0,129	0,049
A6	Croacia	0,048	0,201
A7	Dinamarca	0,121	0,097
A8	Eslovaquia	0,107	0,061
A9	Eslovenia	0,130	0,052
A10	España	0,039	0,457
A11	Estonia	0,167	0,016
A12	Finlandia	0,141	0,029
A13	Francia	0,063	0,167
A14	Grecia	0,043	0,266
A15	Hungría	0,107	0,072
A16	Irlanda	0,118	0,044
A17	Italia	0,051	0,198
A18	Letonia	0,166	0,012
A19	Lituania	0,157	0,011
A20	Luxemburgo	0,245	0,001
A21	Malta	0,179	0,018
A22	Países Bajos	0,113	0,092
A23	Polonia	0,100	0,236
A24	Portugal	0,045	0,258
A25	Reino Unido	0,065	0,146
A26	República Checa	0,161	0,019
A27	Rumanía	0,055	0,228
A28	Suecia	0,137	0,029

Tabla 22: Ranking parcial - Flora y Fauna (a)

### PROMETHEE II: RANKING TOTAL

PAIS	Ø	POSICIÓN	
A20	Luxemburgo	0,245	1
A21	Malta	0,161	2
A18	Letonia	0,154	3
A3	Bélgica	0,152	4
A11	Estonia	0,150	5
A19	Lituania	0,145	6
A26	República Checa	0,141	7
A12	Finlandia	0,111	8
A28	Suecia	0,108	9
A5	Chipre	0,080	10
A9	Eslovenia	0,078	11
A2	Austria	0,078	12
A16	Irlanda	0,074	13
A8	Eslovaquia	0,046	14
A15	Hungría	0,035	15
A1	Alemania	0,030	16
A7	Dinamarca	0,024	17
A22	Países Bajos	0,021	18
A25	Reino Unido	-0,081	19
A13	Francia	-0,104	20
A23	Polonia	-0,135	21
A17	Italia	-0,147	22
A6	Croacia	-0,153	23
A27	Rumanía	-0,173	24
A4	Bulgaria	-0,186	25
A24	Portugal	-0,213	26
A14	Grecia	-0,224	27
A10	España	-0,418	28

Tabla 21: Ranking total - Flora y Fauna (a)

Es importante recalcar que en el indicador “Especies de plantas, amenazadas”, algunos países tienen valor cero (0) esto es porque en la base de datos se registra dicho valor cuando el crecimiento excede la cosecha.

Luxemburgo es el país con el valor más alto de flujo positivo  $\emptyset^+ = 0,245$ , además es el de menor flujo negativo ( $\emptyset^- = 0,001$ ), por lo tanto, se sitúa en el primer lugar del ranking total ( $\emptyset = 0,245$ ), lo que significa que es el país con mejor desempeño bajo el presente criterio. Por el contrario, España se ubica en el último lugar, ya que tiene el menor flujo positivo  $\emptyset^+ = 0,039$  y el mayor flujo negativo  $\emptyset^- = 0,457$  es decir es la menos dominante y la más débil de las alternativas. En esta categoría es notable la diferencia que hay entre el primer y segundo puesto del ranking global, es decir entre Luxemburgo y Malta.

A pesar de que España es el país con mayor riqueza biológica de Europa gracias a su ubicación geográfica y factores climáticos, sufre una fuerte pérdida de biodiversidad, es el país con mayor número de especies amenazadas, lo que hace que se ubique en la última posición este ranking. Las razones principales se le atribuyen a la falta de planificación en el desarrollo; construcciones de urbanizaciones, obras públicas, puertos, etc., en lugares sensibles, como por ejemplo marismas o costas, otro de las razones es el abandono de actividades de sectores agrarios y ganaderos tradicionales.

La huella de biodiversidad de los países de altos ingresos, se refleja en los países con ingresos per cápita más bajos, debido a la demanda de productos que se fabrican o producen en estos países (Lenzen et al., 2012b).

Un factor importante que influye en los países que se han ubicado en las últimas posiciones del ranking total, es el comercio ilegal de especies, la presión del turismo poco respetuoso con la naturaleza, el uso de pesticidas y la contaminación, ya que contribuyen a poner en riesgo de desaparición a bastantes especies (European Commission, 2017).

Según la Agencia Europea de Medio Ambiente, la transformación de tierras para el desarrollo de infraestructuras se realiza a expensas de las zonas agrícolas y, en menor medida, de los bosques y las zonas seminaturales y naturales. Esto afecta a la biodiversidad, ya que disminuye los hábitats, interrumpiendo la reproducción de especies y disminuyendo fuentes alimenticias, así como también fragmenta los paisajes que los sostienen y conectan. La pérdida de hábitat, que afecta a más de 2.000 especies de mamíferos, es la mayor amenaza a nivel mundial (European Soil Data Centre, 2017).

## b) EXCLUYENDO A MALTA Y REPÚBLICA CHECA

- **Tabla de decisión**

INDICADORES		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
Agotamiento de los recursos naturales	min	0,04	0,08	0,00	0,96	0,03	0,37	0,62	0,02	0,01	0,02
Agotamiento neto de bosques	min	0,0036	0	0,0012	0	0	0	0	0	0,0055	0
Especies de aves, amenazadas	min	11	13	8	17	7	14	9	10	12	19
Especies de peces, amenazadas	min	24	11	13	22	24	64	18	33	5	80
Especies de mamíferos, amenazadas	min	5	3	2	8	6	9	2	6	4	17
Especies de plantas, amenazadas	min	36	17	0	9	21	8	1	7	25	234

A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A22	A23	A24	A25	A27	A28	p
0,13	0,17	0,01	0,07	0,23	0,06	0,08	0,00	0,04	0,02	0,57	0,35	0,07	0,41	0,84	0,13	-0,96
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0529	0	0	0	0	-0,05
9	11	16	17	13	9	17	11	10	3	10	11	15	11	17	11	-19,00
5	6	52	80	9	27	51	6	6	1	15	8	64	47	22	15	-80,00
1	2	9	11	3	5	8	1	2	0	3	5	13	5	9	1	-17,00
0	2	42	66	43	3	86	0	1	0	0	11	96	42	6	5	-234,00

Tabla 23: Tabla de decisión - Flora y fauna (b)

- **Resultados**

<b>PROMETHEE I: RANKING PARCIAL</b>			
	<b>PAIS</b>	<b>Ø+</b>	<b>Ø-</b>
A1	Alemania	0,107	0,066
A2	Austria	0,128	0,038
A3	Bélgica	0,176	0,012
A4	Bulgaria	0,059	0,234
A5	Chipre	0,138	0,047
A6	Croacia	0,052	0,193
A7	Dinamarca	0,129	0,093
A8	Eslovaquia	0,115	0,057
A9	Eslovenia	0,139	0,049
A10	España	0,042	0,449
A11	Estonia	0,177	0,014
A12	Finlandia	0,149	0,026
A13	Francia	0,068	0,160
A14	Grecia	0,046	0,259
A15	Hungría	0,115	0,068
A16	Irlanda	0,127	0,041
A17	Italia	0,055	0,191
A18	Letonia	0,176	0,009
A19	Lituania	0,167	0,009
A20	Luxemburgo	0,258	0,000
A22	Países Bajos	0,120	0,088
A23	Polonia	0,107	0,231
A24	Portugal	0,049	0,251
A25	Reino Unido	0,071	0,140
A27	Rumanía	0,059	0,221
A28	Suecia	0,146	0,026

Tabla 24: Ranking parcial - Flora y Fauna (b)

<b>PROMETHEE II: RANKING TOTAL</b>			
	<b>PAIS</b>	<b>Ø</b>	<b>POSICIÓN</b>
A20	Luxemburgo	0,257	1
A18	Letonia	0,166	2
A3	Bélgica	0,164	3
A11	Estonia	0,162	4
A19	Lituania	0,158	5
A12	Finlandia	0,123	6
A28	Suecia	0,120	7
A5	Chipre	0,091	8
A9	Eslovenia	0,090	9
A2	Austria	0,090	10
A16	Irlanda	0,086	11
A8	Eslovaquia	0,057	12
A15	Hungría	0,047	13
A1	Alemania	0,042	14
A7	Dinamarca	0,036	15
A22	Países Bajos	0,032	16
A25	Reino Unido	-0,069	17
A13	Francia	-0,093	18
A23	Polonia	-0,124	19
A17	Italia	-0,136	20
A6	Croacia	-0,142	21
A27	Rumanía	-0,162	22
A4	Bulgaria	-0,175	23
A24	Portugal	-0,202	24
A14	Grecia	-0,213	25
A10	España	-0,407	26

Tabla 25: Ranking Total - Flor y fauna (b)

Al eliminar los países que no registran valores para el indicador “Agotamiento de los recursos naturales” y “Agotamiento neto de bosques”, la ordenación de países se mantiene, es decir la posición N° 2 que en el análisis anterior era ocupada por Malta, ahora sube Letonia a ocupar su lugar, y la posición de República Checa es ocupada por Suecia, ya que al eliminarse los dos países (Malta y República Checa) Suecia sube dos posiciones. Por lo que, Luxemburgo se mantiene como el país con mejor desempeño en esta categoría.

## 5.2.6. IGUALDAD DE GÉNERO

El indicador “Brecha salarial de género no ajustada”, al calcularse como la diferencia entre las ganancias brutas promedio por hora de los empleados asalariados y las empleadas remuneradas como porcentaje de las ganancias

brutas promedio por hora de los empleados remunerados masculinos, se da el caso que en algunos países (Chipre y Luxemburgo) esta brecha es negativa, lo que significa que la proporción de ganancias de las mujeres es mayor que la de los hombres, por lo que se trabajará con el valor absoluto de sus datos, ya que al ser una brecha en donde lo que se busca es la igualdad, entonces este indicador debe ser el mínimo posible, independientemente si de que si son los hombres los que ganan más o las mujeres, ya que mientras la brecha se acerque a cero representa que existe mayor igualdad de género.

Además, en el mismo indicador sucede que no se registran valores para Estonia y Malta, por lo que se llevan a cabo dos rankings, el primero trabajando con todos los países y el segundo ranking excluyendo a Estonia y Malta.

#### a) TODOS LAS ALTERNATIVAS

En la siguiente tabla se presenta los valores originales obtenidos de la base de datos, y luego se presenta los valores en positivo con los que se trabajó.

- **Tabla de decisión**

INDICADORES		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12		
Brecha de empleo de género	min	8,48	8,05	9,03	7,00	8,80	9,93	7,03	14,08	7,60	11,20	7,78	2,70		
Brecha salarial de género no ajustada	min	13,40	20,10	0,27	21,60	-6,03	13,80	11,87	13,00	11,70	13,10		18,33		
A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28
7,53	18,75	14,08	12,08	19,83	3,98	1,95	10,88	19,50	11,00	14,20	7,03	10,95	16,48	17,23	4,15
20,10	13,00	12,10	9,60	3,67	18,83	13,93	-0,40		13,10	3,37	13,53	24,23	20,67	11,47	11,20

Tabla 26: Tabla de decisión - Igualdad de género (valores originales) (a)

INDICADORES		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12			
Brecha de empleo de género	min	8,48	8,05	9,03	7,00	8,80	9,93	7,03	14,08	7,60	11,20	7,78	2,70			
Brecha salarial de género no ajustada	min	13,40	20,10	0,27	21,60	6,03	13,80	11,87	13,00	11,70	13,10		18,33			
A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	p
7,53	18,75	14,08	12,08	19,83	3,98	1,95	10,88	19,50	11,00	14,20	7,03	10,95	16,48	17,23	4,15	-19,83
20,10	13,00	12,10	9,60	3,67	18,83	13,93	0,40		13,10	3,37	13,53	24,23	20,67	11,47	11,20	-24,23

Tabla 27: Tabla de decisión – Igualdad de género (Valores absolutos) (a)

- **Resultados**

PROMETHEE I: RANKING PARCIAL			
	PAIS	$\emptyset+$	$\emptyset-$
A1	Alemania	0,116	0,098
A2	Austria	0,088	0,203
A3	Bélgica	0,318	0,033
A4	Bulgaria	0,105	0,224
A5	Chipre	0,219	0,052
A6	Croacia	0,093	0,122
A7	Dinamarca	0,158	0,070
A8	Eslovaquia	0,063	0,183
A9	Eslovenia	0,149	0,072
A10	España	0,084	0,131
A11	Estonia	0,342	0,020
A12	Finlandia	0,214	0,151
A13	Francia	0,098	0,198
A14	Grecia	0,044	0,287
A15	Hungría	0,073	0,174
A16	Irlanda	0,125	0,120
A17	Italia	0,186	0,257
A18	Letonia	0,181	0,162
A19	Lituania	0,256	0,080
A20	Luxemburgo	0,292	0,059
A21	Malta	0,254	0,238
A22	Países Bajos	0,086	0,128
A23	Polonia	0,211	0,129
A24	Portugal	0,141	0,088
A25	Reino Unido	0,045	0,324
A26	República Checa	0,012	0,359
A27	Rumanía	0,067	0,237
A28	Suecia	0,232	0,054

Tabla 28: Ranking parcial - Igualdad de género (a)

PROMETHEE II: RANKING TOTAL			
	PAIS	$\emptyset$	POSICIÓN
A11	Estonia	0,323	1
A3	Bélgica	0,284	2
A20	Luxemburgo	0,233	3
A28	Suecia	0,178	4
A19	Lituania	0,177	5
A5	Chipre	0,167	6
A7	Dinamarca	0,088	7
A23	Polonia	0,083	8
A9	Eslovenia	0,077	9
A12	Finlandia	0,063	10
A24	Portugal	0,053	11
A18	Letonia	0,019	12
A1	Alemania	0,018	13
A21	Malta	0,016	14
A16	Irlanda	0,005	15
A6	Croacia	-0,029	16
A22	Países Bajos	-0,042	17
A10	España	-0,047	18
A17	Italia	-0,071	19
A13	Francia	-0,101	20
A15	Hungría	-0,101	21
A2	Austria	-0,115	22
A4	Bulgaria	-0,119	23
A8	Eslovaquia	-0,120	24
A27	Rumanía	-0,170	25
A14	Grecia	-0,243	26
A25	Reino Unido	-0,279	27
A26	República Checa	-0,347	28

Tabla 29: Ranking total - Igualdad de género (a)

En el ranking parcial, Estonia presenta el mayor flujo positivo  $\emptyset+=0,342$ , y lo sigue Bélgica con un  $\emptyset+=0,318$ , esto significa que estas alternativas son las más dominantes en todos los criterios, pero también son las menos débiles al tener el menor flujo negativo; Estonia  $\emptyset- =0,020$  y Bélgica  $\emptyset- =0,318$ . Por lo tanto, se sitúan en los primeros lugares en el ranking total, resultando Estonia con el mejor desempeño en Igualdad de Género.

Estonia es el país con mayor igualdad de Género, ubicándose por encima de Bélgica, Luxemburgo, Suecia y Lituania. Mientras que, los países que peor desempeño tienen en esta categoría son Grecia, Rumanía, Reino Unido y República Checa. Con respecto a España, está en el rango intermedio. Según los reportes estadísticos de Eurostat, los indicadores seleccionados para esta

categoría registran que la igualdad de género ha aumentado en el mercado laboral desde el 2011, en la Unión Europea.

## b) EXCLUYENDO A ESTONIA Y MALTA

### • Tabla de decisión

INDICADORES		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A12
Brecha de empleo de género	min	8,48	8,05	9,03	7,00	8,80	9,93	7,03	14,08	7,60	11,20	2,70
Brecha salarial de género no ajustada	min	13,40	20,10	0,27	21,60	6,03	13,80	11,87	13,00	11,70	13,10	18,33

A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	p
7,53	18,75	14,08	12,08	19,83	3,98	1,95	10,88	11,00	14,20	7,03	10,95	16,48	17,23	4,15	-19,83
20,10	13,00	12,10	9,60	3,67	18,83	13,93	0,40	13,10	3,37	13,53	24,23	20,67	11,47	11,20	-24,23

Tabla 30: Tabla de decisión - Igualdad de género (b)

### • Resultados

PROMETHEE I: RANKING PARCIAL			
	PAIS	Ø+	Ø-
A1	Alemania	0,114	0,083
A2	Austria	0,084	0,186
A3	Bélgica	0,332	0,034
A4	Bulgaria	0,100	0,207
A5	Chipre	0,225	0,045
A6	Croacia	0,091	0,107
A7	Dinamarca	0,158	0,056
A8	Eslovaquia	0,062	0,170
A9	Eslovenia	0,149	0,059
A10	España	0,082	0,117
A12	Finlandia	0,209	0,133
A13	Francia	0,093	0,181
A14	Grecia	0,047	0,277
A15	Hungría	0,073	0,162
A16	Irlanda	0,127	0,109
A17	Italia	0,201	0,259
A18	Letonia	0,176	0,143
A19	Lituania	0,253	0,063
A20	Luxemburgo	0,306	0,060
A22	Países Bajos	0,084	0,113
A23	Polonia	0,223	0,127
A24	Portugal	0,139	0,073
A25	Reino Unido	0,040	0,306
A26	República Checa	0,010	0,345
A27	Rumanía	0,070	0,227
A28	Suecia	0,231	0,040

Tabla 32: Ranking parcial - Igualdad de género (b)

PROMETHEE II: RANKING TOTAL			
	PAIS	Ø	POSICIÓN
A3	Bélgica	0,298	1
A20	Luxemburgo	0,247	2
A28	Suecia	0,191	3
A19	Lituania	0,190	4
A5	Chipre	0,180	5
A7	Dinamarca	0,102	6
A23	Polonia	0,096	7
A9	Eslovenia	0,090	8
A12	Finlandia	0,076	9
A24	Portugal	0,066	10
A18	Letonia	0,032	11
A1	Alemania	0,031	12
A16	Irlanda	0,018	13
A6	Croacia	-0,016	14
A22	Países Bajos	-0,029	15
A10	España	-0,034	16
A17	Italia	-0,058	17
A13	Francia	-0,088	18
A15	Hungría	-0,088	19
A2	Austria	-0,102	20
A4	Bulgaria	-0,106	21
A8	Eslovaquia	-0,108	22
A27	Rumanía	-0,157	23
A14	Grecia	-0,230	24
A25	Reino Unido	-0,267	25
A26	República Checa	-0,335	26

Tabla 31: Ranking Total - Igualdad de género (b)

Al eliminar Estonia y Malta, los valores de los flujos cambian, pero la ordenación en los rankings se mantiene, por lo que en este caso Bélgica se convierte en el país con mejor desempeño en esta categoría, en ausencia de Estonia.

## 5.2.7. EMPLEO

En esta categoría también se realizaron dos rankings, porque el indicador “Tasa de desempleo por nacidos en el extranjero” no tiene valores registrados para los países; Bulgaria, Dinamarca, Eslovaquia, Irlanda, Lituania, Países Bajos y Rumania. Por lo que primero se aplicó PROMETHEE para todos los países y luego se excluyó dichos países.

### a) TODAS LAS ALTERNATIVAS

- **Tabla de decisión**

INDICADORES		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
Desempleo, total	min	4,57	5,77	8,27	9,37	14,67	15,53	6,33	11,47	8,90	22,03	6,80	8,97
Empleo vulnerable, total	min	6	8	11	8	13	10	5	12	12	12	6	10
Desempleo, total de jóvenes	min	7	11	21	19	29	36	12	24	16	46	14	21
Tasa de desempleo a largo plazo	min	2	2	4	5	6	8	2	7	4	10	2	2
Tasa de desempleo por nacidos en el extranjero	min	9	11	17		13	22			11	33	8	16

A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	p
10,27	24,97	6,53	9,53	12,10	10,10	9,23	6,27	5,30	6,77	7,57	12,47	5,40	5,03	6,50	7,43	-25
8	28	6	12	18	8	10	6	9	13	17	14	13	14	27	7	-28
24	48	15	19	40	18	16	19	11	11	19	29	14	12	21	20	-48
4	18	3	5	7	4	4	2	2	3	3	7	2	2	3	1	-18
15	35	5		16	9		7	9		13	17	7	7		15	-35

Tabla 33: Tabla de decisión - Empleo (a)

- **Resultados**

PROMETHEE I: RANKING PARCIAL				PROMETHEE II: RANKING TOTAL			
	PAIS	$\emptyset^+$	$\emptyset^-$		PAIS	$\emptyset$	POSICIÓN
A1	Alemania	0,199	0,015	A7	Dinamarca	0,210	1
A2	Austria	0,156	0,029	A1	Alemania	0,184	2
A3	Bélgica	0,077	0,095	A15	Hungría	0,144	3
A4	Bulgaria	0,136	0,049	A22	Países Bajos	0,142	4
A5	Chipre	0,046	0,172	A11	Estonia	0,135	5
A6	Croacia	0,039	0,252	A21	Malta	0,129	6
A7	Dinamarca	0,212	0,003	A2	Austria	0,127	7
A8	Eslovaquia	0,104	0,106	A20	Luxemburgo	0,127	8
A9	Eslovenia	0,088	0,072	A25	Reino Unido	0,108	9
A10	España	0,017	0,441	A26	República Checa	0,108	10
A11	Estonia	0,157	0,022	A19	Lituania	0,108	11
A12	Finlandia	0,091	0,076	A4	Bulgaria	0,088	12
A13	Francia	0,083	0,097	A28	Suecia	0,072	13
A14	Grecia	0,000	0,666	A16	Irlanda	0,061	14
A15	Hungría	0,163	0,019	A18	Letonia	0,050	15
A16	Irlanda	0,122	0,061	A9	Eslovenia	0,016	16
A17	Italia	0,032	0,239	A12	Finlandia	0,016	17
A18	Letonia	0,106	0,056	A8	Eslovaquia	-0,002	18
A19	Lituania	0,144	0,036	A23	Polonia	-0,008	19
A20	Luxemburgo	0,151	0,024	A27	Rumanía	-0,011	20
A21	Malta	0,155	0,025	A13	Francia	-0,014	21
A22	Países Bajos	0,168	0,027	A3	Bélgica	-0,018	22
A23	Polonia	0,087	0,094	A5	Chipre	-0,126	23
A24	Portugal	0,042	0,179	A24	Portugal	-0,137	24
A25	Reino Unido	0,144	0,036	A17	Italia	-0,207	25
A26	República Checa	0,149	0,041	A6	Croacia	-0,212	26
A27	Rumanía	0,130	0,141	A10	España	-0,424	27
A28	Suecia	0,127	0,054	A14	Grecia	-0,666	28

Tabla 35: Ranking parcial - Empleo (a)

Tabla 34: Ranking total - Empleo (a)

Dinamarca es la alternativa más dominante ( $\emptyset^+=0,212$ ), es decir tiene mayor preferencia en todos los criterios en comparación con todas las demás alternativas, la sigue Alemania con  $\emptyset^+= 0,199$ . Así mismo, al analizar su debilidad, resulta ser Dinamarca la menos débil ( $\emptyset^- =0,003$ ) y después Alemania ( $\emptyset^- =0,015$ ).

En el ranking total, Dinamarca, Alemania y Hungría presentan la mejor situación con respecto a indicadores de empleo, siendo Dinamarca el país con mejor desempeño. Mientras que, Grecia es el país con peor situación en esta categoría, seguido por España, que se ubica en la posición N° 27, obviamente

estos países registran los peores valores en la mayoría de indicadores, en comparación con los demás países.

Si bien todos los países de la Unión Europea, sufren un problema en común con respecto al empleo, las características y la escala son variadas entre un país y otro, e incluso en el interior de cada país. En el caso de los países peor posicionados, se considera que es debido a que su sistema económico no produce suficientes puestos de trabajo, además la situación con respecto al desempleo fue fuertemente influenciada por la crisis económica.

Según el banco Mundial (2018), las malas situaciones con respecto a temas de desempleo, paradójicamente, a veces los países con un alto nivel de desarrollo económico pueden presentar tasas altas de desempleo. Además, menciona que en los países sin prestaciones de desempleo o asistencia social, las personas se ganan la vida en empleos vulnerables. Pero el desempleo alto y sostenido indica serias ineficiencias en la asignación de recursos.

El desempleo juvenil es un tema de política importante para muchas economías, la incertidumbre y desilusión que enfrentan los jóvenes al intentar entrar al mercado laboral, tienen efectos sobre los individuos, las economías y la sociedad en general. Sin embargo, hay que tener en cuenta que muchos jóvenes, en sus primeros 20 años, estudian a tiempo completo y, por lo tanto, no están trabajando ni buscando trabajo (European Comission, 2018).

**b) EXCLUYENDO A BULGARIA, DINAMARCA, ESLOVAQUIA, IRLANDA, LITUANIA, PAÍSES BAJOS Y RUMANIA**

- **Tabla de decisión**

INDICADORES		A1	A2	A3	A5	A6	A9	A10	A11	A12
Desempleo, total	min	4,57	5,77	8,27	14,67	15,53	8,90	22,03	6,80	8,97
Empleo vulnerable, total	min	6	8	11	13	10	12	12	6	10
Desempleo, total de jóvenes	min	7	11	21	29	36	16	46	14	21
Tasa de desempleo a largo plazo	min	2	2	4	6	8	4	10	2	2
Tasa de desempleo por nacidos en el extranjero	min	9	11	17	13	22	11	33	8	16

A13	A14	A15	A17	A18	A20	A21	A23	A24	A25	A26	A28	p
10,27	24,97	6,53	12,10	10,10	6,27	5,30	7,57	12,47	5,40	5,03	7,43	-25
8	28	6	18	8	6	9	17	14	13	14	7	-28
24	48	15	40	18	19	11	19	29	14	12	20	-48
4	18	3	7	4	2	2	3	7	2	2	1	-18
15	35	5	16	9	7	9	13	17	7	7	15	-35

Tabla 36: Tabla de decisión - Empleo (b)

- **Resultados**

PROMETHEE I: RANKING PARCIAL			
PAIS	$\emptyset+$	$\emptyset-$	
A1 Alemania	0,218	0,003	
A2 Austria	0,173	0,015	
A3 Bélgica	0,090	0,080	
A5 Chipre	0,057	0,155	
A6 Croacia	0,044	0,230	
A9 Eslovenia	0,105	0,060	
A10 España	0,017	0,417	
A11 Estonia	0,177	0,011	
A12 Finlandia	0,105	0,060	
A13 Francia	0,095	0,081	
A14 Grecia	0,000	0,645	
A15 Hungría	0,186	0,012	
A17 Italia	0,040	0,221	
A18 Letonia	0,125	0,046	
A20 Luxemburgo	0,171	0,014	
A21 Malta	0,173	0,014	
A23 Polonia	0,103	0,082	
A24 Portugal	0,051	0,161	
A25 Reino Unido	0,165	0,027	
A26 República Checa	0,170	0,032	
A28 Suecia	0,140	0,038	

Tabla 38: Ranking parcial - Empleo (b)

PROMETHEE II: RANKING TOTAL			
PAIS	$\emptyset$	POSICIÓN	
A1 Alemania	0,215	1	
A15 Hungría	0,174	2	
A11 Estonia	0,165	3	
A21 Malta	0,160	4	
A2 Austria	0,158	5	
A20 Luxemburgo	0,157	6	
A25 Reino Unido	0,138	7	
A26 República Checa	0,138	8	
A28 Suecia	0,102	9	
A18 Letonia	0,079	10	
A9 Eslovenia	0,045	11	
A12 Finlandia	0,045	12	
A23 Polonia	0,021	13	
A13 Francia	0,014	14	
A3 Bélgica	0,011	15	
A5 Chipre	-0,099	16	
A24 Portugal	-0,110	17	
A17 Italia	-0,181	18	
A6 Croacia	-0,186	19	
A10 España	-0,401	20	
A14 Grecia	-0,645	21	

Tabla 37: Ranking total - Empleo (b)

Como se puede observar en la tabla del ranking total, la ordenación de países de mantiene, simplemente al eliminar los países en cuestión, los demás suben de lugar. Por lo que Alemania y Hungría siguen ocupando los primeros lugares, y España y Grecia los últimos.

## 5.2.8. SEGURIDAD Y SALUD

### • Tabla de decisión

INDICADORES		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12			
Accidentes fatales en la construcción	min	4,08	3,83	4,68	12,44	7,82	7,18	3,04	6,10	12,54	9,48	7,09	3,60			
Accidentes no mortales en la construcción	min	4927	3323	3044	138	899	1084	3867	294	2520	6060	1491	3965			
A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	p
9,35	8,08	10,07	6,76	8,07	5,40	14,65	4,94	13,46	1,61	5,39	16,45	2,24	9,76	16,18	2,45	-16
6112	353	362	1289	2161	229	424	5775	3695	2161	499	7137	1128	918	116	1281	-7137

Tabla 39: Tabla de decisión - Seguridad y Salud

### • Resultados

#### PROMETHEE I: RANKING PARCIAL

PAIS	Ø+	Ø-
A1 Alemania	0,138	0,211
A2 Austria	0,169	0,118
A3 Bélgica	0,155	0,111
A4 Bulgaria	0,172	0,161
A5 Chipre	0,169	0,068
A6 Croacia	0,170	0,061
A7 Dinamarca	0,179	0,143
A8 Eslovaquia	0,230	0,030
A9 Eslovenia	0,071	0,236
A10 España	0,036	0,362
A11 Estonia	0,155	0,074
A12 Finlandia	0,163	0,151
A13 Francia	0,037	0,363
A14 Grecia	0,194	0,061
A15 Hungría	0,173	0,104
A16 Irlanda	0,168	0,061
A17 Italia	0,118	0,116
A18 Letonia	0,247	0,021
A19 Lituania	0,145	0,224
A20 Luxemburgo	0,109	0,271
A21 Malta	0,039	0,318
A22 Países Bajos	0,262	0,057
A23 Polonia	0,232	0,024
A24 Portugal	0,000	0,624
A25 Reino Unido	0,280	0,019
A26 República Checa	0,146	0,107
A27 Rumanía	0,161	0,266
A28 Suecia	0,267	0,024

Tabla 41: Ranking parcial - Seguridad y Salud

#### PROMETHEE II: RANKING TOTAL

PAIS	Ø	POSICIÓN
A25 Reino Unido	0,261	1
A28 Suecia	0,243	2
A18 Letonia	0,226	3
A23 Polonia	0,207	4
A22 Países Bajos	0,206	5
A8 Eslovaquia	0,200	6
A14 Grecia	0,133	7
A6 Croacia	0,108	8
A16 Irlanda	0,107	9
A5 Chipre	0,101	10
A11 Estonia	0,081	11
A15 Hungría	0,070	12
A2 Austria	0,051	13
A3 Bélgica	0,045	14
A26 República Checa	0,039	15
A7 Dinamarca	0,037	16
A12 Finlandia	0,012	17
A4 Bulgaria	0,011	18
A17 Italia	0,002	19
A1 Alemania	-0,073	20
A19 Lituania	-0,079	21
A27 Rumanía	-0,105	22
A20 Luxemburgo	-0,162	23
A9 Eslovenia	-0,165	24
A21 Malta	-0,279	25
A13 Francia	-0,325	26
A10 España	-0,326	27
A24 Portugal	-0,624	28

Tabla 40: Ranking total - Seguridad y Salud

En el ranking parcial, Reino Unido es el país con mejor desempeño en los dos indicadores con un  $\emptyset^+=0,280$ , seguido de Suecia con  $\emptyset^+=0,267$ , observando el flujo negativo, Reino Unido sigue en primer lugar al tener el valor más bajo  $\emptyset^- =0,019$ , es decir es el menos débil. Pero aquí Suecia ( $\emptyset^+=0,024$ ) es superado por Letonia ( $\emptyset^- =0,021$ ), sin embargo, en el ranking total, el primer lugar lo ocupa Reino Unido, por lo que es el país con mejor desempeño en Seguridad y Salud, luego está Suecia, ya que es más dominante que Letonia. Por otro lado, los países con peor desempeño en el área de Seguridad y Salud son España (N° 27) y Portugal (N° 28).

Está claro que los países con mayor siniestralidad son aquellos en donde las empresas han priorizado otros aspectos, y la seguridad y salud ha pasado segundo plano, esto especialmente después de la crisis global. Esto influye porque incluso los trabajadores al sentirse presionados por la incertidumbre laboral o miedo por perder sus empleos, asumen o permiten condiciones de trabajo no adecuadas. Además, el resultado de esta categoría se asocia al tipo de actividad que la mayoría de la población desempeña, entonces de manera general, en los países donde hay menor número de accidentes (mortales o no mortales) es porque la mayoría de la población trabaja en el área de servicios (European Commission, 2017). La construcción es una de las actividades más peligrosas en la Unión Europea, conjuntamente con la agricultura, la silvicultura y la pesca, la manufactura, el transporte y el almacenamiento (Eurostat, 2018).

## 5.2.9. DESARROLLO TECNOLOGICO

- **Tabla de decisión**

INDICADORES		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
Gastos en investigación y desarrollo	max	2,88	3,07	2,46	0,88	0,47	0,82	2,99	2,30	1,03	1,23	1,47	3,04
Investigadores en I + D	max	4397	4919	4526	1911	1031	1469	7408	3985	2687	2649	3237	6901
Solicitudes de patente ante la Oficina Europea de Patentes	max	257	231	138	7	9	3	245	9	66	33	18	342

A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	p
2,24	0,90	1,37	1,51	1,36	0,66	1,04	1,29	0,76	2,01	0,97	1,28	1,69	1,96	0,44	3,20	3,20
4169	2959	2610	4504	1997	1859	2967	4891	1917	4534	2087	3746	4385	3515	908	6945	7408
139	11	23	72	70	42	17	111	13	206	16	12	84	26	5	350	350

Tabla 42: Tabla de decisión - Desarrollo Tecnológico

## • Resultados

### PROMETHEE I: RANKING PARCIAL

PAIS	$\phi^+$	$\phi^-$
A1 Alemania	0,365	0,025
A2 Austria	0,379	0,021
A3 Bélgica	0,236	0,054
A4 Bulgaria	0,009	0,248
A5 Chipre	0,001	0,323
A6 Croacia	0,005	0,274
A7 Dinamarca	0,490	0,009
A8 Eslovaquia	0,132	0,119
A9 Eslovenia	0,049	0,178
A10 España	0,039	0,181
A11 Estonia	0,057	0,159
A12 Finlandia	0,560	0,002
A13 Francia	0,207	0,064
A14 Grecia	0,025	0,209
A15 Hungría	0,041	0,179
A16 Irlanda	0,121	0,106
A17 Italia	0,056	0,177
A18 Letonia	0,019	0,249
A19 Lituania	0,031	0,194
A20 Luxemburgo	0,149	0,102
A21 Malta	0,008	0,254
A22 Países Bajos	0,253	0,051
A23 Polonia	0,015	0,227
A24 Portugal	0,057	0,162
A25 Reino Unido	0,136	0,096
A26 República Checa	0,100	0,128
A27 Rumanía	0,000	0,335
A28 Suecia	0,586	0,001

Tabla 44: Ranking parcial - Desarrollo Tecnológico

### PROMETHEE II: RANKING TOTAL

PAIS	$\phi$	POSICIÓN
A28 Suecia	0,586	1
A12 Finlandia	0,558	2
A7 Dinamarca	0,481	3
A2 Austria	0,358	4
A1 Alemania	0,340	5
A22 Países Bajos	0,202	6
A3 Bélgica	0,183	7
A13 Francia	0,143	8
A20 Luxemburgo	0,047	9
A25 Reino Unido	0,040	10
A16 Irlanda	0,015	11
A8 Eslovaquia	0,014	12
A26 República Checa	-0,029	13
A11 Estonia	-0,102	14
A24 Portugal	-0,104	15
A17 Italia	-0,122	16
A9 Eslovenia	-0,129	17
A15 Hungría	-0,138	18
A10 España	-0,142	19
A19 Lituania	-0,163	20
A14 Grecia	-0,184	21
A23 Polonia	-0,212	22
A18 Letonia	-0,230	23
A4 Bulgaria	-0,240	24
A21 Malta	-0,246	25
A6 Croacia	-0,269	26
A5 Chipre	-0,322	27
A27 Rumanía	-0,335	28

Tabla 43: Ranking total - Desarrollo Tecnológico

Suecia es la alternativa más dominante con un flujo positivo de 0,586, seguida de Finlandia con un flujo positivo 0,560, además estos países tienen los valores más bajos en el flujo negativo, mantienen el mismo orden, Suecia  $\phi^- = 0,001$  y Finlandia  $\phi^- = 0,002$ , por lo que se posicionan en los primeros lugares del

ranking total, siendo entonces Suecia el de mejor desempeño en esta categoría.

Resulta que la tendencia del mejor desempeño en esta categoría es para los países del norte de Europa, como Suecia (N° 1), Finlandia (N° 2), Dinamarca (N°3). Mientras que los países peor posicionados resultan ser aquellos que se caracterizan por tener un PIB bajo con respecto al resto de la Unión Europea, como Rumania (N° 28), Chipre (N°27), Malta (N°25). Mientras que España se sitúa en el puesto 19, por lo que se lo considera como un país moderadamente innovador.

En general, el desempeño de los países en Desarrollo Tecnológico guarda relación con el desempeño en la categoría Empleo, es decir, países con un buen desempeño tecnológico, tienen menor cantidad de desempleados, ya que, al invertir e incentivar la Investigación, Desarrollo e Innovación, se introducen nuevas ideas en el mercado promoviendo la creación de empleos (European Commission, 2018). Como es el caso de Dinamarca, Alemania, Países Bajos, Reino Unido, incluso Luxemburgo y Suecia., que también ocupan los primeros lugares en la categoría empleo. Según los informes anuales de Comisión Europea, la Unión Europea ha progresado en Desarrollo Tecnológico en los últimos años, aunque algunos países lo han hecho muy lentamente e incluso algunas áreas permanecieron estancadas. En general, uno de los principales factores para mejorar el desempeño en Investigación, Desarrollo e Innovación, es la implantación de un sistema de I + D + I equilibrado que combine un nivel adecuado de inversiones públicas y privadas, asociaciones de innovación eficaces entre empresas y entidades docentes, así como una sólida base educativa e investigación de excelente calidad.

#### **5.2.10. IGUALDAD SOCIAL**

En esta categoría se utiliza solo un indicador; Índice de Gini, que registra valores de 0 a 100 en la base de datos. Tener en cuenta que, en esta categoría

al tratarse solo de un indicador, no se aplica PROMETHEE y se ordena los países de menor valor a mayor valor, ya que el mayor valor representa mayor igualdad.

PAIS	Ø	POSICIÓN
A26 República Checa	25,87	1
A8 Eslovaquia	26,06	2
A28 Suecia	26,16	3
A7 Dinamarca	26,99	4
A12 Finlandia	27,00	5
A27 Rumanía	27,44	6
A21 Malta	28,10	7
A9 Eslovenia	28,37	8
A1 Alemania	29,22	9
A22 Países Bajos	29,44	10
A2 Austria	29,81	11
A3 Bélgica	30,28	12
A15 Hungría	30,87	13
A13 Francia	31,85	14
A4 Bulgaria	32,10	15
A23 Polonia	32,40	16
A20 Luxemburgo	32,78	17
A6 Croacia	33,08	18
A16 Irlanda	33,40	19
A25 Reino Unido	34,27	20
A5 Chipre	34,31	21
A11 Estonia	34,58	22
A24 Portugal	34,92	23
A18 Letonia	35,15	24
A10 España	35,27	25
A14 Grecia	35,48	26
A17 Italia	35,59	27
A19 Lituania	36,36	28

Tabla 45: Ranking - Igualdad Social

Este indicador permite conocer la desigualdad de los ingresos entre los individuos o los hogares dentro de una economía, Un índice de Gini de 0 representa la igualdad perfecta, mientras que un índice de 100 implica una desigualdad perfecta (The World Bank, 2017).

Resulta ser República Checa el país con mejor desempeño en igualdad social, lo siguen Eslovaquia, Suecia y Dinamarca, mientras que España se ubica entre las últimas posiciones, solo Grecia, Italia y Lituania registran mayor desigualdad que España. Los problemas de desigualdad social de la Unión

Europea, se deben a la crisis financiera global, pero como se puede notar, en algunos países el impacto ha sido más fuerte y les está costado recuperarse, como es el caso de España.

### 5.2.11. CORRUPCIÓN

Aquí también se utiliza un solo indicador; “Control de la corrupción”, cuyos valores se registran entre cero y cien. Al igual que la categoría anterior, al tratarse solo de un indicador, no se aplica PROMETHEE, con la diferencia que aquí se ordena los países de mayor valor a menor valor, dado que el valor más bajo, representa menos control de corrupción.

PAIS	Ø	POSICIÓN
A12 Finlandia	99,20	1
A7 Dinamarca	98,88	2
A28 Suecia	98,40	3
A20 Luxemburgo	97,12	4
A22 Países Bajos	95,03	5
A1 Alemania	93,91	6
A25 Reino Unido	93,75	7
A16 Irlanda	92,31	8
A3 Bélgica	91,83	9
A2 Austria	90,87	10
A13 Francia	89,42	11
A11 Estonia	86,86	12
A5 Chipre	80,29	13
A24 Portugal	80,29	14
A21 Malta	77,56	15
A9 Eslovenia	76,12	16
A23 Polonia	74,20	17
A19 Lituania	71,47	18
A10 España	70,19	19
A18 Letonia	67,63	20
A26 República Checa	67,15	21
A6 Croacia	62,82	22
A8 Eslovaquia	62,02	23
A15 Hungría	61,06	24
A17 Italia	57,85	25
A27 Rumanía	56,41	26
A14 Grecia	55,13	27
A4 Bulgaria	50,48	28

Tabla 46: Ranking - Corrupción

Mediante este indicador se puede capturar las percepciones que tienen expertos y ejecutivos sobre el grado de corrupción que existe en el sector público. En esta categoría Finlandia refleja el mejor desempeño, seguida de

Dinamarca y Suecia, una vez más los países nórdicos toman los primeros lugares. Mientras que, los últimos lugares están ocupados por Rumanía, Grecia y Bulgaria. Con respecto a España, se puede decir que está muy lejos de tener un buen desempeño en esta categoría, ya que se sitúa en la posición N°19, solo supera a los países de Europa de Este e Italia.

En general, los países que registran los peores índices de corrupción, son aquellos que brindan menor protección a la prensa y a las organizaciones no gubernamentales (ONG), así como a los ciudadanos denunciantes de corrupción (Transparency International, 2017).

Países bajos se sitúa entre los primeros puestos, según informe de la Comisión Europea (2018), la situación de corrupción en este país ha mejorado gracias a la promoción activa de la integridad, la transparencia y la rendición de cuentas en la administración pública, gracias a su oficina para la Promoción de la Integridad del Sector Público (BIOS, por sus siglas en neerlandés). Además su buen desempeño en esta categoría, también se atribuye a la protección que se brinda a las personas que revelan información de irregularidades en el trabajo.

En países como Portugal, Eslovenia y Estonia, trabajan exhaustivamente para prevenir y detectar la corrupción en la contratación pública, desde la transparencia y el uso de datos abiertos en web y la contratación pública electrónica (European Commission, 2018).

### 5.3. RESUMEN DEL DESEMPEÑO SOSTENIBLE



Figura 9: Desempeño de los países de la UE

En la figura anterior, se muestra de manera horizontal las posiciones de cada país según los rankings totales obtenidos en el PROMETHEE, los primeros lugares son los que están de color verde, y el color va cambiando hasta llegar a rojo, que son los países con peor desempeño en cada categoría.

Cabe recalcar que, en el caso de Flora y Fauna, Igualdad de Género y Empleo, en donde se obtuvo dos rankings, en la figura 9, se utiliza la primera clasificación, es decir en donde se incluyó todos los países.

Como conclusión del análisis del desempeño de los países de la Unión Europea, en general, los países con una mejor economía tienden a tener un mejor desempeño sostenible, con excepción de Emisiones y Energía, ya que como se ha analizado anteriormente, al tener una mejor capacidad económica, tienen la oportunidad de llevar a cabo mayor volumen de actividades económicas, por lo que esto requiere a su vez, mayor consumo de energía y también aumentan las emisiones de gases efecto invernadero, en especial.

#### 5.4. NECESIDADES SOSTENIBLES DE ESPAÑA

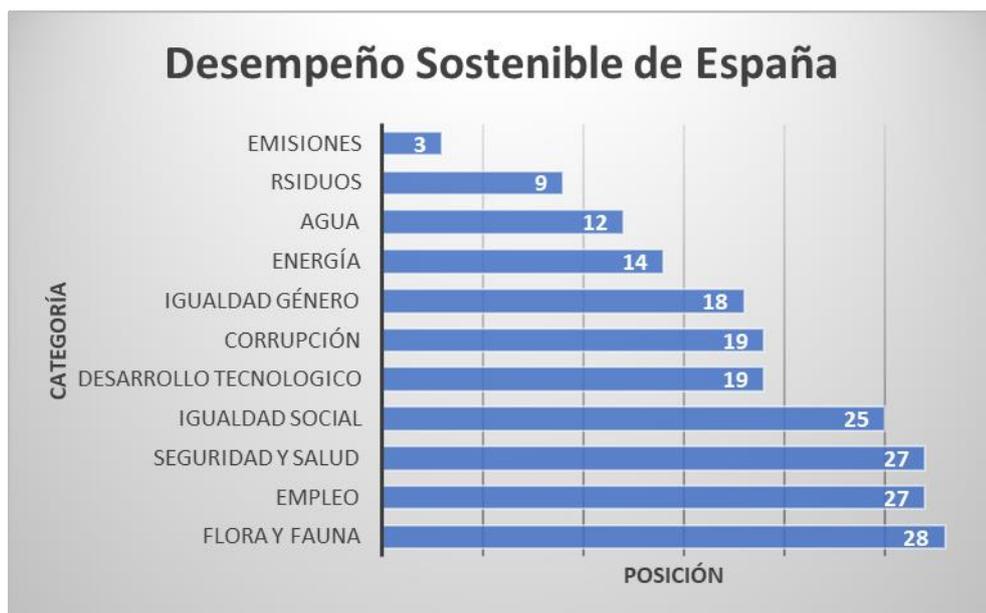


Figura 10: Desempeño Sostenible de España

En la figura 10, se muestra la posición de España en cada una de las categorías estudiadas, empezando por sus posiciones más favorables.

Se puede destacar que España se desempeña relativamente favorable en Emisiones, Residuos, Agua y Energía. Mientras que refleja mayores necesidades sostenibles en las demás categorías. Al decir que España se desempeña relativamente favorable, se hace referencia a que la posición de España está dada por la comparativa con otros países, por lo que al ubicarse dentro de las primeras diez posiciones, no significa que su desempeño sea óptimo, si no que comparado con otros países su desempeño es mejor en algunos aspectos.

Por lo tanto, en base a los desempeños estudiados, todos los criterios definidos deberían incluirse en las licitaciones de obra pública, pero debe darse mayor peso a aquellos que colaboren con buenas prácticas con respecto a Igualdad de Género, Flora y Fauna, Empleo, Seguridad y Salud, Igualdad Social, Desarrollo Tecnológico, Corrupción e Igualdad de Género, ya que son las categorías en donde España se sitúa entre los últimos lugares.

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1. CONCLUSIONES**

- Se definieron criterios sostenibles en base a bibliografía revisada, los mismos que se clasificaron entre ambientales y sociales, con respecto a ambientales se tiene; Energía, Emisiones, Residuos, Agua, Flora y Fauna, entre los criterios sociales están; Igualdad de Género, Empleo, Seguridad y Salud, Desarrollo Tecnológico, Igualdad Social y Corrupción.

- En base a los criterios preestablecidos, se identificaron indicadores ambientales y sociales que permitan medir los impactos de la construcción en el medioambiente y la sociedad, directa o indirectamente, cuyos datos se obtuvieron de Eurostat, World Bank Open Data y de los reportes de SDG Index and Dashboards Report, que permitieron comparar el desempeño sostenible de los países de la Unión Europea, cuya comparativa se realizó utilizando el método de toma de decisiones multicriterio PROMETHEE.
- La herramienta PROMETHEE resultó ser una herramienta práctica para el desarrollo y análisis de una comparativa de países bajo criterios sostenibles pre-establecidos, por lo que se puede concluir que es una herramienta eficaz para que los responsables de establecer criterios sostenibles vitales en una licitación de obra pública lo hagan en base a las necesidades sostenibles del país en cuestión según la posición en los rankings obtenidos del PROMETHEE.
- Se identificó las necesidades sostenibles de España, con respecto a los criterios ambientales presenta mayores necesidades en la categoría Flora y Fauna, aquí se sitúa en la última posición, lo que significa que representa el peor desempeño en comparación con los demás países de la Unión Europea bajo los indicadores de evaluación utilizados, lo que se atribuye a que España sufre una fuerte pérdida de biodiversidad debido principalmente a la falta de planificación en el desarrollo urbanístico, por lo que las actividades de construcción impactan en lugares sensibles como por ejemplo marismas o costas.
- Con respecto al desempeño de España bajo criterios sociales, se puede decir que su situación es más alarmante que en los aspectos ambientales, ya que de los seis grupos de criterios sociales, en cinco de ellos se ubica en las últimas posiciones; Empleo (posición N°27), Seguridad y Salud (posición N°27), Igualdad Social (posición N°25), Desarrollo Tecnológico (posición N°19), Corrupción (posición N°19) e Igualdad de Género (posición N°18), el desempeño actual de España en

estas categorías se atribuye en general a la crisis económica que vivió el país entre 2008 y 2014, y que le está costando mucho recuperarse.

- El desempeño en un criterio se relaciona con los demás, por ejemplo, si España mejora su desempeño en desarrollo tecnológico, promoviendo la investigación, desarrollo e innovación, es posible introducir nuevas ideas en el mercado que permiten la creación de empleos. Otro ejemplo, al haber ciudadanos en empleo vulnerables, estos aceptan trabajar en condiciones no adecuadas, consecuentemente España empeora en el criterio de seguridad y salud.
- Todos los criterios definidos son de suma importancia para apoyar al desarrollo sostenible desde la contratación pública, pero debe darse mayor peso en las licitaciones de obra pública a aquellos que colaboren con buenas prácticas con respecto a Flora y Fauna, Igualdad de Género, Empleo, Seguridad y Salud, Desarrollo Tecnológico, Igualdad Social y Corrupción, ya que son las categorías en donde España se sitúa entre los últimos lugares.

## **6.2. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda utilizar bases de datos fiables y que al presentarse algún tipo de dudas sobre los valores expuestos de algún indicador contrarrestar con la información de otras bases, de igual manera se recomienda trabajar con una medida per cápita o porcentual, de modo de tener en cuenta a la cantidad de población y resulten valores que mejoren la comparabilidad entre países.
- Cuando se requiera analizar solo un país en específico, se recomienda utilizar para el análisis países que mantengan una economía similar para mejorar la comparativa, porque a pesar de que los datos estén en unidades basadas en la población, no es suficiente, ya que el

desempeño de cada país depende mucho del tipo de economía y actividades que lleva a cabo la sociedad.

- Existen muchos datos en las “open data” (bases de datos disponibles al público en general) por lo que se debería fomentar el uso de estos datos para el análisis del desempeño sostenible de los países, ya que contienen información relevante que abarcan varios temas.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Antanasijević, D., Pocajt, V., Ristić, M., & Perić-Grujić, A. (2017). A differential multi-criteria analysis for the assessment of sustainability performance of European countries: Beyond country ranking. *Journal of Cleaner Production*, 165, 213–220. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.131>
- Behzadian, M., Kazemzadeh, R. B., Albadvi, A., & Aghdasi, M. (2010). PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, 200(1), 198–215. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.01.021>
- Brammer, S., & Walker, H. (2011). Sustainable procurement in the public sector: An international comparative study. *International Journal of Operations and Production Management*, 31(4), 452–476. <https://doi.org/10.1108/01443571111119551>
- Brans, J. P., Vincke, P., & Mareschal, B. (1986). How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. *European Journal of Operational Research*, 24(2), 228–238. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(86\)90044-5](https://doi.org/10.1016/0377-2217(86)90044-5)
- Bratt, C., Hallstedt, S., Robèrt, K. H., Broman, G., & Oldmark, J. (2013). Assessment of criteria development for public procurement from a strategic sustainability perspective. *Journal of Cleaner Production*, 52, 309–316. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.007>
- Casapino Espinoza, M. A. (2016). Análisis de los procesos de licitación pública del sector de la construcción en el Perú. Retrieved from <https://riunet.upv.es/handle/10251/62755>
- Cook, D., Saviolidis, N. M., Davíðsdóttir, B., Jóhannsdóttir, L., & Ólafsson, S. (2017). Measuring countries' environmental sustainability performance—The development of a nation-specific indicator set. *Ecological Indicators*, 74, 463–478. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.12.009>
- Corrente, S., Greco, S., & Słowiński, R. (2013). Multiple Criteria Hierarchy Process with ELECTRE and PROMETHEE. *Omega (United Kingdom)*, 41(5), 820–846. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2012.10.009>
- de Brito, M. M., & Evers, M. (2015). Review Article: Multi-criteria decision making for flood risk management: a survey of the current state-of-the-art. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 3(11), 6689–6726. <https://doi.org/10.5194/nhessd-3-6689-2015>
- Dong, Y. H., & Ng, S. T. (2015). A social life cycle assessment model for building construction in Hong Kong. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(8), 1166–1180. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0908-5>
- Dos Santos, S. F., & Brandi, H. S. (2015). Model framework to construct a single aggregate sustainability indicator: An application to the biodiesel supply chain. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 17(7), 1963–1973. <https://doi.org/10.1007/s10098-015-0919-8>
- Evans, L., Nuttall, C., Mouat, A., & Ewing, D. (2010). Assessment and

- Comparison of National Green and Sustainable Public Procurement Criteria and Underlying Schemes. Final Report, (6), 228.
- From, R., Commission, T. H. E., The, T. O., Parliament, E., & Council, T. H. E. (2017). COM 687 final, 24. Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52017DC0687&from=EN>
- Ghoddousi, P., Nasirzadeh, F., & Hashemi, H. (2018). Evaluating Highway Construction Projects' Sustainability Using a Multicriteria Group Decision-Making Model Based on Bootstrap Simulation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(9), 04018092. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001514](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001514)
- Govindan, K., & Jepsen, M. B. (2016). ELECTRE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, 250(1), 1–29. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.07.019>
- Hajkowicz, S., & Collins, K. (2007). A review of multiple criteria analysis for water resource planning and management. *Water Resources Management*, 21(9), 1553–1566. <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9112-5>
- Hill, R. C., & Bowen, P. A. (1997). Sustainable construction: Principles and a framework for attainment. *Construction Management and Economics*, 15(3), 223–239. <https://doi.org/10.1080/014461997372971>
- Hosseiniyou, S. A., Mansour, S., & Shirazi, M. A. (2014). Social life cycle assessment for material selection: a case study of building materials. *INTERNATIONAL JOURNAL OF LIFE CYCLE ASSESSMENT*, 19(3), 620–645. <https://doi.org/10.1007/s11367-013-0658-1>
- Løken, E. (2007). Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(7), 1584–1595. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.11.005>
- Meehan, J., & Bryde, D. (2011). Sustainable Procurement Practice Sustainable Procurement Practice 95. *Business Strategy and the Environment Bus. Strat. Env. Bus. Strat. Env.*, 20(20), 94–106. <https://doi.org/10.1002/bse>
- Młodak, A. (2013). On the construction of an aggregated measure of the development of interval data. *Computational Statistics*, 29(5), 895–929. <https://doi.org/10.1007/s00180-013-0469-7>
- Montalbán-Domingo, L., García-Segura, T., Sanz, M. A., & Pellicer, E. (2018). Social sustainability criteria in public-work procurement: An international perspective. *Journal of Cleaner Production*, 198. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.083>
- Mousseau, V., Roy, B., & Paris-dauphine, U. (2005). Chapter 4 Introduction : A Brief History. *Recherche*, 78(4), 1–35. Retrieved from [http://www.lamsade.dauphine.fr/dea103/ens/bouyssou/Outranking\\_Mousseau.pdf](http://www.lamsade.dauphine.fr/dea103/ens/bouyssou/Outranking_Mousseau.pdf)
- Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of*

- Operational Research*, 156(2), 445–455. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00020-1)
- Palmujoki, A., Parikka-alhola, K., & Ekroos, A. (2010). Green Public Procurement-Analysis on the Use of Environmental Criteria in Contracts. *Reciel*, 19(July 2007), 250–262. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9388.2010.00681.x>
- Penadés-Plà, V., García-Segura, T., Martí, J. V., & Yepes, V. (2018). An optimization-LCA of a prestressed concrete precast bridge. *Sustainability (Switzerland)*, 10(3), 1–17. <https://doi.org/10.3390/su10030685>
- Penadés-Plà, V., Martí, J. V., García-Segura, T., & Yepes, V. (2017). Life-cycle assessment: A comparison between two optimal post-tensioned concrete box-girder road bridges. *Sustainability (Switzerland)*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/su9101864>
- Penadés, V. (2017). Aplicación de la toma de decisión multi-criterio al diseño sostenible de puentes de hormigón, 93.
- Phillis, Y. A., Grigoroudis, E., & Kouikoglou, V. S. (2011). Sustainability ranking and improvement of countries. *Ecological Economics*, 70(3), 542–553. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.09.037>
- Podvezko, V. (2011). The Comparative Analysis of MCDA Methods SAW and COPRAS. *Engineering Economics*, 22(2). <https://doi.org/10.5755/j01.ee.22.2.310>
- Pohekar, S. D., & Ramachandran, M. (2004). Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8(4), 365–381. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2003.12.007>
- Pons, J. J., Penadés-Plà, V., Yepes, V., & Martí, J. V. (2018). Life cycle assessment of earth-retaining walls: An environmental comparison. *Journal of Cleaner Production*, 192, 411–420. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.268>
- Ramanathan, R., & Ganesh, L. S. (1995). Energy resource allocation incorporating qualitative and quantitative criteria: An integrated model using goal programming and AHP. *Socio-Economic Planning Sciences*, 29(3), 197–218. [https://doi.org/10.1016/0038-0121\(95\)00013-C](https://doi.org/10.1016/0038-0121(95)00013-C)
- Roy, B. (1968). Classement et choix en présence de points de vue multiples. *RAIRO - Operations Research - Recherche Opérationnelle*, 2(V1), 57–75. <https://doi.org/10.1051/ro/196802V100571>
- Ruparathna, R., Asce, S. M., & Hewage, K. (2007). Review of Contemporary Construction Procurement Practices, 1–11. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000279](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000279).
- Ruparathna, R., & Hewage, K. (2015). Sustainable procurement in the Canadian construction industry: Current practices, drivers and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 109, 305–314. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.007>

- 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)
- Sanz, A., & Pellicer, E. (2017). SUSTAINABLE PUBLIC PROCUREMENT : BARRIERS AND DRAWBACKS Definition of Sustainable Procurement in the Construction Sector, (July), 571–582.
- Sierra, L. A., Pellicer, E., & Yepes, V. (2016). Social Sustainability in the Lifecycle of Chilean Public Infrastructure. *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(5), 05015020. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001099](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001099)
- Sierra, L. A., Yepes, V., & Pellicer, E. (2018). A review of multi-criteria assessment of the social sustainability of infrastructures. *Journal of Cleaner Production*, 187, 496–513. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.022>
- Sourani, A., & Sohail, M. (2011). Barriers to addressing sustainable construction in public procurement strategies. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability*, 164(4), 229–237. <https://doi.org/10.1680/ensu.2011.164.4.229>
- Torres-Machi, C. (2015). Optimización heurística multiobjetivo para la gestión de activos de infraestructuras de transporte terrestre, 241.
- Torres-Machí, C., Chamorro, A., Pellicer, E., Yepes, V., & Videla, C. (2015). Sustainable Pavement Management. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2523, 56–63. <https://doi.org/10.3141/2523-07>
- Transparency International. (2017). El Índice de Percepción de la Corrupción 2017 refleja un alto nivel de corrupción en más de dos tercios de los países del mundo, 1–4. Retrieved from [https://transparencia.org.es/wp-content/uploads/2018/02/aspectos\\_mas\\_destacados\\_ipc-2017.pdf](https://transparencia.org.es/wp-content/uploads/2018/02/aspectos_mas_destacados_ipc-2017.pdf)
- Ugwu, O. O., Kumaraswamy, M. M., Wong, A., & Ng, S. T. (2006). Sustainability appraisal in infrastructure projects (SUSAIP): Part 1. Development of indicators and computational methods. *Automation in Construction*, 15(2), 239–251. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2005.05.006>
- Uttam, K., & Le Lann Roos, C. (2015). Competitive dialogue procedure for sustainable public procurement. *Journal of Cleaner Production*, 86, 403–416. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.031>
- Valdes-Vasquez, R., & Klotz, L. E. (2013). Social Sustainability Considerations during Planning and Design: Framework of Processes for Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(1), 80–89. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000566](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000566)
- Varnäs, A., Balfors, B., & Faith-Ell, C. (2009). Environmental consideration in procurement of construction contracts: current practice, problems and opportunities in green procurement in the Swedish construction industry. *Journal of Cleaner Production*, 17(13), 1214–1222. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.04.001>

Waas, T., Hugé, J., Block, T., Wright, T., Benitez-Capistros, F., & Verbruggen, A. (2014). Sustainability assessment and indicators: Tools in a decision-making strategy for sustainable development. *Sustainability (Switzerland)*, 6(9), 5512–5534. <https://doi.org/10.3390/su6095512>